



Secrétariat Général

Direction générale des  
ressources humaines

MINISTÈRE  
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE

Sous-direction du recrutement

---

**Rapport des membres du jury**

**Session 2011**

**Concours externe de l'agrégation**

**Génie Mécanique**

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

---

## Plan du rapport

Rapport du jury .....	2
1 – Composition du jury .....	3
2 – Résultats de la session 2011 .....	4
3 – Compte-rendu de la première épreuve d'admissibilité : <b>Étude d'industrialisation</b> .....	6
4 – Compte-rendu de la seconde épreuve d'admissibilité <b>Analyse et conception des systèmes</b> .....	6
5 – Compte-rendu de la troisième épreuve d'admissibilité <b>Automatique et Informatique Industrielle</b> .....	6
6 – Compte-rendu de la première épreuve d'admission <b>Technologie</b> .....	7
7 – Compte-rendu de la seconde épreuve d'admission <b>Soutenance d'un dossier industriel</b> .....	7
8 – Compte-rendu de la troisième épreuve d'admission <b>Epreuve de Travaux Pratiques</b> .....	7
9 – Références des textes officiels et des programmes .....	8

## **RAPPORT DU JURY**

## 1 – Composition du jury

<b>Baton</b>	Jean-Jacques	Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional
<b>Béarée</b>	Richard	Maître de conférences
<b>Bercot</b>	Michel	Professeur agrégé
<b>Chanal</b>	Hélène	Maître de conférences
<b>Charlat</b>	Sylvain	Professeur agrégé
<b>Dacunto</b>	Alain	Maître de conférences
<b>Desprez</b>	Jean-Marc	Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional
<b>Diverchy</b>	Jean-Jacques	Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional
<b>Dugas</b>	Arnaud	Professeur agrégé
<b>Gamelon</b>	Cédric	Professeur agrégé
<b>Hurtebise</b>	Frantz	C.A.S.U.
<b>Pateloup</b>	Vincent	Maître de conférences
<b>Rage</b>	Michel	Inspecteur général de l'éducation nationale
<b>Ray</b>	Pascal	Professeur d'université – <i>Vice-président</i>
<b>Rigaud</b>	Régis	Inspecteur d'académie - Inspecteur Pédagogique Régional
<b>Rossi</b>	Olivier	Professeur agrégé
<b>Taraud</b>	Dominique	Inspecteur général de l'éducation nationale – <i>Président</i>
<b>Velut</b>	Christophe	Professeur agrégé

## 2 – RESULTATS DE LA SESSION 2011

### Concours externe

Nombre de postes : ..... 10

Nombre d'Admissibles : ..... 23

Nombre d'Admis : ..... 10

Moyenne d'admissibilité du premier Admissible : ..... 15,64

Moyenne d'admissibilité du dernier Admissible : ..... 7,61

Meilleure moyenne des trois épreuves d'Admission : ..... 15,52

Plus basse moyenne des trois épreuves d'Admission : ..... 05,75

Moyenne générale obtenue par le premier Admis : ..... 14,87

Moyenne générale obtenue par le dernier Admis : ..... 10,70

## Commentaires généraux du président de jury pour la session 2011.

Comme pour les sessions précédentes, la session 2011 du concours externe de l'agrégation de génie mécanique a confirmé le faible nombre de candidats potentiels, renforçant ainsi le constat des conséquences des fermetures des centres de formation universitaires faisant suite aux fermetures des concours des CAPET et des CAPLP du domaine de la productique.

La disparition d'un vivier d'étudiants induit des résultats contrastés aux épreuves d'admission comme aux épreuves d'admissibilité (les candidats des ENS continuant de recevoir une véritable formation scientifique, technique et pédagogique).

Par contre, contrairement aux années précédentes, le faible nombre de postes au concours engendrant une diminution du nombre des admissibles, a amené le jury à constater une augmentation du niveau global du concours (le nombre de candidats préparés par les ENS est maintenant supérieur au nombre de postes à pourvoir).

Au final, le niveau de la session 2011 du concours a augmenté et les 10 postes pourvus le seront par des professeurs agrégés compétents et performants.

Cette session se caractérisait par l'apparition d'une nouvelle sous-épreuve, permettant d'estimer la capacité de chaque candidat à agir en fonctionnaire de façon éthique et responsable. La part de la soutenance du dossier étant, quant à elle, moins importante.

C'est sans doute cette minimisation de la soutenance d'un dossier industriel qui a engendré, au grand regret du jury, une nette baisse du niveau de cette épreuve.

Je me permets de rappeler à chacun l'importance de cette épreuve, qui a pour but d'évaluer la manière dont un futur enseignant de Sciences et Techniques Industrielles peut s'intégrer dans l'entreprise, y développer une activité de haut niveau et en déduire des principes pertinents d'activités d'élèves. Ce lien entre l'industrie et la pédagogie est fondamental et le jury regrette que, faute de temps ou d'envie, les candidats ne s'investissent pas assez dans ce champ qui permet d'obtenir d'excellentes notes lorsque le sujet choisi est pertinent et bien développé.

Au niveau de la nouvelle épreuve « Agir en fonctionnaire de l'état de façon éthique et responsable », le jury constate un réel effort de préparation mais une méconnaissance parfois inquiétante des modes de fonctionnement et d'organisation d'un établissement du secondaire...

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

L'agrégation de génie mécanique continue donc d'être un concours exigeant, reconnaissant à ses lauréats une grande polyvalence professionnelle permettant une insertion rapide et efficace dans de nombreux secteurs d'enseignement (classes préparatoires, sections de BTS Industriels, départements d'IUT Industriels, écoles d'ingénieurs), marquant une capacité d'adaptation importante, un niveau de culture scientifique et technique très élevé et un potentiel d'efficacité pédagogique reconnu et apprécié.

Dominique Taraud  
Président du jury, session 2011

### **3 – COMPTE RENDU DE LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSIBILITE ÉTUDE D'INDUSTRIALISATION**

**Éléments de corrigé et commentaires** : voir fichiers joints au format PDF

- ***AEGM 2011 Premiere\_epreuve\_admissibilite***
  - *Sujet : 1 Epr\_Indus\_Agreg\_GM\_ext\_2011\_Sujet.pdf*
  - *Corrigé : 2 Epr\_Indus\_Agreg\_GM\_ext\_2011\_Corrige.pdf.pdf*
  - *Commentaires : Epr\_Indus\_Agreg\_GM\_ext\_2011\_Commentaires.pdf*

### **4 – COMPTE RENDU DE LA SECONDE EPREUVE D'ADMISSIBILITE ANALYSE ET CONCEPTION DES SYSTÈMES**

**Éléments de corrigé et commentaires** : voir fichiers joints au format PDF

- ***AEGM 2011 Deuxieme\_epreuve\_admissibilite***
  - *1 Epr\_Analyse\_Conception\_Systeme\_Sujet.pdf*
  - *2 Epr\_Analyse\_Conception\_Systeme\_Corrige.pdf*
  - *3 Epr\_Analyse\_Conception\_Systeme\_Commentaires.pdf*

### **5 – COMPTE RENDU DE LA TROISIÈME ÉPREUVE D'ADMISSIBILITE ÉPREUVE D'AUTOMATIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE**

**Éléments de corrigé et commentaires** : voir fichiers joints au format PDF

- ***3. AEGM 2011\_Troisieme\_epreuve\_admissibilite***
  - *1 Epr All\_Sujet*
  - *2 Epr All\_Corrige*
  - *3 Epr All\_Commentaires*

## **6 – COMPTE RENDU DE LA PREMIERE EPREUVE D'ADMISSION EPREUVE DE TECHNOLOGIE**

J.J. BATON– J.J. DIVERCHY – C. GAMELON – A. DUGAS

Voir fichier joint au format PDF

- 4. *AEGM 2011\_Premiere\_epreuve\_admission*
  - 4. *Epr\_Lec on de technologie*

## **7 – COMPTE RENDU DE LA SECONDE EPREUVE D'ADMISSION ÉPREUVE DE SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL**

- M. RAGE - P. RAY – R. RIGAUD - O. ROSSI

Voir fichier joint au format PDF

- 5. *AEGM 2011\_Deuxieme\_epreuve\_admission*
  - 5. *Epr\_Dossier\_Rapport*

## **8 – COMPTE RENDU DE LA TROISIÈME ÉPREUVE D'ADMISSION ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES**

A. ATTARD – R. BÉARÉE – S. CHARLAT - A. DACUNTO - JM. DESPREZ - M. BERÇOT–  
H. CHANAL -

Voir fichier joint au format PDF

- 6. *AEGM 2011\_Troisieme\_epreuve\_admission*
  - 1 *Epr\_TP\_Rapport*



**SESSION 2011**

---

**AGRÉGATION  
CONCOURS EXTERNE**

**Section : GÉNIE MÉCANIQUE**

**ÉPREUVE D'ÉTUDES D'INDUSTRIALISATION**

Durée : 6 heures

---

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

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

# COMPOSITION DU SUJET

## TEXTE DU SUJET

11 pages numérotées de 1 à 11

## DOCUMENTS-TECHNIQUES

- DT-1** : Dessin d'ensemble partiel de la prothèse de hanche
- DT-2** : Dessin de définition de la cupule
- DT-3** : Dessin de définition de la tête
- DT-4** : Dessin de définition du col gauche
- DT-5** : Dessin de définition du col gauche avec le détail du microfiletage

## DOCUMENTS-RESSOURCES

- DRS-1** : Caractéristiques du matériau des cupules (2 pages)
- DRS-2** : Caractéristiques de la presse à injecter (4 pages)
- DRS-3** : Caractéristiques des polyéthylènes (4 pages)
- DRS-4** : GRAFCET de fonctionnement de la presse à injecter (1 page)
- DRS-5** : Fiche technique du tour bi-broche Mazak Integrex 200 (1 page)
- DRS-6** : Extrait de catalogue d'outils coupants (17 pages)
- DRS-7** : Extrait des résultats de la campagne de mesure (1 page)

## DOCUMENTS-RÉPONSES

- DR-1** : Nomenclature des sous-phases 10 et 20 de la tête
- DR-2** : Avant-projet de fabrication de la tête – sous-phase 10
- DR-3** : Avant-projet de fabrication de la tête – sous-phase 20
- DR-4** : Définition du montage d'usinage de la sous-phase 20
- DR-5** : Document d'analyse d'une spécification
- DR-6** : Repérage d'éléments sur silhouette du col

**Ce sujet comporte :**

- un fascicule sujet comprenant 3 parties identifiées "**PARTIE A**", "**PARTIE B**" et "**PARTIE C**".
- une chemise intitulée "**DOSSIER TECHNIQUE**"
- une chemise intitulée "**DOSSIER RESSOURCES**"
- une chemise intitulée "**DOSSIER RÉPONSES**".

Après avoir complété les en-têtes, le candidat remettra en fin d'épreuve ses copies paginées et ses "Documents-Réponses" regroupés dans trois chemises distinctes :

**PARTIE A – PRÉ-INDUSTRIALISATION DE LA CUPULE**

**PARTIE B – INDUSTRIALISATION DE LA TÊTE**

**PARTIE C – INDUSTRIALISATION DU COL**

## FASCICULE SUJET

### Avertissement :

- Le candidat est invité à formuler toutes les hypothèses nécessaires à la résolution du problème posé.
- Il sera tenu compte dans la correction de la clarté et de la concision des réponses.

### Organisation des documents associés au fascicule sujet :

- Une chemise "**DOSSIER TECHNIQUE**" dans laquelle des documents spécifiques au support de l'étude sont identifiés "**DT-[n° du document]**" ;
- Une chemise "**DOSSIER RESSOURCES**" dans laquelle des documents extraits de catalogues sont identifiés "**DRS-[n° du document]**" ;
- Une chemise "**DOSSIER RÉPONSES**" dans laquelle des documents utilisés pour répondre aux questions sont identifiés "**DR-[n° du document]**" ;
- Les feuilles de copie compléteront ces documents réponses.

Les 3 parties, "PARTIE A", "PARTIE B" et "PARTIE C", du sujet sont indépendantes.

Le support d'étude de cette épreuve est une prothèse de hanche conçue et réalisée dans une entreprise spécialisée dans les implants chirurgicaux.

## MISE EN SITUATION

La hanche naturelle est composée de deux parties :

- la **tête du fémur** de forme sphérique ;
- le **cotyle** qui est la cavité naturelle du bassin où la **tête de fémur** s'emboîte et s'articule.



ARTICULATION DE LA HANCHE



TÊTE DU FÉMUR COTYLE

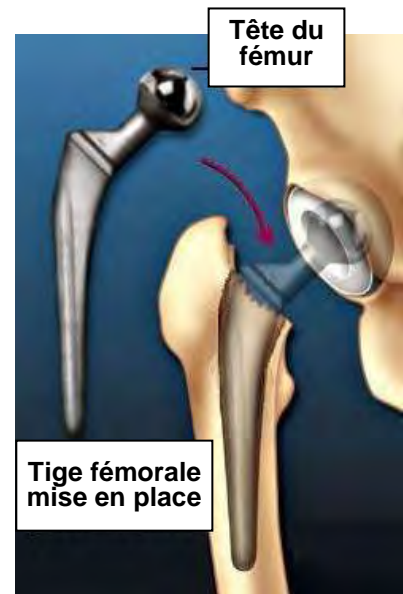
Les mouvements articulaires se font par glissement entre ces composants osseux. Le cartilage qui recouvre les surfaces osseuses en contact favorise ce glissement. L'usure du cartilage est appelé **arthrose**. Son usure complète, le glissement se faisant os sur os, conduit au blocage de l'articulation. La solution chirurgicale à ce blocage consiste à remplacer cette articulation par un implant appelé **prothèse de hanche**. L'opération chirurgicale s'intitule **prothèse totale de hanche**.



Résection de la tête du fémur



Cupule cotyloïdienne mise en place



Tête du fémur

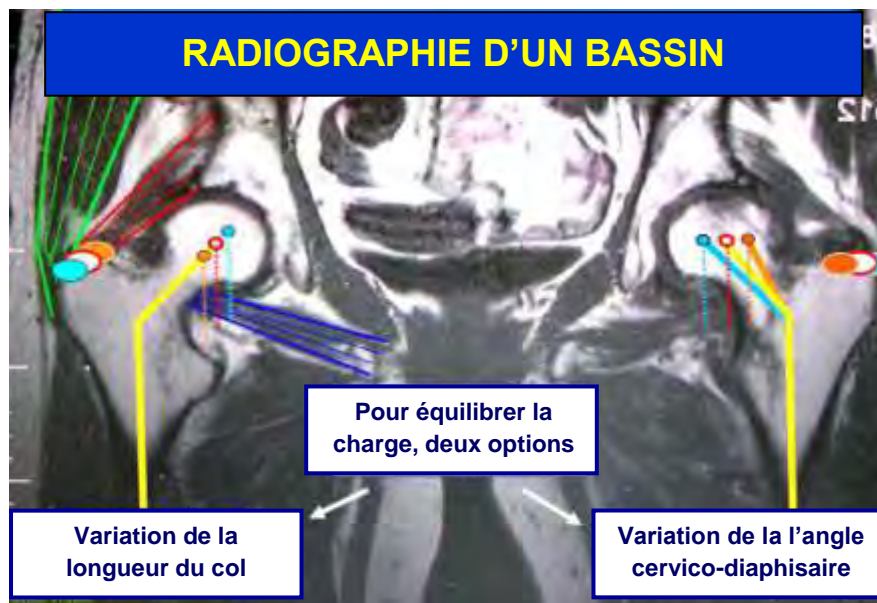
Tige fémorale mise en place

Après résection de la tête du fémur, le chirurgien remplace les deux composants articulaires :

- La **cupule** cotyloïdienne est insérée dans la partie creuse du bassin, le cotyle.
- La **tige fémorale** est implantée à l'extrémité supérieure du fémur dans le canal médullaire. Cette tige porte une sphère : la **tête du fémur** prothétique.

Ces trois éléments, **cupule**, **tige fémorale** et **tête du fémur** composent la prothèse de hanche.

Les dimensions et la géométrie des éléments constitutifs de la prothèse sont spécifiques à la morphologie du patient.



Chaque prothèse est caractérisée par la longueur du col de la tige, la longueur de la tige, et l'angle cervico-diaphysaire. D'autre part, en fonction de la maturité et de la corpulence du patient, il convient d'adapter le diamètre de la cupule et de la tête.

Cette adaptation oblige l'entreprise à produire et à stocker des familles d'éléments de prothèse. D'autre part, les hôpitaux spécialisés en implantation doivent pouvoir disposer rapidement de chaque référence pour répondre à la demande des chirurgiens. Pour ce faire, un stock conséquent de toutes les références doit être maintenu dans chaque hôpital.

Pour minimiser le nombre de références à stocker, l'entreprise a développé une prothèse partiellement adaptable en réalisant la tige fémorale en deux pièces : la tige et le col (voir le Document-Technique **DT-1**). Parallèlement à cette évolution, le bureau d'études a apporté d'autres modifications portant sur la cupule et la tête et visant une amélioration de la production.

La suite de l'étude porte sur l'industrialisation de la cupule, de la tête et du col.

## PARTIE A – ÉTUDE DE PRÉ-INDUSTRIALISATION DE LA CUPULE

La cupule est définie sur le Document-Technique **DT-2**.

Les fonctions essentielles que doit remplir la cupule sont les suivantes :

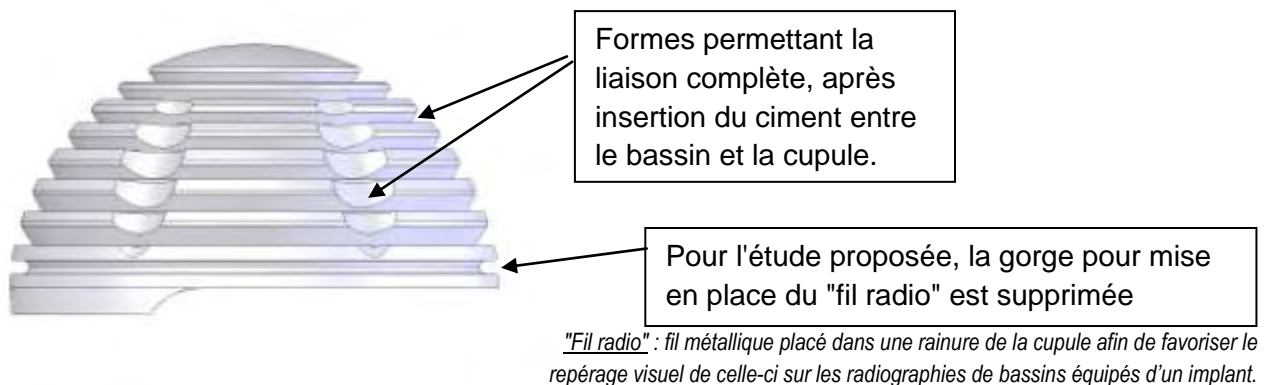
- réaliser la liaison encastrement entre le bassin et la cupule (interposition d'un ciment colle favorisée par la présence de rainures extérieures croisées) ;
- réaliser la liaison rotule entre la cupule et la tête en favorisant le glissement, en limitant l'usure et en s'approchant du comportement des matériaux vivants (cartilage, os, synovie ...) ;
- absorber une partie de l'énergie due aux chocs provoqués par la marche ;
- être biocompatible.

La cupule doit être réalisée dans le respect de la norme ISO 7206-2 qui, entre autres, indique :

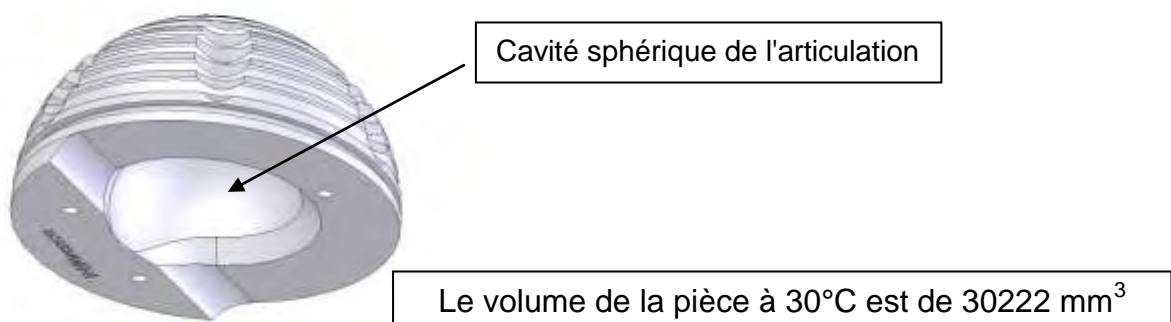
- ISO 7206-2 § 4.1.1 Sphéricité : L'écart maximal admissible de sphéricité de la surface articulaire sphérique d'un élément fémoral ne doit pas être supérieur à 10µm ;
- ISO 7206-2 § 4.1.2 État de surface : La valeur de la rugosité arithmétique (Ra) de la surface articulaire sphérique ne doit pas être supérieure à 0,05µm ;
- ISO 7206-2 § 4.1.3 Tolérances dimensionnelles : La cavité sphérique doit avoir un diamètre égal au diamètre nominal, avec une tolérance de - 0,2 mm à 0 mm.

### Mise en situation de la cupule :

Comme indiqué en introduction du sujet la cupule est insérée dans le bassin (dans un emplacement calibré par le chirurgien) et liée à celui-ci par l'intermédiaire d'un "ciment".



La tête de fémur est positionnée et mobile dans la cavité sphérique de la cupule. La durée de vie de la prothèse est essentiellement liée à la qualité et la précision des surfaces en contact.



### Bio compatibilité :

Le matériau utilisé pour la réalisation des cupules est un polyéthylène à haut poids moléculaire (voir Document-Ressource **DRS-1**).

Actuellement la cupule est réalisée par usinage sur un tour 3 axes bi broche à partir d'une barre de polyéthylène extrudé.

Pour augmenter la durée de vie de la cupule, en améliorant ses caractéristiques, il est envisagé de la réaliser par injection compression (utilisation d'un noyau mobile de compression pour réaliser la creusure sphérique). La machine utilisée sera une presse à injecter à commande numérique (voir Document-Ressource **DRS-2**). La matière et les formes, validées par de nombreux essais, ne peuvent pas être changées.

**Question A1.** En vous appuyant sur les Documents-Ressources **DRS-1** et **DRS-3**, proposez un mode opératoire détaillé et un schéma d'outillage permettant de le mettre en œuvre. Pour l'étude proposée, la gorge de mise en place du fil radio est supprimée. (Après validation des essais il est prévu de surmouler ce fil radio.)

**Question A2.** A partir de ce schéma de principe, proposez une solution permettant de réaliser l'ensemble des références de cupules (4 diamètres extérieurs possibles: 46 mm, 48 mm, 50 mm, 52 mm, combinés à 2 diamètres intérieurs possibles 22,2 mm et 28,2 mm).

**Question A3.** Les gorges d'ancrage dans le ciment génèrent des contre dépouilles. Par soucis de simplification de l'outillage, l'entreprise souhaite analyser la possibilité de démouler la pièce par arrachement. Que préconisez-vous pour que cette opération soit possible ? Des adaptations dimensionnelles de ces gorges peuvent être proposées. Si tel est votre choix dessinez cotez et justifiez votre proposition. Ce sont les seules modifications acceptables sur la géométrie de la pièce.

**Question A4.** Pour optimiser la cristallinité du polyéthylène dans la zone de la creusure sphérique il est souhaitable de réguler de façon précise le noyau. En vous appuyant sur les Documents-Ressources **DRS-1**, **DRS-3** et **DRS-4**, tracer la courbe de régulation en la mettant en adéquation avec le cycle de transformation. Quel matériau, quelle géométrie et quel mode d'obtention préconisez vous pour la réalisation de ce noyau?

**Question A5.** La cupule doit absorber une partie de l'énergie due aux chocs provoqués par la marche. Pour que cette fonction soit assurée dans les meilleures conditions possibles, quelle devrait être la structure "à cœur" de la matière ? Quelle solution ou quel compromis préconisez-vous pour tendre vers cet objectif ?

Remarque : la société porteuse du projet prévoit une campagne d'essais pour optimiser les paramètres issus des choix préconisés. Ce nouveau processus d'industrialisation doit conduire à un meilleur confort d'utilisation de la prothèse et à une forte augmentation de sa durée de vie.



## PARTIE B – INDUSTRIALISATION DE LA TÊTE

Cette partie s'intéresse à l'industrialisation de la tête. Le dessin de définition de la tête est donné sur le Document-Technique **DT-3**. L'étude d'industrialisation sera conduite pour un programme de fabrication par lots renouvelables de 50 têtes.

### ***B.1 - Processus de production actuel***

Le processus actuel repose sur l'utilisation de bruts sphériques calibrés. Les usinages sont réalisés en une seule phase sur un tour à commande numérique deux axes.

Après l'usinage les pièces subissent uniquement un rodage et un polissage de toutes les surfaces extérieures (pas de traitement thermique).

### ***B.2 - Processus de production envisagé***

L'entreprise vient d'acquérir un tour bi-broche Mazak Integrex 200 dont les caractéristiques techniques sont précisées dans le Document-Ressource **DRS-5**. On envisage de produire les têtes sur cette nouvelle machine. Il convient de vérifier la faisabilité de ce transfert.

Le nouveau processus sur ce tour bi-broche comporte une seule phase qui se décompose en deux sous-phases. La sous-phase 10 regroupe les opérations d'usinage réalisées sur la broche principale et la sous-phase 20 les opérations sur la broche secondaire (Figure 1).

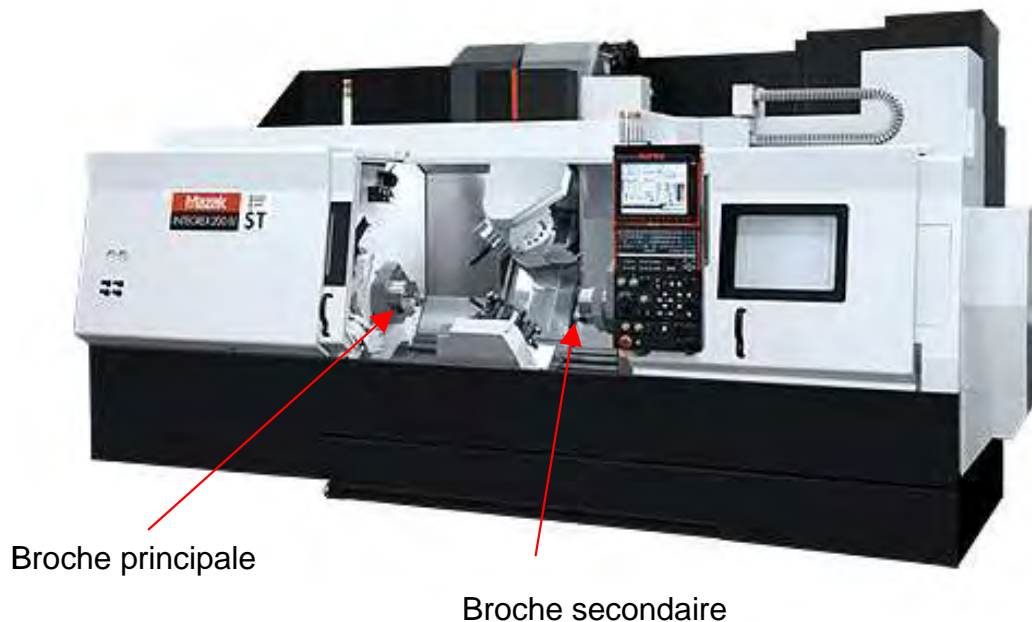


Figure 1 : Mazak Integrex 200

La tête de diamètre extérieur 27,9 est alors réalisée à partir d'une barre de diamètre 30. L'alimentation en matière du tour se fait par la broche principale.

### ***B.2.1 - Processus prévisionnel de fabrication***

Nomenclature des sous-phases 10 et 20 :

Répondre sur le Document-Réponse **DR-1**.

**Question B1.** Partie Sous-phase 10 – Préciser la forme de la pièce dans l'état fin de sous-phase 10.

**Question B2.** Partie Sous-phase 20 – Préciser les surfaces servant à la mise en position de la pièce.

Étude des sous-phases 10 et 20 :

**Question B3.** A l'aide du Document-Ressource **DRS-6**, compléter les Documents-Réponses **DR-2** et **DR-3** en indiquant :

- l'enchaînement des opérations d'usinage (ne pas omettre de préciser le changement de broche),
- le choix de la géométrie et des nuances des outils de coupe,
- la trajectoire des outils ainsi que leur silhouette,
- les conditions de coupe,
- la mise en position et le maintien en position de la pièce,
- la longueur de la barre sortie des mors à la sous-phase 10 avant usinage.

*Vous pouvez proposer des outils qui ne sont pas référencés dans le Document-Ressource **DRS-6**.*

**Question B4.** Sur le Document-Réponse **DR-4**, schématiser le montage d'usinage nécessaire à la sous-phase 20. Quelles sont les préconisations à donner quant aux spécifications dimensionnelles, géométriques et d'état de surface des surfaces participant à la liaison pièce-montage ? On prendra soin de donner des valeurs aux tolérances des différentes spécifications.

**Question B5.** Pour le processus d'usinage que vous avez proposé, indiquer, en précisant les critères d'analyse, les spécifications géométriques et dimensionnelles critiques portées sur le dessin de définition.

**Question B6.** Quels sont les paramètres à identifier liés à l'outil, aux mors et à la machine permettant de s'assurer l'intégrité de la cellule d'usinage lors de l'usinage ? On prendra soin de préciser la réponse à l'aide de calculs pertinents vis-à-vis du processus d'usinage proposé.

### ***B.2.2 - Qualification du processus***

Afin de qualifier le tour bi-broche Mazak Integrex 200, une campagne de mesure de certains défauts a été menée. Les résultats sont présentés dans le Document-Ressource **DRS-7**.

**Question B7.** En fonction des dispersions intervenant dans la cellule d'usinage, évaluer l'aptitude du processus que vous avez proposé sur tour bi-broche.

### ***B.3 - Comparaison entre le processus actuel et le processus envisagé***

**Question B8.** Quels sont les paramètres qui vont permettre de prendre la décision de transférer la production sur le tour bi-broche sachant que 30 000 têtes sont fabriquées par an. On prendra soin d'avoir un discours étayé.

## **PARTIE C – INDUSTRIALISATION DU COL**

Le col est défini sur le Document-Technique **DT-4**. Le matériau constitutif du col est du **CoCr28Mo6**. Cette pièce est actuellement réalisée en deux phases de tournage par usinage dans de la barre. L'entreprise a détecté des risques de rupture de cette pièce dans des cas limites tels que la pratique intense de sport par les patients.

Pour réduire au maximum ces risques de rupture, le bureau d'études préconise que soit réalisé un microfiletage sur la portée conique en contact avec la tête. Une partie de l'énergie d'un choc dans la jambe serait alors absorbée par la déformation plastique (écrasement) des crêtes de ce microfiletage (voir nouveau dessin de définition du col sur le Document-Technique **DT-5**).

D'autre part, le bureau d'industrialisation préconise de changer le mode d'obtention du brut. En effet, le matériau du col aura des performances mécaniques plus intéressantes en réalisant son brut par frittage de poudres métalliques.

### ***C.1 – Étude du procédé d'obtention du brut du col par frittage de poudres métalliques***

#### ***C.1.1 – Le frittage laser***

Pour valider cette solution, les bruts des premiers prototypes du col sont réalisés en frittage laser.

**Question C1.** Décrire, en s'appuyant sur un schéma, un type de procédé de frittage laser.

**Question C2.** Indiquer l'état et la nature de la matière d'œuvre de départ.

**Question C3.** Décrire en détail le mode de génération du volume à obtenir qui correspond au brut du col. Comment la matière d'œuvre est-elle apportée à la pièce en cours d'élaboration ?

**Question C4.** Expliciter le principe physique permettant de passer d'une poudre métallique à la pièce à obtenir (rôle du laser).

**Question C5.** Quelle solution matérielle est apportée pour, partant de la définition numérique du col dans un repère nominal de la pièce (repère de définition), positionner la pièce à obtenir dans le repère de travail de la machine (mise en position de la pièce sur la machine) ?

#### ***C.1.2 – Le frittage de production***

Le frittage laser a permis de valider le choix du procédé frittage de poudres métalliques pour l'obtention des bruts du col.

**Question C6.** En s'appuyant sur des schémas et en détaillant les différentes opérations du processus, décrire le procédé appliqué à un contexte de production et non plus à un contexte de prototypage.

**Question C7.** Établir un schéma de principe de l'outillage donnant les formes du brut du col.

**Question C8.** Établir le dessin de la pièce brute qui doit correspondre à l'état de la pièce juste avant sa première phase d'usinage. Quelles sont les causes et les types de dispersions dimensionnelles et/ou géométriques de cette pièce brute ? A partir d'une estimation de ces dispersions, porter sur le dessin les spécifications dimensionnelles et géométriques de la pièce brute.

## C.2 – Étude prévisionnelle d'usinage du col

En partant du brut que vous avez défini à la question précédente, l'usinage du col est réalisé en deux phases d'usinage.

**Question C9.** Sur votre copie établir la nomenclature prévisionnelle des phases de fabrication du col :

- tracer, avec une couleur différenciée, les surfaces réalisées dans chaque phase ;
- choisir le type de machine outil utilisé en précisant le nombre d'axes numériques ;
- Indiquer la mise en position de la pièce pour chacune des phases.


**Question C10.** Sur votre copie, donner le schéma de principe de l'outillage pour la deuxième phase d'usinage. Ce schéma doit permettre de comprendre les dispositions constructives proposées pour assurer la mise en position de la pièce et son maintien.

## C.3 – Contrôle

Cette étude se situe dans une démarche de mesure et de contrôle réception de produit fini.

**Question C11.** Proposer une méthode permettant de vérifier les spécifications figurant sur la vue de détail du microfiletage du Document-Technique **DT-5**.

**Question C12.** On s'intéresse à la mise en œuvre sur machine à mesurer tridimensionnelle du contrôle de la spécification figurant sur la vue du détail A du Document-Technique **DT-4** :

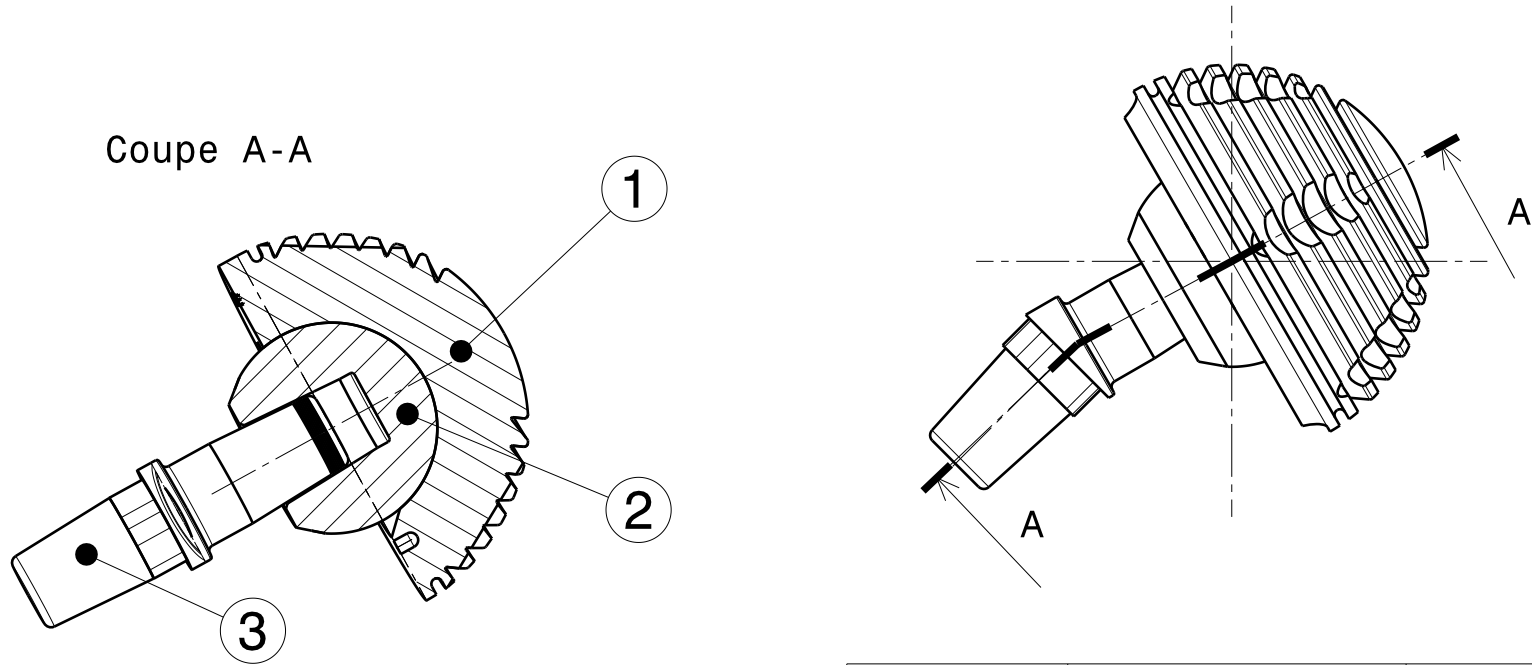
	0,03	A	A - B
---	------	---	-------

Sur le Document-Réponse **DR-5**, analyser et interpréter cette spécification. L'analyse mettra en évidence l'(les) élément(s) tolérancé(s), l'(les) élément(s) de référence(s), la(les) référence(s) spécifiée(s) et la(les) zone(s) de tolérance. Pour chacun de ces éléments, préciser éventuellement la nature, la forme, la(les) dimension(s), la situation et les critères d'association.

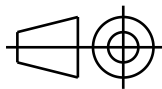
L'application numérique installée sur le micro ordinateur relié à la machine à mesurer tridimensionnelle permet, à partir de la définition numérique spécifiée de la pièce, d'effectuer l'exploitation du relevé des points de mesurage et de donner directement le résultat du contrôle. Expliquer succinctement les opérations à réaliser pour aboutir à ce résultat.

Nota : prendre soin de repérer sur le Document-Réponse **DR-6** les éléments nécessaires à la compréhension des explications.

# **DOSSIER TECHNIQUE**



3	Col	CoCr28Mo6
2	Tête	X4CrNiMnMo21-9-4
1	Cupule	Polyéthylène haut poids moléculaire
Rep	Désignation	Matériaux



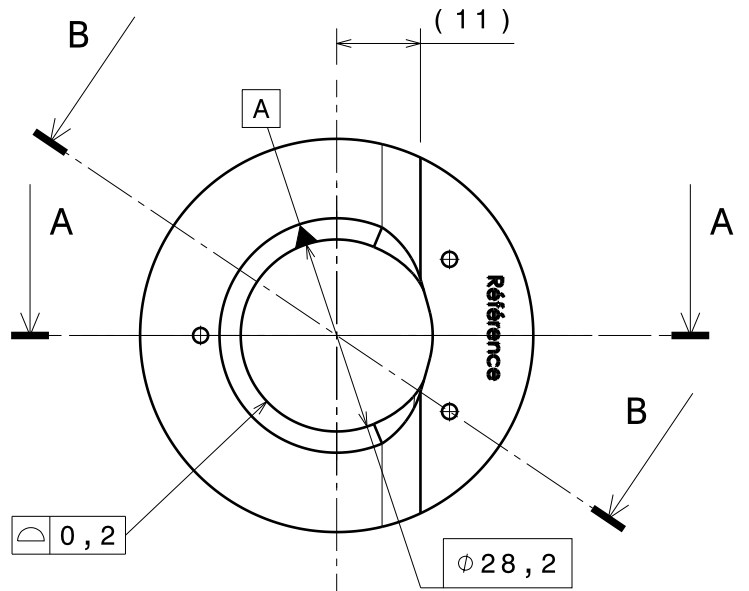
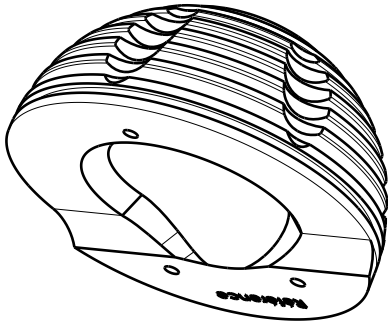
Prothèse de hanche  
Dessin d'ensemble partiel

ECHELLE

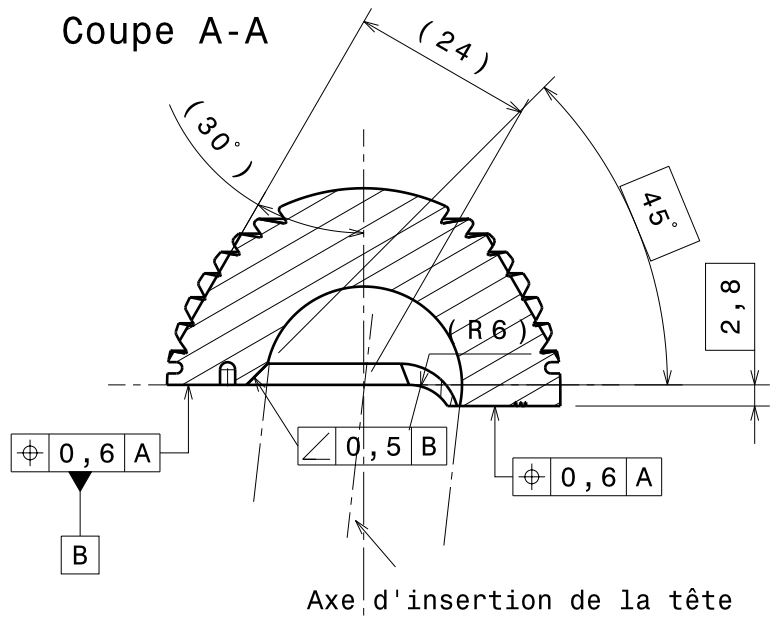
**1:1**

Agrégation de Génie Mécanique

# Document DT-2

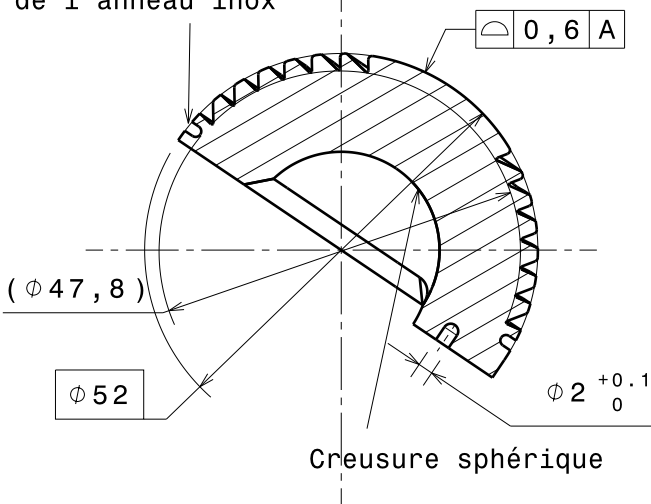


Coupe A-A



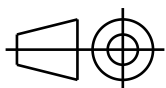
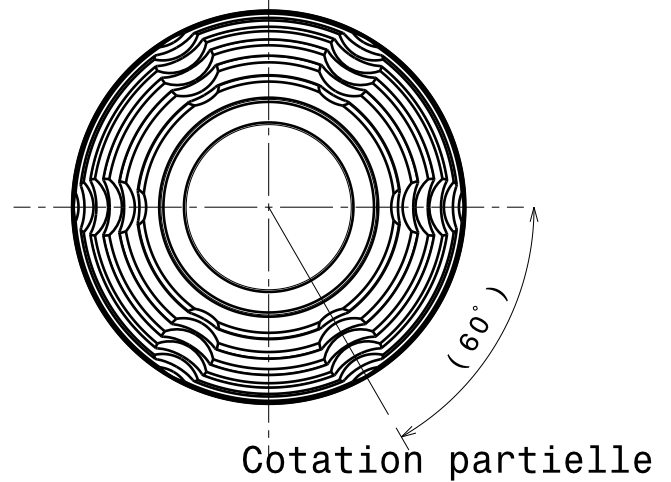
Coupe B-B

Gorge pour mise en place de l'anneau inox



Creusure sphérique

R0,2 max autorisé sur arête



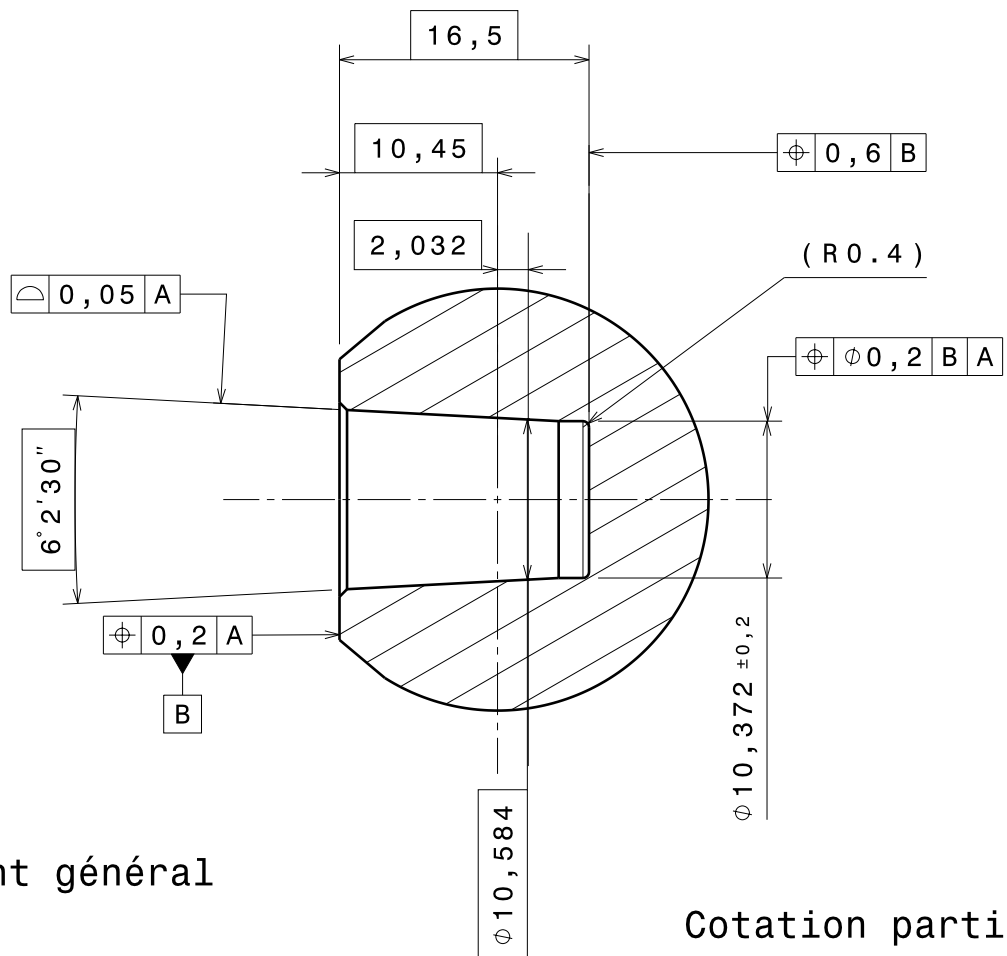
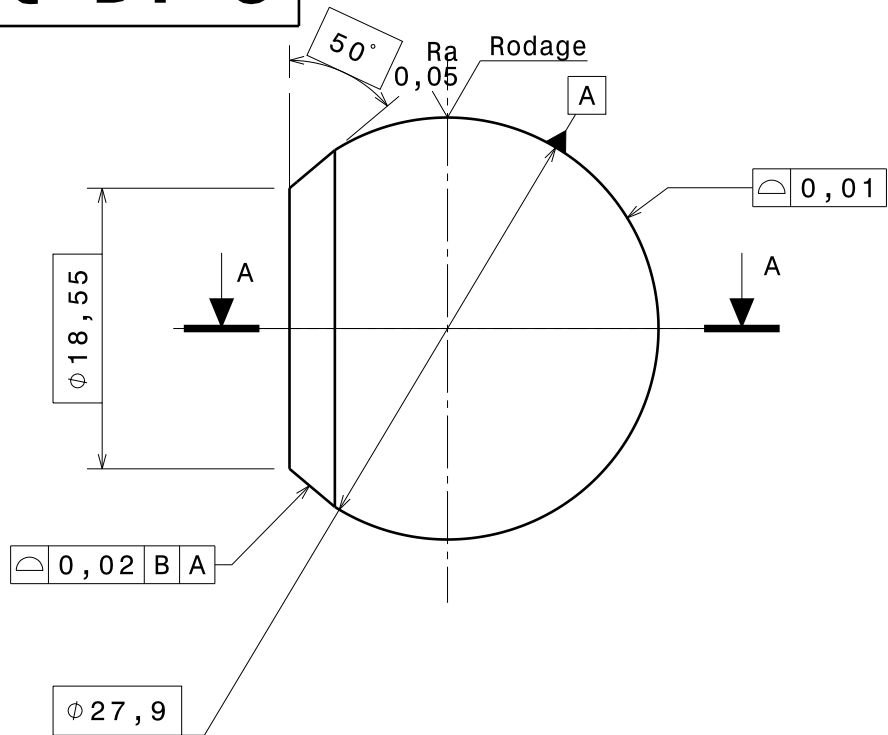
Cupule de prothèse de hanche

ECHELLE  
**1:1**

MATIERE  
Polyéthylène haut  
poids moléculaire

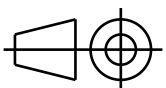
Agrégation de Génie Mécanique

# Document DT-3



Tolérancement général  
ISO 2768-mK

Cotation partielle



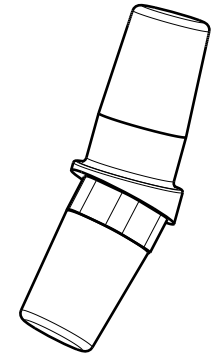
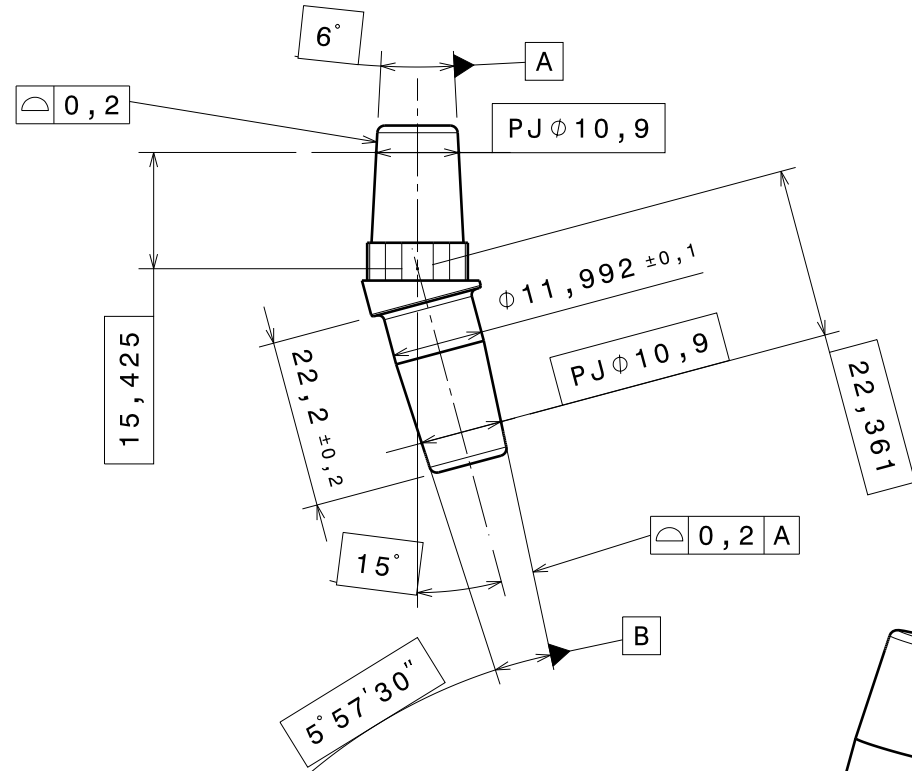
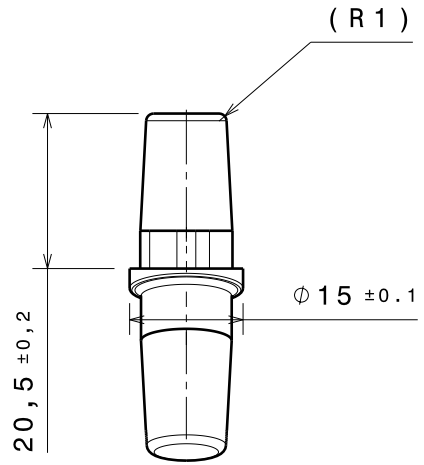
Tête prothèse de hanche

ECHELLE  
**2:1**

MATIERE  
X4CrNiMnMo21-9-4

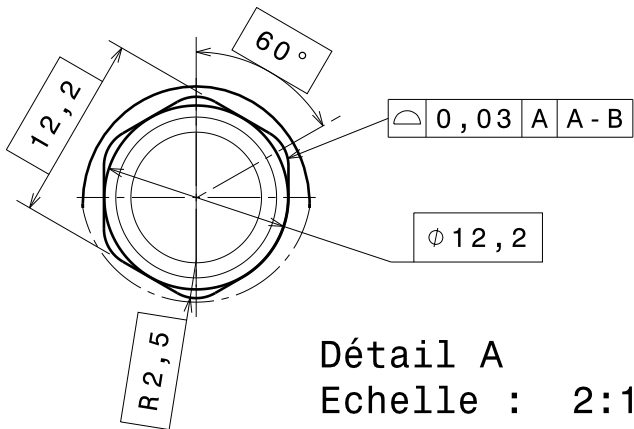
Agrégation de Génie Mécanique





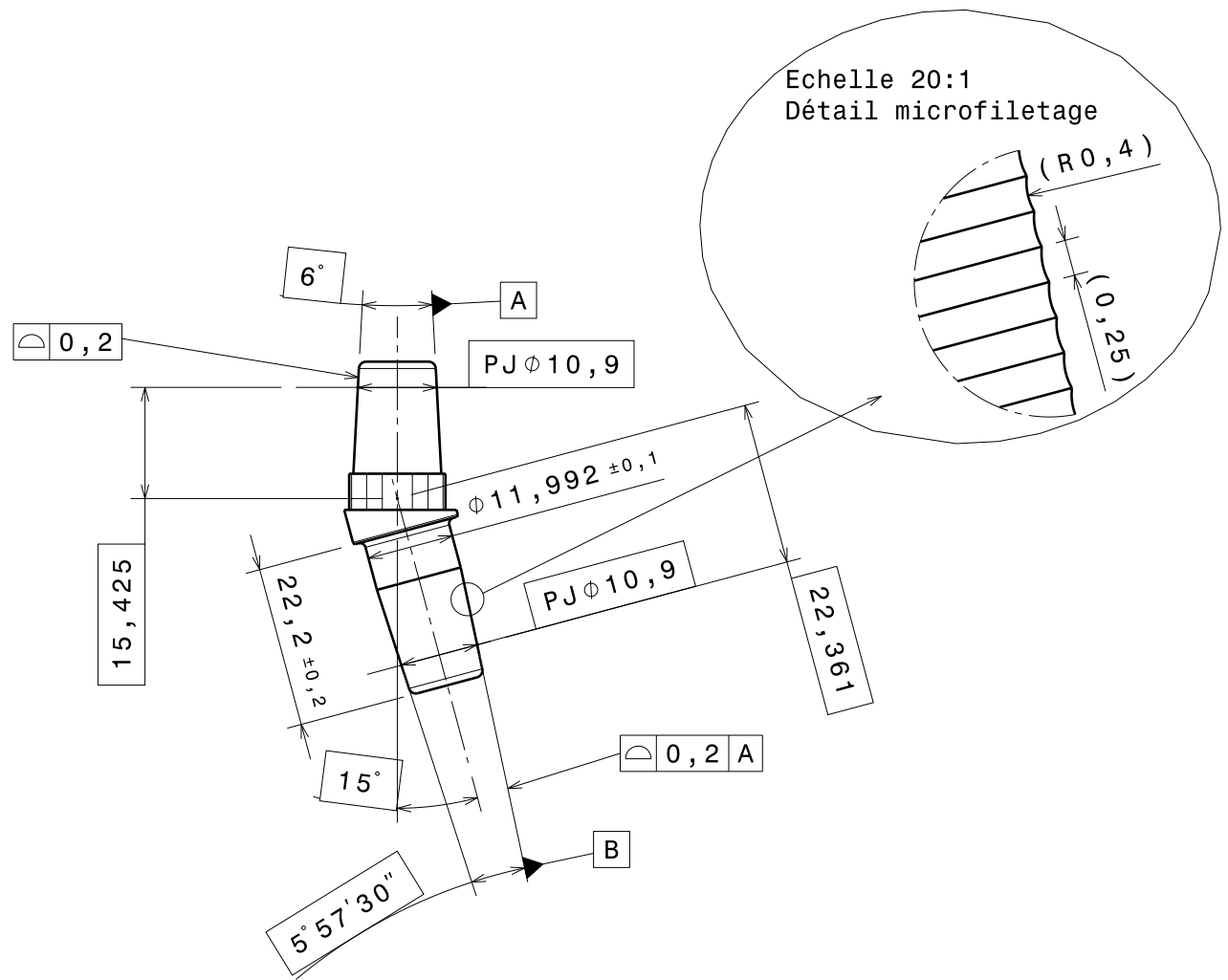
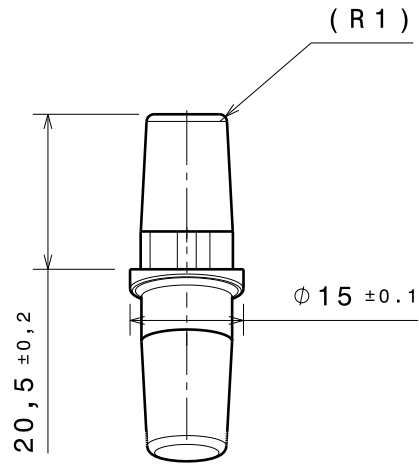
Cotation partielle

A



Détail A  
Echelle : 2:1

	<p>Col gauche de prothèse de hanche</p>	
<p>ECHELLE <b>1:1</b></p>	<p>MATIERE CoCr28Mo6</p>	<p>Agrégation de Génie Mécanique</p>



Cotation partielle

	<p>Col gauche de prothèse de hanche</p>	
<p>ECHELLE <b>1:1</b></p>	<p>MATIERE CoCr28Mo6</p>	<p>Agrégation de Génie Mécanique</p>

# **DOSSIER RESSOURCES**


## Overview of materials for High Density Polyethylene (HDPE), Extruded





Categories: [Polymer](#); [Thermoplastic](#); [Polyethylene](#); [HDPE](#); [High Density Polyethylene \(HDPE\), Extruded](#)

**Material Notes:** This property data is a summary of similar materials in the MatWeb database for the category "High Density Polyethylene (HDPE), Extruded". Each property range of values reported is minimum and maximum values of appropriate MatWeb entries. The comments report the average value, and number of data points used to calculate the average. The values are not necessarily typical of any specific grade, especially less common values and those that can be most affected by additives or processing methods.

**Vendors:** [Click here to view all available suppliers for this material.](#)

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	0.925 - 1.46 g/cc	0.0334 - 0.0527 lb/in <sup>3</sup>	Average value: 0.958 g/cc Grade Count:86
Apparent Bulk Density	0.580 - 0.610 g/cc	0.0210 - 0.0220 lb/in <sup>3</sup>	Average value: 0.592 g/cc Grade Count:4
Water Absorption	0.0100 - 0.100 %	0.0100 - 0.100 %	Average value: 0.0400 % Grade Count:3
Environmental Stress Crack Resistance	10.0 - 5000 hour	10.0 - 5000 hour	Average value: 989 hour Grade Count:49
	139 - 139 hour @Temperature 50.0 - 50.0 °C	139 - 139 hour @Temperature 122 - 122 °F	Average value: 713 hour Grade Count:3
	139 - 139 hour @Thickness 2.00 - 2.00 mm	139 - 139 hour @Thickness 0.0787 - 0.0787 in	Average value: 713 hour Grade Count:3
Thermal Stress Crack Resistance	264 - 2500 hour	264 - 2500 hour	Average value: 859 hour Grade Count:4
Oxidative Induction Time (OIT)	10.0 - 200 min	10.0 - 200 min	Average value: 62.5 min Grade Count:4
Melt Flow	0.0570 - 35.0 g/10 min	0.0570 - 35.0 g/10 min	Average value: 3.99 g/10 min Grade Count:81
Neck In	5.00 - 11.1 cm	1.97 - 4.37 in	Average value: 8.23 cm Grade Count:3
Coating Weight	6.00 - 10.4 g/m <sup>2</sup>	3.75 - 6.50 lb/ream	Average value: 8.93 g/m <sup>2</sup> Grade Count:3

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
PENT	30.0 - 100 hour	30.0 - 100 hour	Average value: 76.7 hour Grade Count:3
Hardness, Shore D	55.0 - 69.0	55.0 - 69.0	Average value: 63.7 Grade Count:49
Tensile Strength, Ultimate	15.2 - 45.0 MPa	2200 - 6530 psi	Average value: 29.8 MPa Grade Count:38
	11.0 - 25.0 MPa @Temperature -30.0 - 70.0 °C	1600 - 3630 psi @Temperature -22.0 - 158 °F	Average value: 20.3 MPa Grade Count:1
Tensile Strength, Yield	13.1 - 37.7 MPa	1900 - 5470 psi	Average value: 23.8 MPa Grade Count:68
	6.89476 - 30.0 MPa @Temperature -30.0 - 70.0 °C	1000.00 - 4350 psi @Temperature -22.0 - 158 °F	Average value: 20.6 MPa Grade Count:1
Elongation at Break	25.0 - 2200 %	25.0 - 2200 %	Average value: 770 % Grade Count:68
	200 - 500 % @Temperature -30.0 - 70.0 °C	200 - 500 % @Temperature -22.0 - 158 °F	Average value: 367 % Grade Count:1
Elongation at Yield	8.00 - 14.0 %	8.00 - 14.0 %	Average value: 10.5 % Grade Count:8
	4.00 - 9.00 % @Temperature -30.0 - 70.0 °C	4.00 - 9.00 % @Temperature -22.0 - 158 °F	Average value: 5.67 % Grade Count:1
Modulus of Elasticity	0.800 - 1.00 GPa	116 - 145 ksi	Average value: 0.882 GPa Grade Count:6
Flexural Modulus	0.500 - 1.65 GPa	72.5 - 240 ksi	Average value: 1.01 GPa Grade Count:53
Secant Modulus	0.531 - 1.47 GPa	77.0 - 213 ksi	Average value: 1.05 GPa Grade Count:6
Secant Modulus, MD	0.689 - 1.10 GPa	99.9 - 160 ksi	Average value: 0.907 GPa Grade Count:3
Tensile Impact Strength	80.0 - 480 kJ/m <sup>2</sup>	38.1 - 228 ft-lb/in <sup>2</sup>	Average value: 243 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count:7
Tensile Impact	68.3 - 152 J/cm	128 - 285 ft-lb/in	Average value: 91.6 J/cm Grade Count:8
Coefficient of Friction	0.200 - 0.280	0.200 - 0.280	Average value: 0.227 Grade Count:3
Izod Impact, Notched	0.650 - 7.50 J/cm	1.22 - 14.1 ft-lb/in	Average value: 2.59 J/cm Grade Count:20
Hydrostatic Design Basis	5.50 - 11.0 MPa	798 - 1600 psi	Average value: 8.81 MPa Grade Count:3

Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	1.00e+15 - 1.00e+20 ohm-cm	1.00e+15 - 1.00e+20 ohm-cm	Average value: 7.44e+18 ohm-cm Grade Count:14
Dielectric Constant	2.05 - 2.64	2.05 - 2.64	Average value: 2.34 Grade Count:17
Dielectric Strength	19.7 - 45.0 kV/mm	500 - 1140 kV/in	Average value: 25.1 kV/mm Grade Count:8
Dissipation Factor	0.0000200 - 0.000500	0.0000200 - 0.000500	Average value: 0.000141 Grade Count:16

Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	138 - 200 µm/m-°C	76.7 - 111 µin/in-°F	Average value: 158 µm/m-°C Grade Count:8
Melting Point	124 - 135 °C	255 - 275 °F	Average value: 129 °C Grade Count:18
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	62.0 - 85.0 °C	144 - 185 °F	Average value: 73.6 °C Grade Count:15
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	45.0 - 65.0 °C	113 - 149 °F	Average value: 58.3 °C Grade Count:3
Vicat Softening Point	80.0 - 131 °C	176 - 268 °F	Average value: 123 °C Grade Count:45
Brittleness Temperature	-118 - 76.0 °C	-180 - 169 °F	Average value: -78.3 °C Grade Count:49

Processing Properties	Metric	English	Comments
Processing Temperature	160 - 321 °C	320 - 610 °F	Average value: 224 °C Grade Count:35
Feed Temperature	149 - 188 °C	300 - 370 °F	Average value: 158 °C Grade Count:11
Rear Barrel Temperature	177 - 216 °C	350 - 420 °F	Average value: 193 °C Grade Count:11
Middle Barrel Temperature	191 - 235 °C	375 - 455 °F	Average value: 216 °C Grade Count:13
Front Barrel Temperature	160 - 260 °C	320 - 500 °F	Average value: 234 °C Grade Count:13
Adapter Temperature	210 - 260 °C	410 - 500 °F	Average value: 247 °C Grade Count:11
Die Temperature	210 - 260 °C	410 - 500 °F	Average value: 247 °C Grade Count:11

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's disclaimer and terms of use regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

### 2.2. CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES

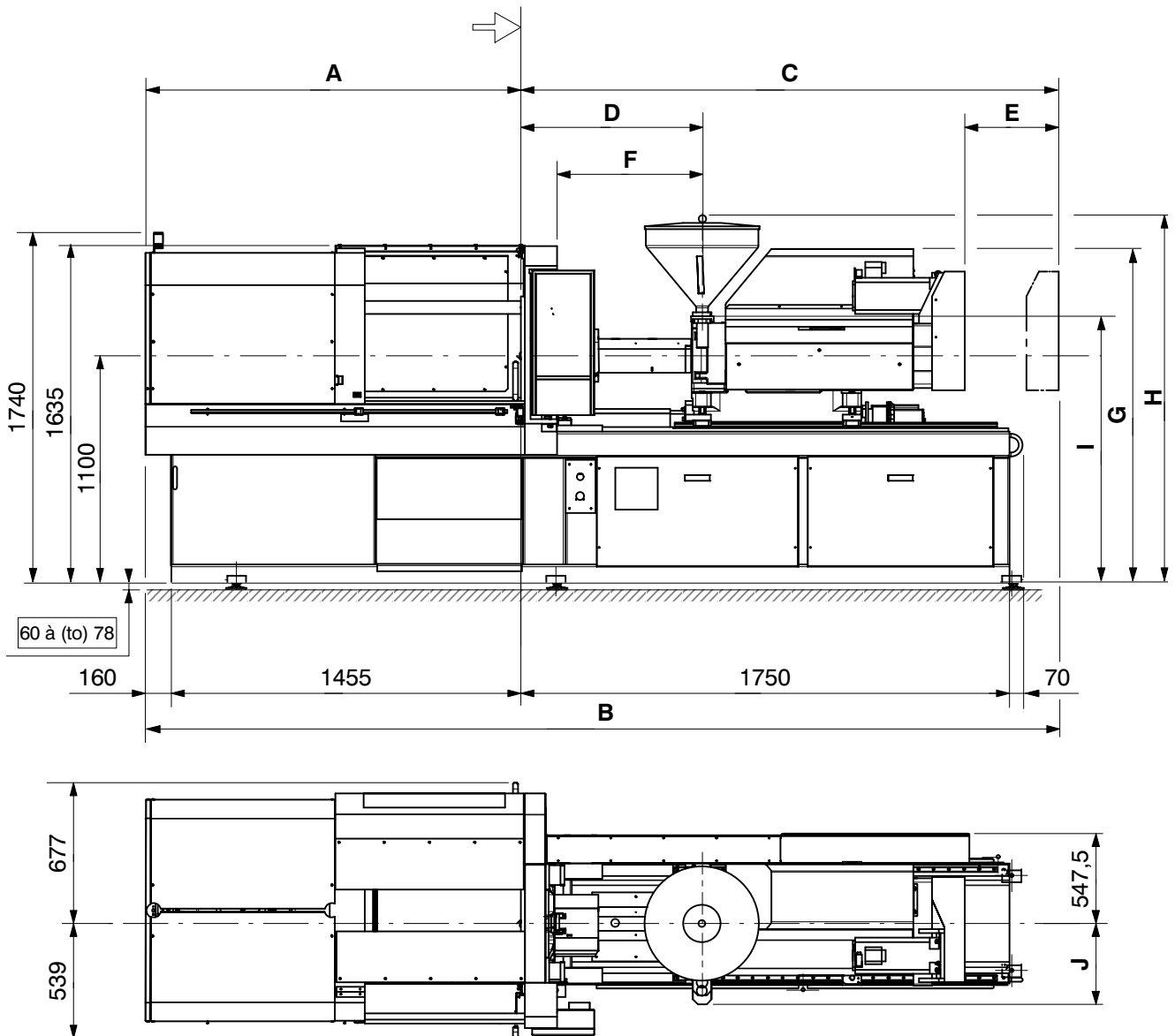
### 2.2. DIMENSIONAL CHARACTERISTICS

#### 2.2.1. Encombrement

#### 2.2.1. Overall dimensions

	<b>A</b>	1615
<b>B</b>	<b>H60</b>	3627
	<b>H80</b>	3627

	H60		H80	
$\emptyset$ Vis Screw $\emptyset$	18	22	22	25
<b>C</b>	2012	2012	2012	2012
<b>D</b>	470	552	552	612
<b>E</b>	245+357	245+277	245+277	245+217
<b>F</b>	330	412	412	472
<b>G</b>	1575	1575	1575	1575
<b>H</b>	1700	1700	1700	1700
<b>I</b>	1250	1250	1250	1250
<b>J</b>	360	360	360	360

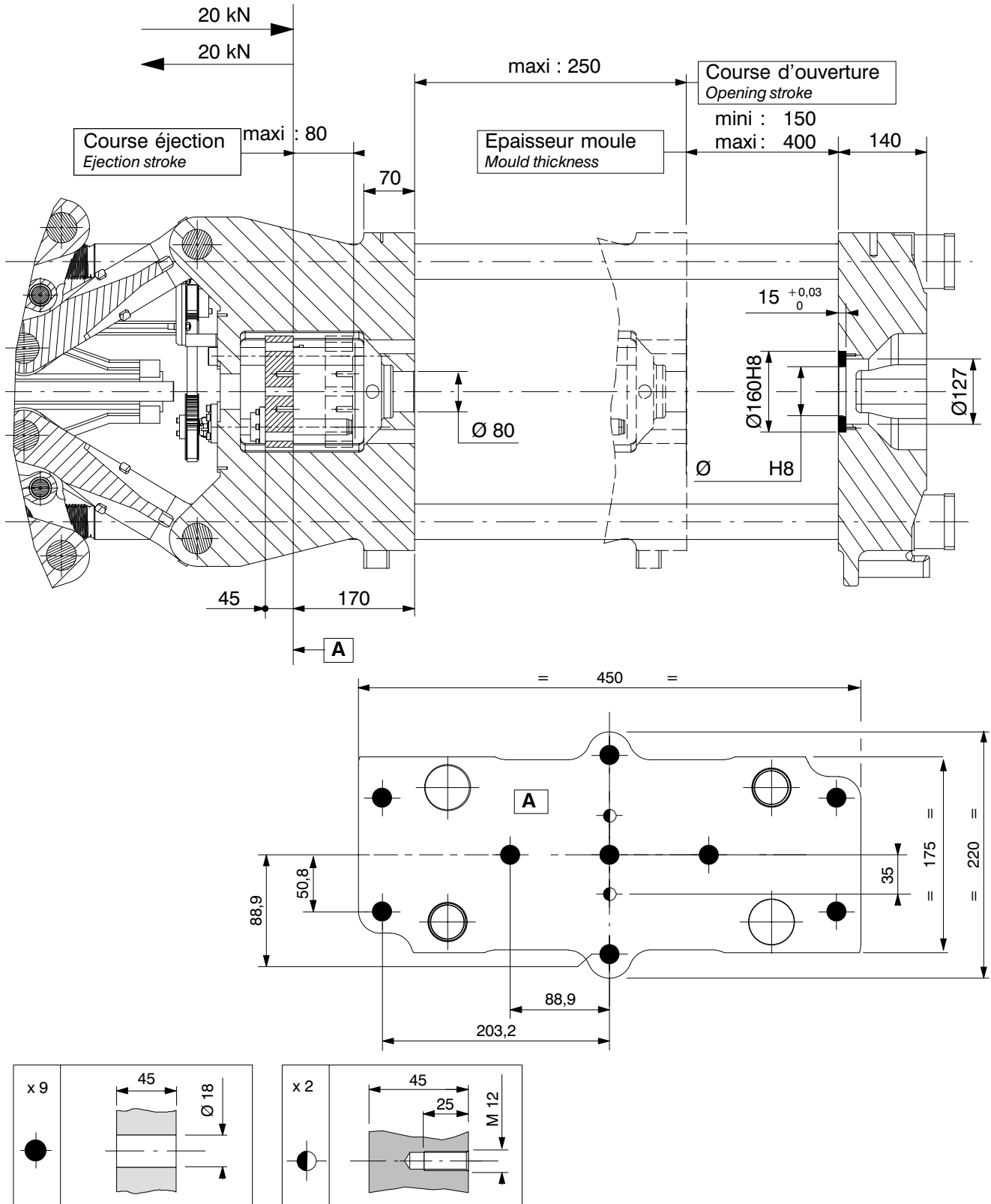


### 2.2.4. Course ouverture et centrage moule

### 2.2.4. Opening stroke and mould centering

#### 2.2.4.1. Plaque éjection

#### 2.2.4.1. Ejection plate



Applicabilité : AN

Machine : Select\_50T  
 Equipement : EP\_PMSB\_PFAB

## 2. CARACTERISTIQUES

### 2.1. FICHE SIGNALETIQUE

### 2.1. IDENTIFICATION SHEET

#### 2.1.1. Fermeture

#### 2.1.1. Closing unit

Pour les caractéristiques spécifiques se referer au paragraphe 2.1.4.2

For specific characteristics refer on para. 2.1.4.2

Modèle	50T	Model
Force de verrouillage maximum .....	500 kN	Maximum clamping force
Epaisseur moule minimum .....	150 mm	Minimum mould thickness
Epaisseur moule maximum (1) .....	400 mm	Maximum mould thickness (1)
Course ouverture maximum .....	250 mm	Maximum opening stroke
Dimension horizontale des plateaux .....	490 mm	Platens overall horizontal dimension
Dimension verticale des plateaux .....	440 mm	Platens overall vertical dimension
Entre colonne horizontal .....	350 mm	Hori. space between tie bars
Entre colonne vertical .....	300 mm	Verti. space between tie bars
Distance maximum entre plateaux .....	650 mm	Maximum clearance between platens
Vitesse maximum d'ouverture .....	800 mm/s	Maximum opening speed
Vitesse maximum de fermeture .....	800 mm/s	Maximum closing speed
Force d'ouverture maximum à 2mm .....	70 kN	Maximum opening force to 2mm
Diamètre des colonnes .....	50 mm	Tie bars diameter
<b>Ejection</b>		
Course maximum .....	80 mm	Maximum stroke
Force maximum de sortie .....	20 kN	Maximum forward force
Force maximum de rentrée .....	20 KN	Maximum backward force
Vitesse maximum de sortie .....	300 mm/s	Maximum forward speed
Vitesse maximum de rentrée .....	300 mm/s	Maximum backward speed

(1) Prendre en compte la course compression si machine équipée

(1) Taking in account the compression stroke if equipped machine



## 2. CARACTERISTIQUES

### 2.1.2. Injection

Pour les caractéristiques spécifiques se referer au paragraphe 2.1.4.2

### 2.1.2. Injection

For specific characteristics refer on para. 2.1.4.2

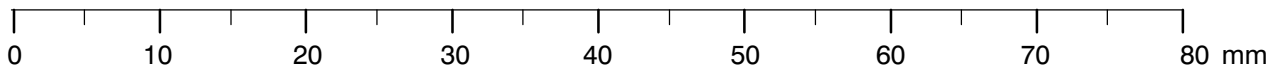
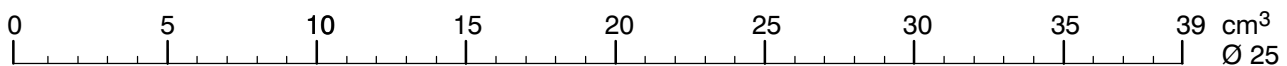
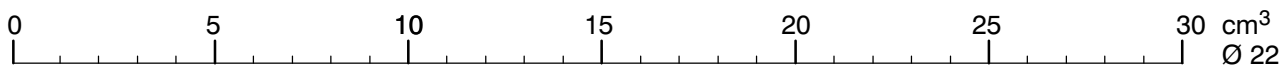
Modèle	H 80			Model
Version	TP			Version
Diamètre des vis .....	22	25	mm	Screws diameter
Rapport L/D .....	20	20	–	L/D ratio
Volume max. théo. déplacé .....	30	39	cm <sup>3</sup>	Max. theoretical displaced volume
Pression max. sur la matière .....	2500	2040	bar	Maximum pressure on the material
Pression de maintien .....	1750	1430	bar	Hold pressure
Débit maximum d'injection .....	75	98	cm <sup>3</sup> /s	Maximum injection flow delivery
Débit théorique par tour (1) .....	0,9	1,5	cm <sup>3</sup>	Theo. delivery per revolution (1)
Moteur d'entraînement vis :				Screw driving motor:
– Couple nominal .....	75	125	N.m	– Nominal torque
– Vitesse maxi .....	400	400	mn <sup>-1</sup>	– Maximum speed
Course maximum de la vis .....	80		mm	Maximum screw stroke
Vitesse max. d'avance de la vis .	200		mm/s	Maximum screw forward speed
Course de l'unité d'injection .....	245		mm	Injection unit stroke
Force d'appui de la buse .....	20		kN	Nozzle tip contact force
Vit. max. d'avance de l'unité d'inj.	48		mm/s	Max. injection unit forward speed
Vit. max. de recul de l'unité d'inj. .	48		mm/s	Max.injection unit backward speed

(1) vis thermoplastique standard

(1) Standard thermoplastic screw

VOLUME D'INJECTION

INJECTION VOLUME

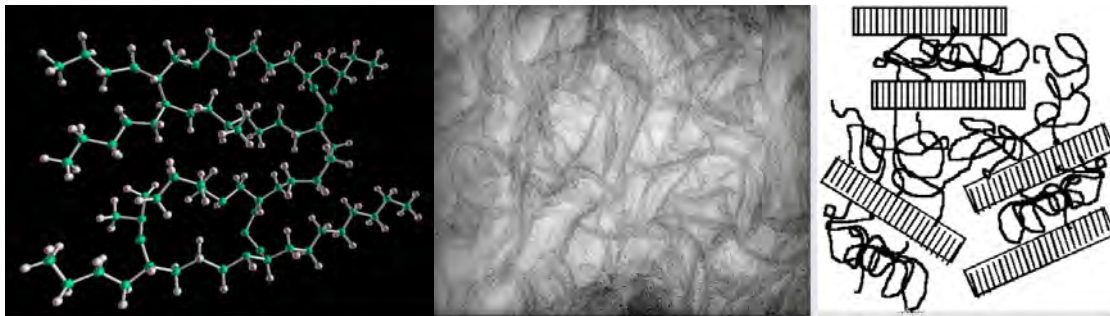


COURSE INJECTION

INJECTION STROKE

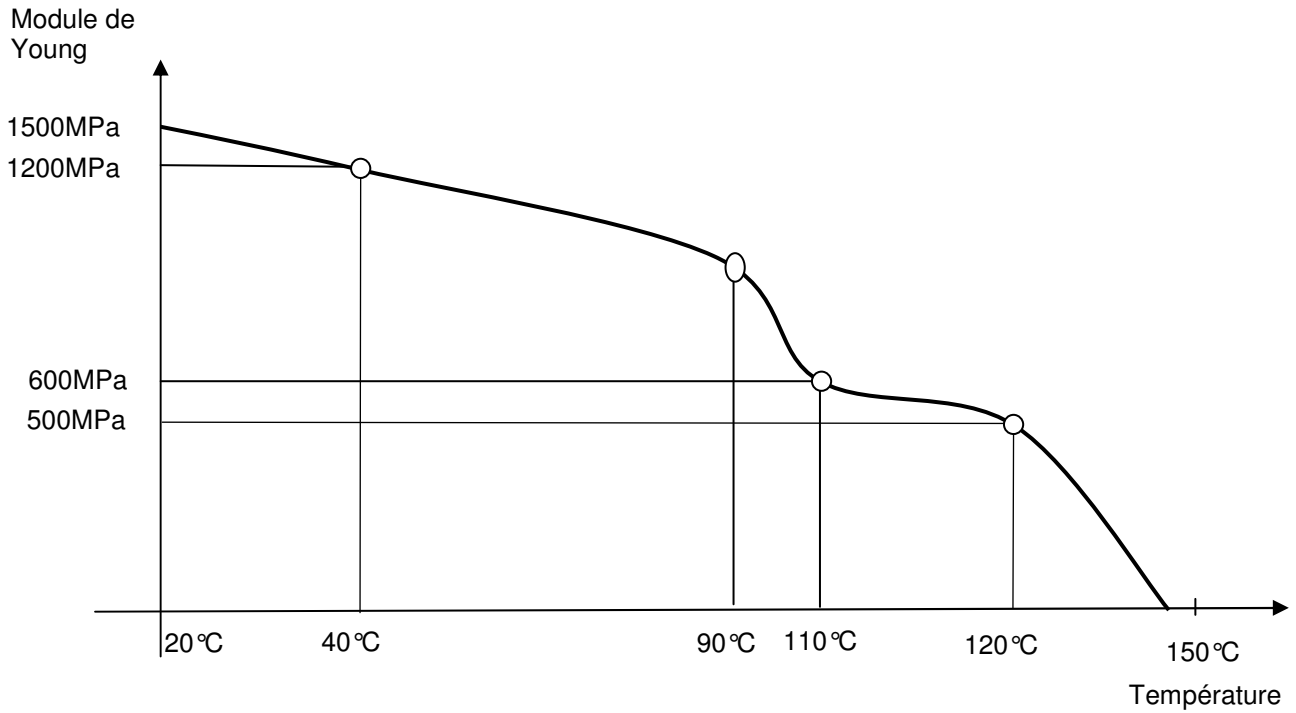
## LES POLYETHYLENES

Les polyéthylènes sont de structure semi cristalline.

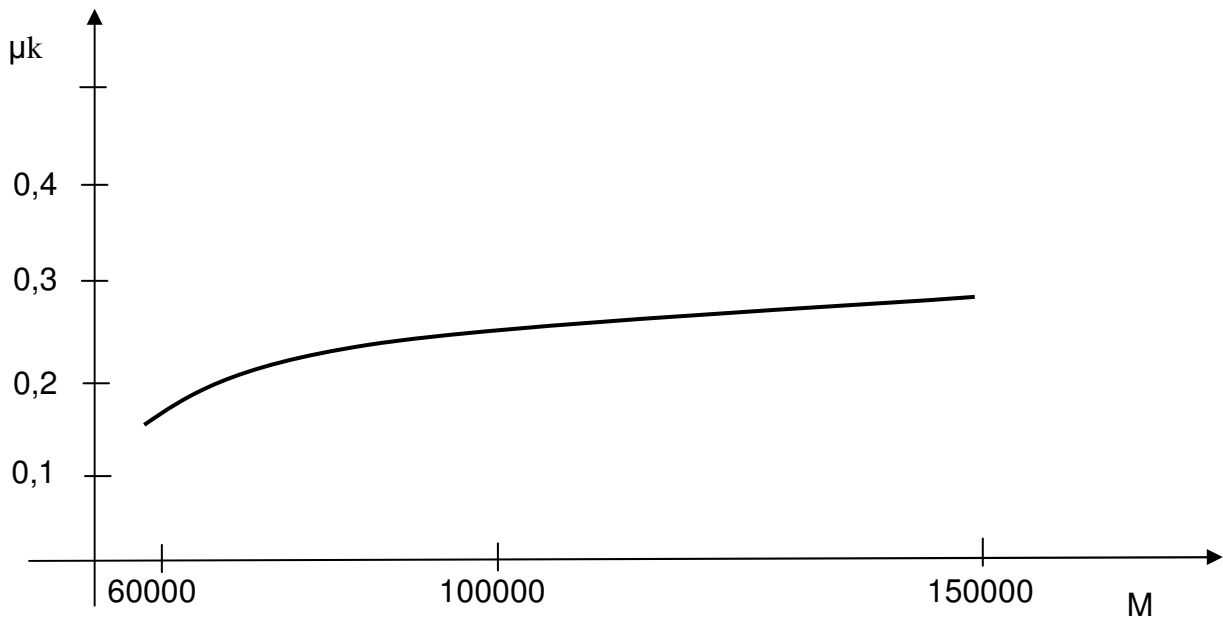


- Les structures cristallines sont, du fait de leur arrangement linéaire, assez denses. Densité  $\approx 1,02$
  - Les structures amorphes ont un arrangement nettement moins dense avec une densité inférieure à 0,88.
- En pratique, les polyéthylènes se situent dans une plage de densité de 0,88 à 0,96.

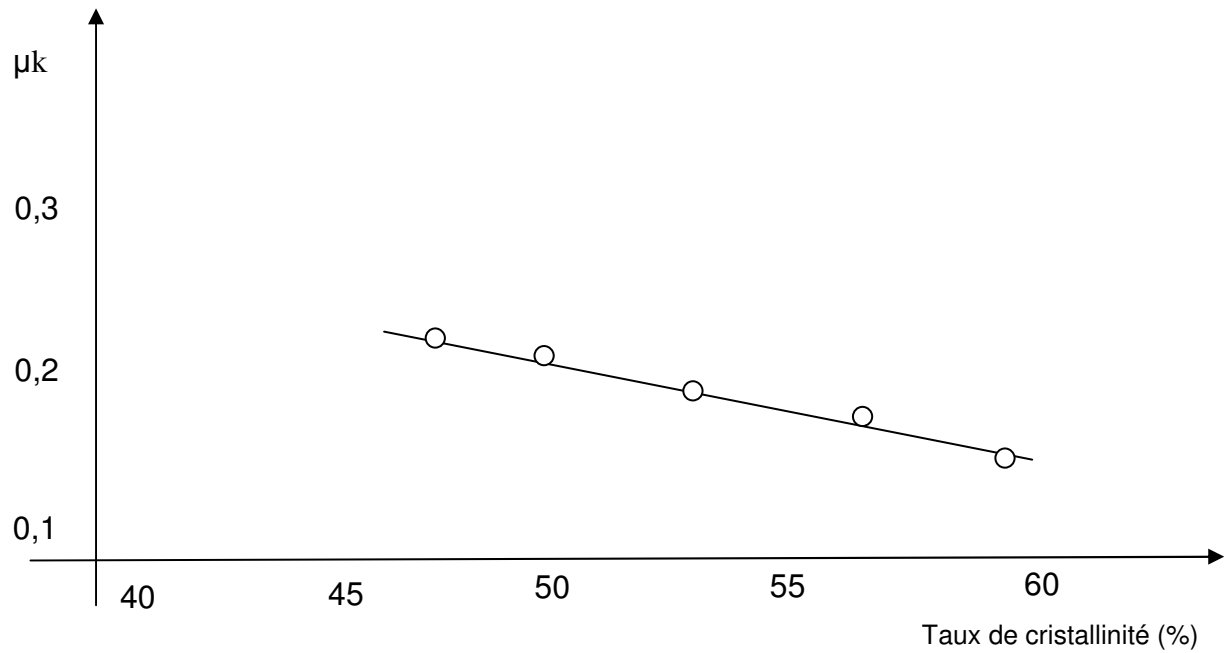
POLYETHYLENE	TYPE	Meld Flow Index Ou Indice de Fluidité
	Très haut poids moléculaire	IF: 0,05
	Injectable pièces épaisseur supérieure à 5mm, diamètre point d'injection > 3mm	
	Grade extrusion	IF: 0,2
	Injectable pièces épaisseur supérieure à 3mm, diamètre point d'injection > 1mm	
	Grade injection traditionnelle	IF: 7
	Injectable pièces épaisseur comprise entre 1 et 2,5mm, diamètre point d'injection > 1 mm	
	Grade injection pièces très fines	IF: 50 à 1000
	Injectable pièces très fines ( <i>gobelets</i> ) épaisseur 0,2 à 0,3mm, diamètre point d'injection compris entre 0,2 et 0,5 mm	



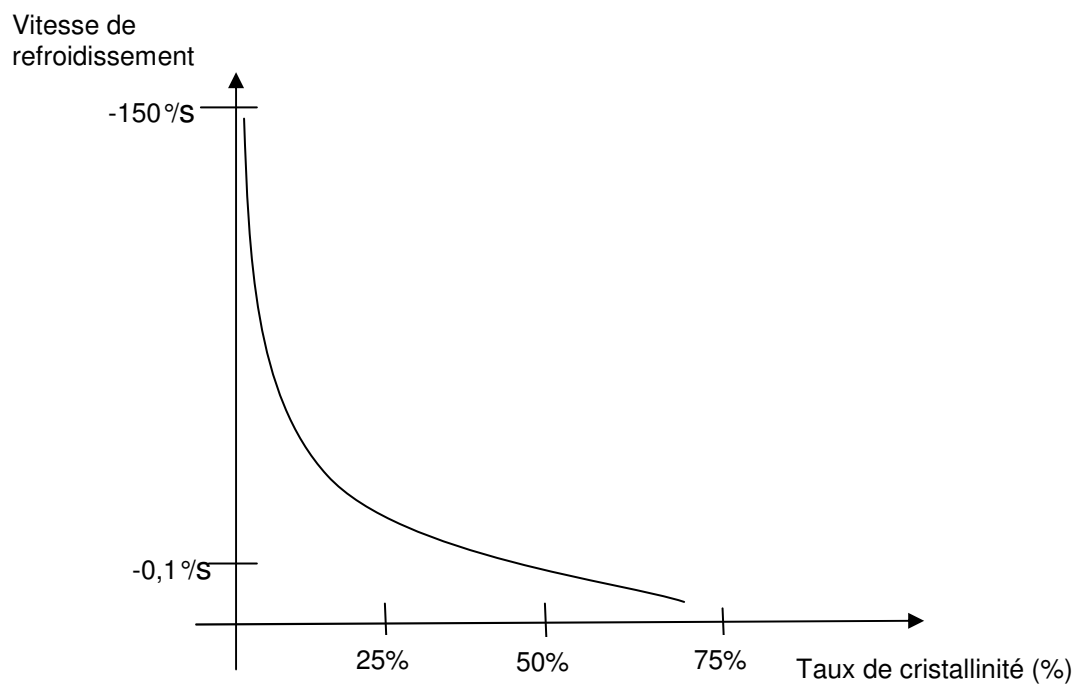
Evolution du module de flexion avec la température pour un polyéthylène.  
*(Il s'agit d'ordres de grandeurs car les caractéristiques précises des polymères ne sont pas spécifiques)*



Effet de la masse moléculaire sur le coefficient de frottement du polyéthylène.  
*(Il s'agit d'ordres de grandeurs car les caractéristiques précises des polymères ne sont pas spécifiques)*



Variation du coefficient de frottement en fonction du taux de cristallinité (%)  
*(Il s'agit d'ordres de grandeurs car les caractéristiques précises des polymères ne sont pas spécifiques)*



Variation du taux de cristallinité (%) de la peau de la pièce (~0,5mm) en fonction de la vitesse de refroidissement.  
*(Il s'agit d'ordres de grandeurs car les caractéristiques précises des polymères ne sont pas spécifiques)*

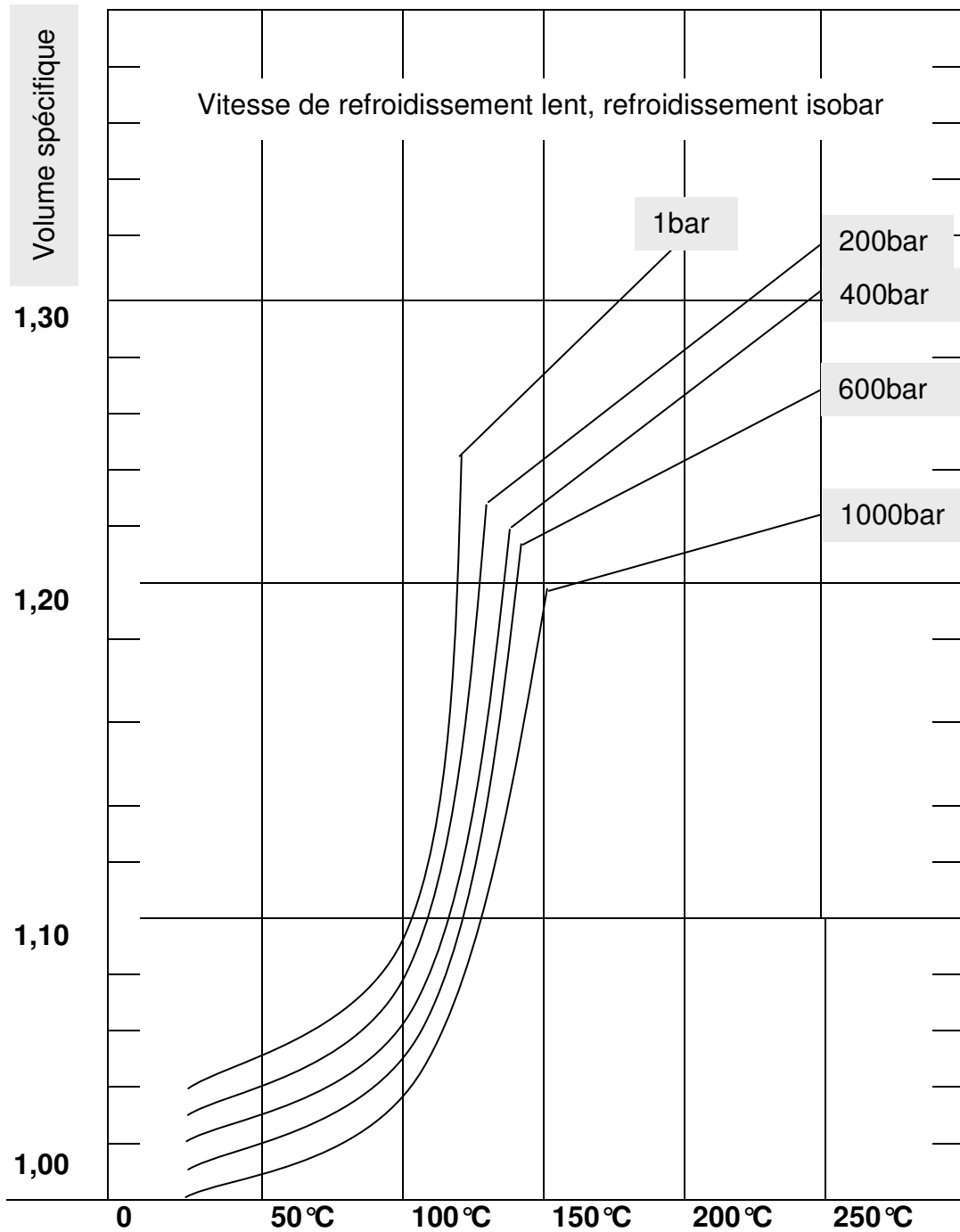
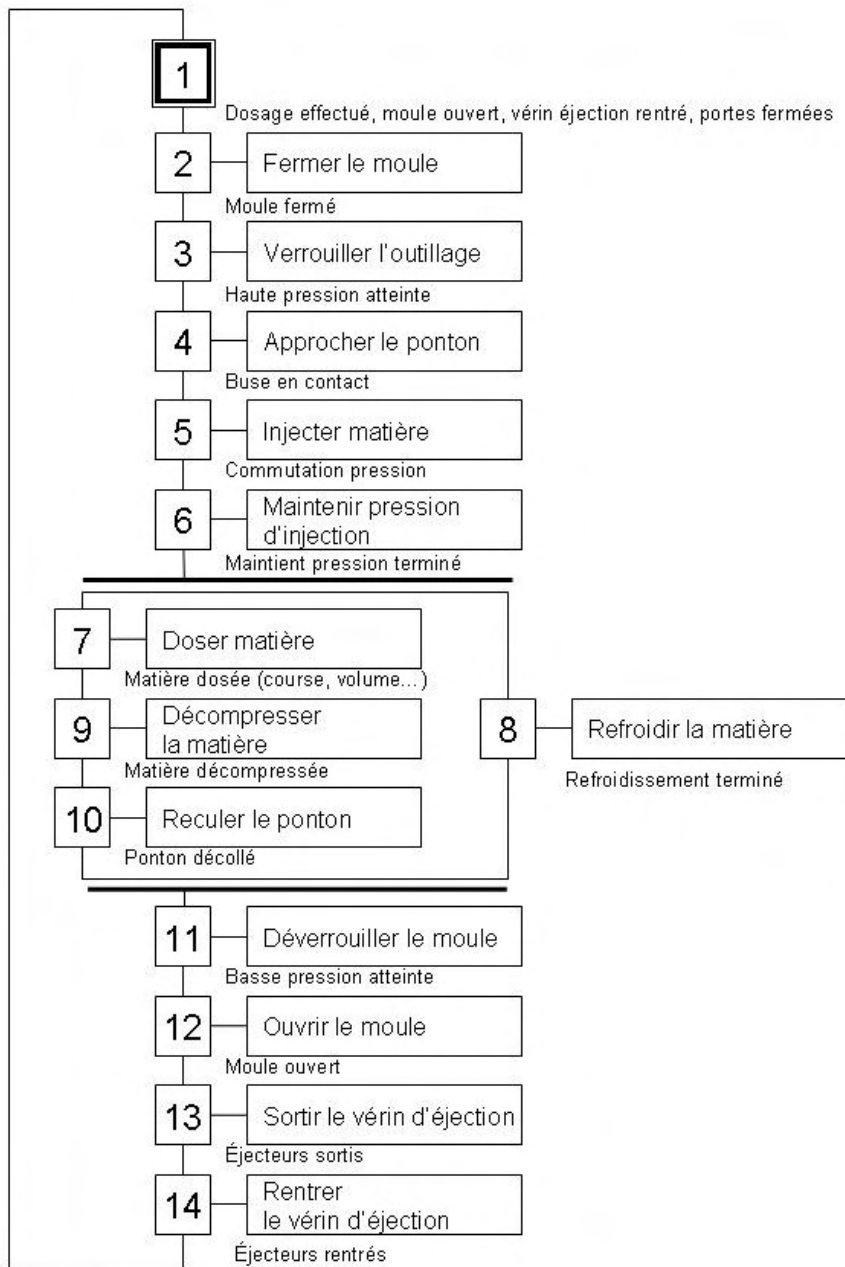


Diagramme PVT (*Pression, Vitesse, Température*) du polyéthylène Haute Densité  
*(Il s'agit d'ordres de grandeurs car les caractéristiques précises des polymères ne sont pas spécifiques)*



Grafcet de fonctionnement semi-automatique de la presse à injecter  
(mode de fonctionnement injection sans compression)

# Fiche technique du tour bi-broche Mazak Integrex 200

INTEGREX 200-IV ST (en photo)

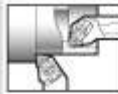


Le diamètre du mandrin de la broche principale est de 8 pouces (203,2 mm) et la machine est disponible avec les options de tourelle inférieure (T) et de broche secondaire (S/ST).

Integrex 200	Machine Standard
<b>CAPACITÉS</b>	
Diamètre du mandrin broche principale	8 "
Diamètre du mandrin de la broche secondaire	8 "
Diamètre d'usinage maxi	660 mm
Diamètre de passage maxi en barre broche principale	65 mm
Diamètre de passage maxi en barre broche secondaire	65 mm
Longueur maxi d'usinage	995 mm
<b>BROCHE PRINCIPALE</b>	
Vitesse de rotation maxi de la broche de fraisage	5000 tr.min <sup>-1</sup>
Puissance du moteur régime 30 minutes	22,0 kW
<b>BROCHE SECONDAIRE</b>	
Vitesse de rotation maxi	5000 tr.min <sup>-1</sup>
Puissance du moteur régime 30 minutes	18,5 kW
<b>BROCHE DE FRAISAGE</b>	
Puissance du moteur régime 20% ED	18,5 kW
Vitesse de rotation maxi de la broche de fraisage	12000 tr.min <sup>-1</sup>
<b>AVANCES AXES</b>	
Mouvement de course d'axe X	580 mm
Mouvement de course d'axe Z	1045 mm
Mouvement de course d'axe Y	160 mm
Mouvement de course d'axe W	1050 mm







## Outils de tournage

Comment choisir l'outil qui convient le mieux à l'opération

## USINAGE EXTÉRIEUR

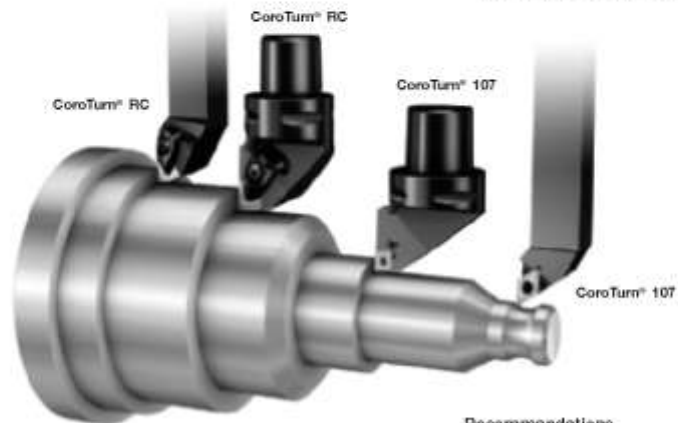


## CoroTurn® RC

– Usinage extérieur, de l'ébauche à la finition

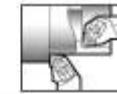
## CoroTurn® 107

– Usinage extérieur de pièces petites, longues ou minces



## Recommandations générales

Utiliser si possible un angle d'attaque inférieur à 90°, pour réduire l'impact et les forces de coupe.



## Outils de tournage

Comment choisir l'outil qui convient le mieux à l'opération

## USINAGE INTÉRIEUR

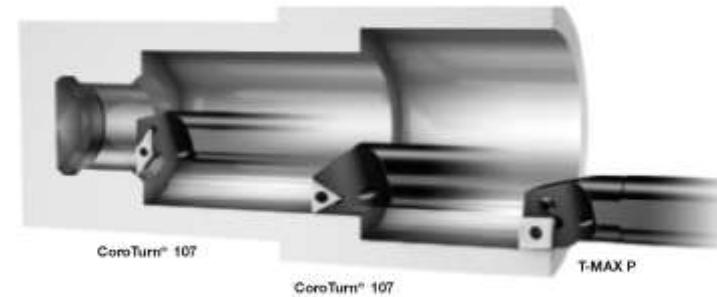


## CoroTurn® 107

– Choix de base pour l'usinage intérieur de diamètres faibles à moyens et en cas de long porte-à-faux.

## T-MAX P

– Usinage intérieur de grands diamètres avec un porte-à-faux réduit, en bonnes conditions de stabilité.



## Recommandations générales

Utiliser si possible un angle d'attaque proche de 90°, pour réduire l'impact et les forces de coupe.  
Utiliser le plus gros diamètre de barre et le plus petit porte-à-faux possible, pour bénéficier d'une stabilité maximum.

## Outils de tournage

Codification des plaquettes et porte-plaquettes  
Extrait de ISO 1832—1991.



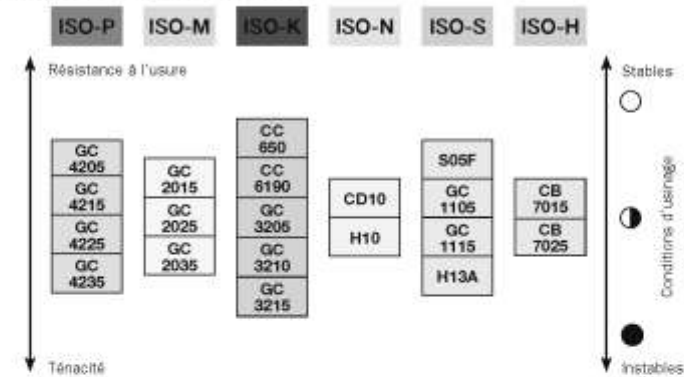
1. FORME DE PLAQUETTE		2. ANGLE DE DÉPOUILLE DE LA PLAQUETTE	
60° C	55° D	R	S
T	30° V	60° W	
4. TYPE DE PLAQUETTE		5. TAILLE DE PLAQUETTE = LONGUEUR D'ARETE DE COUPE	
A	G	mm : 06-10 07-15 08-12 09-18 09-22 11-18 06-08	
M	T		
7. RAYON DE BEC			
	04 $r_n = 0,4$ 08 $r_n = 0,8$ 12 $r_n = 1,2$ 16 $r_n = 1,6$ 24 $r_n = 2,4$	Choix de base pour le rayon de bec : T-MAX P    CoroTurn 107	
		FINITION	08    04
		SEMI-FINITION	08    08
		ÉBAUCHÉ	12    08
8. GÉOMÉTRIE – OPTIONS PROPRES AU FABRICANT			
Le fabricant peut ajouter au code un symbole complémentaire de deux lettres pour décrire la géométrie de la plaquette, p. ex. : -PF = ISO P Finition -MR = ISO M Ébauche			
B. MODE DE FIXATION			
D	M	P	S
Ébridage rigide (RC)	Fixation par trou central et bride	Fixation par trou central	Fixation par vis
D. SENS DE COUPE		E. HAUTEUR DE MANCHE	
R			
L			
N			
à droite			
à gauche			
neutre			
F. LARGEUR DE MANCHE		G. LONGUEUR DE L'OUTIL	
		Longueur d'outil = $l_1$ en mm	
		H = 100	S = 250
		K = 125	T = 300
		M = 150	U = 350
		P = 170	V = 400
		Q = 180	W = 450
		R = 200	Y = 500

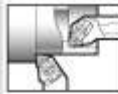
## Outils de tournage

Nuances de tournage



### Vue d'ensemble des nuances

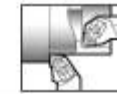




## Outils de tournage

Comment choisir une plaquette et un porte-plaquette

Définir la matière à usiner	Plaquettes négatives T-MAX P			Plaquettes positives CoroTurn 107			Porte-plaquettes Choisir le type et la taille dans les pages de porte-plaquettes.
	Choisir la géométrie, la nuance et les conditions de coupe dans les pages de plaquettes.			Choisir la géométrie, la nuance et les conditions de coupe dans les pages de plaquettes.			
P	Finition	Semi-finition	Ébauche	Finition	Semi-finition	Ébauche	<b>Usinage extérieur</b> Porte-plaquettes pour plaquettes négatives Outils à manche Pages 58-62 Coromant Capto Pages 59-63
	Page 24	Page 26	Page 28-30	Page 70	Page 72	Page 74	
M	Finition	Semi-finition	Ébauche	Finition	Semi-finition	Ébauche	<b>Porte-plaquettes pour plaquettes positives</b> Outils à manche Pages 96-100 Coromant Capto Pages 97-101
	Page 32	Page 34	Page 36-38	Page 76	Page 78	Page 80	
K	Finition	Semi-finition	Ébauche	Finition	Semi-finition	Ébauche	<b>Usinage intérieur</b> Porte-plaquettes pour plaquettes positives Outils à manche Pages 102-104 Coromant Capto Pages 103-105
	Page 40	Page 42-44	Page 46-48	Page 82	Page 84	Page 86	
N				Semi-finition			<b>Porte-plaquettes pour plaquettes négatives</b> Outils à manche Pages 65-68 Coromant Capto Pages 64-66
				Page 88			
S	Finition	Semi-finition	Ébauche	Finition	Semi-finition		
	Page 50	Page 52	Page 54	Page 90	Page 92		
H	Finition			Finition			
	Page 56			Page 94			




## Outils de tournage

















Tournage avec plaquettes T-Max P et CoroTurn® 107

USINAGE EXTÉRIEUR (Pages 58 - 63)					CoroTurn® RC
C	W	D	V		
95°	95°	93°	93°		
T	T	T	S		
93°	91°	91°	75°		
S	S				
75°	45°				
USINAGE INTÉRIEUR (Pages 64 - 69)					
C	W	D	T	S	
95°	95°	93°	91°	75°	
USINAGE INTÉRIEUR (Pages 102 - 105)					CoroTurn 107 A vis
V	C	D	V	T	
107,5°	95°	93°	93°	91°	
S					
75°					
USINAGE EXTÉRIEUR (Pages 96 - 101)					
V	C	D	V	T	
107,5°	95°	93°	93°	91°	
T	S	S	R	R	
91°	75°	45°			

Forme de plaquette : C = rhombique 80°, D = rhombique 55°, R = ronde, S = carrée,  
T = triangulaire, V = rhombique 35°, W = trigone



















ISO/ANSI **M F** FINITION DES ACIERS INOXYDABLES  
Plaquettes à forme de base négative



RÉFÉRENCE DE COMMANDE		CONDITIONS DE COUPE, CMC 05.21 / 180 HB			Vitesse de coupe $v_c$ (m/min)			
Réversible					Profondeur de coupe $a_p$ , mm	Avance $f_z$ , mm/tr	G/2015	G/2025
	CNMG 12 04 04-WF	☆	★	⊖	0,4 (0,25-3)	0,15 (0,05-0,25)	290	
	12 04 08-WF	☆	★	⊖	1 (0,25-4)	0,3 (0,1-0,5)	220	
	DNMX 11 04 04-WF	☆	★	⊖	1 (0,2-3)	0,2 (0,08-0,3)	290	
	11 04 08-WF	☆	★	⊖	1 (0,2-3)	0,3 (0,1-0,4)	270	
	15 06 08-WF	☆	★	⊖	1,5 (0,2-3)	0,3 (0,1-0,4)	270	
	TNMX 16 04 04-WF	☆	★	⊖	1 (0,2-3)	0,2 (0,08-0,3)	290	
	16 04 08-WF	☆	★	⊖	1,5 (0,2-3)	0,3 (0,1-0,4)	270	
	WNMG 06 04 04-WF	☆	★	⊖	0,4 (0,25-2)	0,15 (0,05-0,25)	290	
	06 04 08-WF	☆	★	⊖	1 (0,25-3)	0,3 (0,1-0,5)	270	
	08 04 04-WF	☆	★	⊖	0,4 (0,25-3)	0,15 (0,05-0,25)	290	
	08 04 08-WF	☆	★	⊖	1 (0,25-4)	0,3 (0,1-0,5)	270	
	CNMG 12 04 04-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,1 (0,05-0,2)	290	265
	12 04 08-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,2 (0,1-0,4)	290	240
	DNMG 11 04 04-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,1 (0,05-0,2)	290	265
	11 04 08-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,2 (0,1-0,4)	290	240
	15 06 04-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,1 (0,05-0,2)	290	265
	15 06 08-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,2 (0,1-0,4)	290	240
	SNMG 12 04 04-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,1 (0,05-0,2)	290	265
	12 04 08-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,2 (0,1-0,4)	290	240
	TNMG 16 04 04-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,1 (0,05-0,2)	290	265
	16 04 08-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,2 (0,1-0,4)	290	240
	WNMG 16 04 04-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,1 (0,05-0,2)	290	265
	16 04 08-MF	☆	★	⊖	0,8 (0,2-2,2)	0,15 (0,08-0,3)	290	260
	WNMG 06 04 04-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,1 (0,05-0,2)	290	265
	06 04 08-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,2 (0,1-0,4)	290	240
	08 04 04-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,1 (0,05-0,2)	290	265
	08 04 08-MF	☆	★	⊖	0,4 (0,1-1,5)	0,2 (0,1-0,4)	290	240

ISO/ANSI **M M** SEMI-FINITION DES ACIERS INOXYDABLES  
Plaquettes à forme de base négative



RÉFÉRENCE DE COMMANDE		CONDITIONS DE COUPE, CMC 05.21 / 180 HB			Vitesse de coupe $v_c$ (m/min)				
Réversible					Profondeur de coupe $a_p$ , mm	Avance $f_z$ , mm/tr	G/2015	G/2025	G/2035
	CNMG 12 04 08-WMX	☆	★	⊖	3 (0,5-5)	0,45 (0,15-0,7)	225		
	12 04 12-WMX	☆	★	⊖	3,5 (0,8-6)	0,5 (0,2-0,75)	215		
	DNMX 15 06 08-WMX	☆	★	⊖	3 (0,5-5)	0,45 (0,15-0,7)	225		
	15 06 12-WMX	☆	★	⊖	3,5 (0,8-6)	0,5 (0,2-0,75)	215		
	TNMX 16 04 08-WMX	☆	★	⊖	3 (0,5-5)	0,45 (0,15-0,7)	225		
	16 04 12-WMX	☆	★	⊖	3,5 (0,8-6)	0,5 (0,2-0,75)	215		
	WNMG 06 04 08-WMX	☆	★	⊖	3 (0,5-5)	0,45 (0,15-0,7)	225		
	06 04 12-WMX	☆	★	⊖	3,5 (0,8-6)	0,5 (0,2-0,75)	215		
	08 04 08-WMX	☆	★	⊖	3 (0,5-5)	0,45 (0,15-0,7)	225		
	08 04 12-WMX	☆	★	⊖	3,5 (0,8-6)	0,5 (0,2-0,75)	215		
	CNMG 12 04 08-MM	☆	★	⊖	3 (0,5-5,7)	0,25 (0,12-0,45)	280	225	185
	12 04 12-MM	☆	★	⊖	3 (0,5-5,7)	0,3 (0,15-0,6)	270	205	160
	12 04 16-MM	☆	★	⊖	3 (0,5-5,7)	0,37 (0,18-0,65)	250	185	150
	16 06 08-MM	☆	★	⊖	4 (0,5-7,2)	0,25 (0,12-0,45)	280	225	185
	16 06 12-MM	☆	★	⊖	4 (0,5-7,2)	0,3 (0,15-0,6)	270	205	160
	16 06 16-MM	☆	★	⊖	4 (0,5-7,2)	0,37 (0,18-0,65)	260	185	150
	DNMG 11 04 08-MM	☆	★	⊖	2 (0,5-4,4)	0,25 (0,12-0,45)	280	225	185
	11 04 12-MM	☆	★	⊖	2 (0,5-4,4)	0,3 (0,15-0,6)	270	205	
	15 06 08-MM	☆	★	⊖	3 (0,5-6,4)	0,25 (0,12-0,45)	280	225	185
	15 06 12-MM	☆	★	⊖	3 (0,5-6,4)	0,3 (0,15-0,6)	270	205	160
	SNMG 12 04 08-MM	☆	★	⊖	3 (0,5-6,4)	0,25 (0,12-0,45)	280	225	185
	12 04 12-MM	☆	★	⊖	3 (0,5-6,4)	0,3 (0,15-0,6)	270	205	160
	12 04 16-MM	☆	★	⊖	3 (0,5-6,4)	0,37 (0,18-0,65)	250	185	150
	15 06 12-MM	☆	★	⊖	4 (0,5-8)	0,3 (0,15-0,6)	260	185	
	15 06 16-MM	☆	★	⊖	4 (0,5-8)	0,37 (0,18-0,65)	250	185	
	TNMG 16 04 08-MM	☆	★	⊖	3 (0,5-4,5)	0,25 (0,12-0,45)	280	225	185
	16 04 12-MM	☆	★	⊖	3 (0,5-4,5)	0,3 (0,15-0,6)	270	205	160
	22 04 08-MM	☆	★	⊖	4 (0,5-6,6)	0,25 (0,12-0,45)	280	225	185
	22 04 12-MM	☆	★	⊖	4 (0,5-6,6)	0,3 (0,15-0,6)	270	205	160
	22 04 16-MM	☆	★	⊖	4 (0,5-6,6)	0,37 (0,18-0,65)	250	185	
	VNMG 16 04 08-MM	☆	★	⊖	2 (0,5-4)	0,25 (0,12-0,45)	280	225	165
	WNMG 06 04 08-MM	☆	★	⊖	2 (0,5-3)	0,25 (0,12-0,45)	280	225	185
	06 04 12-MM	☆	★	⊖	2 (0,5-3)	0,3 (0,15-0,6)	270	205	
	08 04 08-MM	☆	★	⊖	2,5 (0,5-6)	0,25 (0,12-0,45)	280	225	185
	08 04 12-MM	☆	★	⊖	2,5 (0,5-6)	0,3 (0,15-0,6)	270	205	160


TOURNAGE

ISO/ANSI		EBAUCHE DES ACIERS INOXYDABLES			Plaquettes à forme de base négative		TOURNAGE		
M R									
RÉFÉRENCE DE COMMANDE		CONDITIONS DE COUPE, CMC 05.21 / 180 HB							
Réversible		Vitesse de coupe $v_c$ (m/min)		Profondeur de coupe $a_p$ mm		Avance $f_z$ mm/tr		Vitesse de coupe $v_c$ (m/min)	
		GC2025	GC2025	GC2025	GC2025	GC2025	GC2025	GC2025	GC2025
	CNMG 12 04 08-MR	☆	★	☆	3 (2-7,5)	0.3 (0.15-0.55)	205		
	12 04 12-MR	☆	★	☆	3 (2-7,5)	0.35 (0.2-0.6)	190		
	12 04 16-MR	☆	★	☆	3 (2-7,5)	0.4 (0.25-0.7)	175		
	DNMG 15 06 08-MR	☆	★	☆	4 (2-10)	0.35 (0.2-0.6)	190		
	15 06 12-MR	☆	★	☆	4 (2-10)	0.4 (0.25-0.7)	175		
	15 06 16-MR	☆	★	☆	4 (2-10)	0.4 (0.25-0.7)	175		
	SNMG 12 04 08-MR	☆	★	☆	3 (2-7,5)	0.3 (0.15-0.55)	205		
	12 04 12-MR	☆	★	☆	3 (2-7,5)	0.35 (0.2-0.6)	190		
	15 06 12-MR	☆	★	☆	4 (2-9,5)	0.35 (0.2-0.6)	190		
	TNMG 16 04 08-MR	☆	★	☆	3 (2-5,5)	0.3 (0.15-0.55)	205		
	16 04 12-MR	☆	★	☆	3 (2-5,5)	0.35 (0.2-0.6)	190		
	22 04 08-MR	☆	★	☆	4 (2-7,7)	0.3 (0.15-0.55)	205		
	WNMG06 04 08-MR	☆	★	☆	2 (1,5-3)	0.3 (0.15-0.55)	205		
	06 04 12-MR	☆	★	☆	2 (1,5-3)	0.35 (0.2-0.6)	190		
	06 04 08-MR	☆	★	☆	2,5 (2-4)	0.3 (0.15-0.55)	205		
	06 04 12-MR	☆	★	☆	2,5 (2-4)	0.35 (0.2-0.6)	190		

TOURNAGE

ISO/ANSI		EBAUCHE DES ACIERS INOXYDABLES			Plaquettes à forme de base négative		TOURNAGE		
M R									
RÉFÉRENCE DE COMMANDE		CONDITIONS DE COUPE, CMC 05.21 / 180 HB							
Non réversible		Vitesse de coupe $v_c$ (m/min)		Profondeur de coupe $a_p$ mm		Avance $f_z$ mm/tr		Vitesse de coupe $v_c$ (m/min)	
		GC2025	GC2025	GC2025	GC2025	GC2025	GC2025	GC2025	GC2025
	CNMM 12 04 08-MR	☆	★	☆	3 (0,7-7,5)	0.35 (0.2-0.55)	190	155	
	12 04 12-MR	☆	★	☆	3 (1-7,5)	0.4 (0.25-0.7)	175		
	12 04 16-MR	☆	★	☆	3 (1,5-7,5)	0.5 (0.32-0.9)	150		
	DNMM 15 06 08-MR	☆	★	☆	6 (1-9,5)	0.4 (0.3-0.55)	175		
	15 06 12-MR	☆	★	☆	6 (1,2-9,5)	0.45 (0.32-0.8)	165		
	15 06 16-MR	☆	★	☆	6 (1,5-9,5)	0.5 (0.35-0.8)	150		
	SNMM 12 04 08-MR	☆	★	☆	3 (0,7-7,5)	0.35 (0.2-0.55)	190	155	
	12 04 12-MR	☆	★	☆	3 (1-7,5)	0.4 (0.25-0.7)	175	145	
	12 04 16-MR	☆	★	☆	3 (1,5-7,5)	0.5 (0.32-0.9)	150	130	
	TNMM 16 04 08-MR	☆	★	☆	4 (1-9)	0.4 (0.25-0.7)	175		
	15 06 12-MR	☆	★	☆	4 (1,5-9)	0.5 (0.32-0.9)	150		
	15 06 16-MR	☆	★	☆	4 (1,5-9)	0.5 (0.32-0.9)	150		
	WNMM 08 04 08-MR	☆	★	☆	3 (0,7-7,5)	0.35 (0.2-0.55)	190	155	
	08 04 12-MR	☆	★	☆	5 (1-7,5)	0.4 (0.25-0.7)	145		
	08 04 16-MR	☆	★	☆	3 (0,7-8)	0.35 (0.2-0.55)	190		
	22 04 08-MR	☆	★	☆	3 (1-8)	0.4 (0.25-0.7)	175		
	22 04 16-MR	☆	★	☆	3 (1,5-8)	0.5 (0.32-0.9)	150		
	WNMM 08 04 08-MR	☆	★	☆	3 (0,7-6)	0.35 (0.2-0.55)	190	155	
	08 04 12-MR	☆	★	☆	3 (1-6)	0.4 (0.25-0.7)	175	145	
	08 04 16-MR	☆	★	☆	3 (1,5-6)	0.5 (0.32-0.9)	150		


ISO/ANSI **M F** FINITION DES ACIERS INOXYDABLES  
Plaquettes à forme de base positive



TOURNAGE

RÉFÉRENCE DE COMMANDE		CONDITIONS DE COUPE, CMC 05.21 / 180 HB				
Non réversible		0C2015	0C2015	0C2025	Vitesse de coupe $v_c$ (m/min)	
		Profondeur de coupe $a_p$ mm	Avance $f_z$ mm/tr	0C2015	0C2025	
	CCMT 06 02 04-WF	★	★		0,8 (0,3-2)	0,12 (0,05-0,3)
	06 02 08-WF	★	★		0,8 (0,3-2)	0,15 (0,09-0,35)
	09 T3 04-WF	★	★		1 (0,3-3)	0,2 (0,07-0,5)
	09 T3 08-WF	★	★		1 (0,3-3)	0,25 (0,12-0,5)
	DCMX 07 02 04-WF	★	★		0,7 (0,3-2)	0,12 (0,05-0,25)
	07 02 08-WF	★	★		0,7 (0,3-2)	0,15 (0,09-0,35)
	11 T3 04-WF	★	★		1 (0,3-3)	0,2 (0,07-0,5)
	11 T3 08-WF	★	★		1 (0,3-3)	0,25 (0,12-0,4)
	TCMX 09 02 04-WF	★	★		0,7 (0,3-2)	0,12 (0,05-0,3)
	11 03 04-WF	★	★		1 (0,3-2,5)	0,2 (0,07-0,5)
	11 03 08-WF	★	★		1 (0,3-2,5)	0,25 (0,12-0,4)
	16 T3 08-WF	★	★		1,2 (0,3-3,5)	0,25 (0,12-0,5)
	CCMT 06 02 04-MF	★	★		0,3 (0,1-1,7)	0,08 (0,05-0,17)
	09 T3 04-MF	★	★	☆	0,35 (0,11-2)	0,11 (0,05-0,25)
	09 T3 08-MF	★	★	☆	0,35 (0,15-2)	0,15 (0,08-0,3)
	DCMT 07 02 04-MF	★	★	☆	0,25 (0,08-1,5)	0,08 (0,05-0,17)
	11 T3 04-MF	★	★	☆	0,35 (0,11-2)	0,11 (0,05-0,23)
	11 T3 08-MF	★	★	☆	0,35 (0,15-2)	0,15 (0,08-0,3)
	SCMT 09 T3 04-MF			★	0,35 (0,11-2)	0,11 (0,05-0,23)
	09 T3 08-MF			★	0,35 (0,15-2)	0,15 (0,08-0,3)
	TCMT 09 02 04-MF	★	★	☆	0,3 (0,1-1,7)	0,1 (0,05-0,19)
	11 03 04-MF	★	★	☆	0,3 (0,1-1,7)	0,1 (0,05-0,19)
	11 03 08-MF	★	★	☆	0,3 (0,13-1,7)	0,13 (0,07-0,26)
	16 T3 04-MF	★	★	☆	0,35 (0,11-2)	0,11 (0,05-0,23)
	VBMT 11 03 04-MF	★	★	☆	0,3 (0,1-1,7)	0,1 (0,05-0,19)
	11 03 08-MF	★	★	☆	0,3 (0,13-1,7)	0,13 (0,07-0,26)
	16 04 04-MF	★	★	☆	0,32 (0,1-1,8)	0,1 (0,05-0,2)
	16 04 08-MF	★	★	☆	0,32 (0,14-1,8)	0,14 (0,07-0,27)
16 04 12-MF	★	★	☆	0,32 (0,14-1,8)	0,16 (0,09-0,32)	

ISO/ANSI **M M** SEMI-FINITION DES ACIERS INOXYDABLES  
Plaquettes à forme de base positive



TOURNAGE

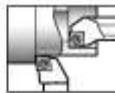
RÉFÉRENCE DE COMMANDE		CONDITIONS DE COUPE, CMC 05.21 / 180 HB					
Non réversible		0C2015	0C2015	0C2020	0C2035	Vitesse de coupe $v_c$ (m/min)	
		Profondeur de coupe $a_p$ mm	Avance $f_z$ mm/tr	0C2015	0C2020	0C2035	
	CCMT 09 T3 04-WM	★	★				1,5 (0,5-4)
	09 T3 08-WM	★	★				1,5 (0,7-4)
	DCMX 11 T3 04-WM	★	★				1,5 (0,5-4)
	11 T3 08-WM	★	★				1,5 (0,5-4)
	CCMT 06 02 04-MM	★					0,64 (0,2-2,4)
	06 02 08-MM	★					0,64 (0,4-2,4)
	09 T3 04-MM	★	★	☆	☆		0,64 (0,25-3)
	09 T3 08-MM	★	★	☆	☆		0,8 (0,5-3)
	DCMT 07 02 04-MM	★	★	☆	☆		0,6 (0,19-2,5)
	07 02 08-MM	★	★	☆	☆		0,6 (0,38-2,5)
	11 T3 04-MM	★	★	☆	☆		0,8 (0,25-3)
	11 T3 08-MM	★	★	☆	☆		0,8 (0,5-3)
	SCMT 09 T3 04-MM	★	★	☆	☆		0,8 (0,25-3)
	09 T3 08-MM	★	★	☆	☆		0,8 (0,5-3)
	TCMT 09 02 04-MM	★	★	☆	☆		0,8 (0,19-2,5)
	09 02 08-MM	★	★	☆	☆		0,8 (0,38-2,5)
	11 03 04-MM	★	★	☆	☆		0,67 (0,21-2,5)
	11 03 08-MM	★	★	☆	☆		0,67 (0,42-2,5)
	16 T3 04-MM	★	★	☆	☆		0,8 (0,25-3)
	16 T3 08-MM	★	★	☆	☆		0,8 (0,5-3)
	16 T3 12-MM	★	★	☆	☆		0,8 (0,8-3)
	VBMT 16 04 04-MM	★	★	☆	☆		0,72 (0,23-2,7)
	16 04 08-MM	★	★	☆	☆		0,72 (0,45-2,7)
	16 04 12-MM	★	★	☆	☆		0,72 (0,54-2,7)
	RCMT 08 03 M0		★				2 (0,8-3,2)
	10 T3 M0		★				2,5 (1-4)
	12 04 M0		★				3 (1,2-4,8)

ISO/  
ANSI  
**M R**

**EBAUCHE DES ACIERS INOXYDABLES**

Plaquettes à forme de base positive

TOURNAGE



TOURNAGE



**Usinage intérieur avec plaquettes positives CoroTurn® 107**

Diamètre de barre 8 – 25 mm

RÉFÉRENCE DE COMMANDE		CONDITIONS DE COUPE, CMC 05.21 / 180 HB			Vitesse de coupe $v_c$ (m/min)				
Non réversible		GC2015	GC2035	GC2038	Profondeur de coupe $a_p$ mm	Avance $f_z$ mm/tr	GC2015	GC2035	GC2038
	CCMT 06 02 08-MR	☆	★	★	1.6 (0.8-3.2)	0.19 (0.09-0.25)	290		170
	09 T3 08-MR	☆	★	☆	2 (1-4)	0.25 (0.12-0.35)	290	225	165
	09 T3 12-MR	☆	★	☆	2 (1.2-4)	0.3 (0.14-0.42)		205	
	DCMT 11 T3 08-MR	☆	★	☆	2 (1-4)	0.25 (0.12-0.35)	290	225	165
	11 T3 12-MR	☆	★	☆	2 (1.2-4)	0.3 (0.14-0.42)	270	205	160
	SCMT 09 T3 08-MR	☆	★	☆	2 (1-4)	0.25 (0.12-0.35)	290	225	165
	09 T3 12-MR	☆	★	★	2 (1.2-4)	0.3 (0.14-0.42)			160
	TCMT 11 03 08-MR	☆	★	☆	1.5 (0.75-3)	0.21 (0.1-0.3)		235	170
	16 T3 08-MR	☆	★	☆	2 (1-4)	0.25 (0.12-0.35)	290	225	165
	16 T3 12-MR	☆	★	☆	2 (1.2-4)	0.3 (0.14-0.42)		205	160
	VBMT 16 04 08-MR	☆	★	☆	1.8 (0.9-3.6)	0.23 (0.11-0.32)	295	230	170
	16 04 12-MR	☆	★	☆	1.8 (1.1-3.6)	0.27 (0.13-0.38)		215	165

CoroTurn® 107 à fixation par vis

A...SCLCR/L	A...SCLCR/L...R	A...SDUCR/L	A...SDUCR/L...R	A...SSKCR/L	A...SSKCR/L...R				
$\kappa, 95^\circ$	$\kappa, 95^\circ$	$\kappa, 93^\circ$	$\kappa, 93^\circ$	$\kappa, 75^\circ$	$\kappa, 75^\circ$				
Portée-à-faux maximum $4 \times d_{m_0}$									
Avec adduction interne de liquide de coupe									
Version à droite illustrée									
Plaquette	Référence de commande	Dimensions, mm				$r_c$	$f_z$	Nm	
		$d_{m_0}$	$D_{m_0 \text{ min}}$	$f_z$	$h$	$l_c$			
	Barre cylindrique en acier avec méplats								
	C	A08H-SCLCR/L 06	8	10	5	7	100	0.4	7IP 0.9
		A10K-SCLCR/L 06	10	12	6	9	125	0.4	
		A12M-SCLCR/L 06	12	16	9	11	150	0.4	
		A16R-SCLCR/L 06	16	20	11	15	200	0.4	
		A16R-SCLCR/L 09	16	20	11	15	200	0.4	15IP 3.0
		A20S-SCLCR/L 09	20	25	13	18	250	0.8	
	A25T-SCLCR/L 09	25	32	17	23	300	0.8		
	Barre cylindrique en acier <sup>(1)</sup>								
	D	A08H-SCLCR/L 06-R	8	10	5	-	100	0.4	7IP 0.9
		A10K-SCLCR/L 06-R	10	12	6	-	125	0.4	
		A12M-SCLCR/L 06-R	12	16	9	-	150	0.4	
A16R-SCLCR/L 06-R		16	20	11	-	200	0.4		
A16R-SCLCR/L 09-R		16	20	11	-	200	0.4	15IP 3.0	
A20S-SCLCR/L 09-R		20	25	13	-	250	0.8		
Barre cylindrique en acier avec méplats									
D	A10K-SDUCR/L 07	10	13	7	9	125	0.4	7IP 0.9	
	A12M-SDUCR/L 07	12	16	9	11	150	0.4		
	A16R-SDUCR/L 07	16	20	11	15	200	0.4		
	A20S-SDUCR/L 11	20	25	13	18	250	0.8	15IP 3.0	
	A25T-SDUCR/L 11	25	32	17	23	300	0.8		
	Barre cylindrique en acier <sup>(1)</sup>								
S	A10K-SDUCR/L 07-ER	10	15	9	-	125	0.4	7IP 0.9	
	A12M-SDUCR/L 07-ER	12	18	11	-	150	0.4		
	A16R-SDUCR/L 07-R	16	20	11	-	200	0.4		
	A20S-SDUCR/L 11-R	20	25	13	-	250	0.8	15IP 3.0	
	Barre cylindrique en acier avec méplats								
	S	A16R-SSKCR/L 09	16	20	11	15	200	0.8	15IP 3.0
A20S-SSKCR/L 09		20	25	13	18	250	0.8		
Barre cylindrique en acier <sup>(1)</sup>									
S	A16R-SSKCR/L 09-R	16	20	11	-	200	0.8	15IP 3.0	
	A20S-SSKCR/L 09-R	20	25	13	-	250	0.8		

<sup>(1)</sup>  $r_c$  = rayon de bec sur plaquette étalon

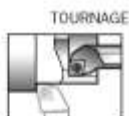
<sup>(2)</sup> A utiliser avec manchon EasyFix. Voir le Catalogue Général.

Exemple de commande : 2 pièces A08H-SCLCR 06

(R = à droite, L = à gauche)

Usinage intérieur avec  
plaquettes positives CoroTurn® 107

Tailles Coromant Capto C4 – C5



TOURNAGE

CoroTurn® 107 à fixation par vis

SCLCR/L  
 $\kappa$  95°

SDUCR/L  
 $\kappa$  93°

SSKCR/L  
 $\kappa$  75°

Version à droite illustrée

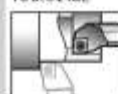
Plaque- tette	Taille	Référence de commande	Dimensions, mm							$r_1$	Nm
			$D_{\text{ext}}$	$D_{\text{int}}$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$r_1$		
	C4	C4-SCLCR/L-11070-09	20	16	40	11	70	47	0,8	15P	3,0
		-13080-09	25	20	40	13	80	58	0,8		
		-17090-09	32	25	40	17	90	69	0,8		
	C5	C5-SCLCR/L-11070-09	20	16	50	11	70	46	0,8	15P	3,0
		-13080-09	25	20	50	13	80	56	0,8		
		-17090-09	32	25	50	17	90	67	0,8		
	C4	C4-SDUCR/L-11070-07	20	16	40	11	70	47	0,4	7IP	0,9
		C5-SDUCR/L-11070-07	20	16	50	11	70	46	0,4	7IP	0,9
		C4-SDUCR/L-13080-11	25	20	40	13	80	58	0,8	15P	3,0
	C5	C4-SDUCR/L-13080-11	25	20	40	17	90	69	0,8		
		-17090-11	32	25	40	17	90	69	0,8		
		-22110-11	40	32	40	22	110	89	0,8		
C5	C5-SDUCR/L-13080-11	25	20	50	13	80	56	0,8	15P	3,0	
	-17090-11	32	25	50	17	90	67	0,8			
	-22110-11	40	32	50	22	110	88	0,6			
	C4	C4-SSKCR/L-13080-09	25	20	40	13	80	58	0,8	15P	3,0
		C5-SSKCR/L-13080-09	25	20	50	13	80	56	0,8	15P	3,0

<sup>1)</sup>  $r_1$  = rayon sur plaquette étalon

Exemple de commande : 2 pièces C4-SCLCR-11070-09  
(R = à droite, L = à gauche)



TOURNAGE



Usinage intérieur avec  
plaquettes positives CoroTurn® 107

Diamètre de barre 10 – 32 mm

CoroTurn® 107 à fixation par vis

STFCR/L  
 $\kappa$  91°

STFCR/L...R  
 $\kappa$  91°

SVUBR/L  
 $\kappa$  93°

SVUBR/L...R  
 $\kappa$  93°

SVQBR/L  
 $\kappa$  107°5'

SVQBR/L...R  
 $\kappa$  107°5'

Porte-à-taux maximum 4 x  $d_{\text{int}}$   
Avec adduction interne de liquide de coupe

Version à droite illustrée

Pla- quette	Référence de commande	Dimensions, mm					$r_1$	Nm			
		$d_{\text{int}}$	$D_{\text{ext}}$	$f_1$	$f_2$	$f_3$					
	Barre cylindrique en acier avec méplats										
	T	A10K-STFCR/L 09	10	13	7	9	125	0,4	7IP 0,9		
		A12M-STFCR/L 09	12	16	9	11	150	0,4			
		A12M-STFCR/L 11-B1 <sup>1)</sup>	12	16	9	11	150	0,4	7IP 0,9		
		A16R-STFCR/L 11-B1 <sup>1)</sup>	16	20	11	15	200	0,4			
		A20S-STFCR/L 11-B1 <sup>1)</sup>	20	25	13	18	250	0,4			
		A25T-STFCR/L 16	25	32	17	23	300	0,8	15P 3,0		
	Barre cylindrique en acier <sup>2)</sup>										
	V	A10K-STFCR/L 09-R	10	13	7	-	125	0,4	7IP 0,9		
		A12M-STFCR/L 09-R	12	16	9	-	150	0,4			
		A12M-STFCR/L 11-RB1 <sup>1)</sup>	12	16	9	-	150	0,4	7IP 0,9		
		A16R-STFCR/L 11-RB1 <sup>1)</sup>	16	20	11	-	200	0,4			
A20S-STFCR/L 11-RB1 <sup>1)</sup>		20	25	13	-	250	0,4				
Barre cylindrique en acier avec méplats											
	V	A16R-SVUBR/L 11-EB1 <sup>1)</sup>	16	22	13	15	200	0,4	7IP 0,9		
		A20S-SVUBR/L 11-EB1 <sup>1)</sup>	20	27	15	18	250	0,4			
		A25T-SVUBR/L 11-DB1 <sup>1)</sup>	25	33	18	23	300	0,4			
		A25T-SVUBR/L 16-D	25	33	18	23	300	0,8	15P 3,0		
		A32T-SVUBR/L 16	32	40	22	30	300	0,8			
		Barre cylindrique en acier <sup>2)</sup>									
	V	A16R-SVUBR/L 11-ERB1 <sup>1)</sup>	16	22	13	-	200	0,4	7IP 0,9		
		A20S-SVUBR/L 11-ERB1 <sup>1)</sup>	20	27	15	-	250	0,4			
		Barre cylindrique en acier avec méplats									
			V	A16R-SVQBR/L 11-EB1 <sup>1)</sup>	16	22	13	15	200	0,4	7IP 0,9
				A20S-SVQBR/L 11-EB1 <sup>1)</sup>	20	27	15	18	250	0,4	
				A25T-SVQBR/L 11-DB1 <sup>1)</sup>	25	33	18	23	300	0,4	
V	A25T-SVQBR/L 16-D		25	33	18	23	300	0,8	15P 3,0		
	A32T-SVQBR/L 16		32	40	22	30	300	0,8			
	Barre cylindrique en acier <sup>2)</sup>										
V	A16R-SVQBR/L 11-ERB1 <sup>1)</sup>	16	22	13	-	200	0,4	7IP 0,9			
	A25S-SVQBR/L 11-ERB1 <sup>1)</sup>	20	27	15	-	250	0,4				

<sup>1)</sup>  $r_1$  = rayon de bec sur plaquette étalon

<sup>2)</sup> À utiliser avec manchon EasyFix. Voir le Catalogue Général.

<sup>3)</sup> Pour plaquettes d'épaisseur D3 = 3,18 mm

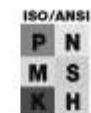
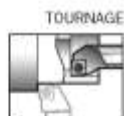
Exemple de commande : 2 pièces A10K-STFCR 09

(R = à droite, L = à gauche)





Usinage intérieur avec  
plaquettes positives CoroTurn® 107  
Tailles Coromant Capto C4 – C6



CoroTurn® 107 à fixation par vis

STFCR/L  
κ, 91°

SVOBR/L  
κ, 107°5'

Version à droite illustrée

Plaquette	Taille	Référence de commande	Dimensions, mm								N <sub>max</sub>	Nm
			D <sub>min</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	λ	f <sub>2</sub>	r <sub>1</sub> <sup>1)</sup>			
91°	11	C4	C4-STFCR/L-11070-11-B1 <sup>1)</sup>	20	16	40	11	70	47	0,4	7P	0,8
		C5	C5-STFCR/L-11070-11-B1 <sup>1)</sup>	25	20	40	13	80	57	0,4	7P	0,9
	16	C4	C4-STFCR/L-17080-16	32	25	40	17	90	69	0,8	15P	3,0
		C5	C5-STFCR/L-17080-16	40	32	40	22	110	89	0,8	15P	3,0
		C4	C4-SVQBR/L-13070-11-B1 <sup>1)</sup>	25	20	40	13	70	48	0,4	7P	0,9
		C5	C5-SVQBR/L-13070-11-B1 <sup>1)</sup>	27	20	40	15	80	58	0,4	7P	0,9
107°5'	11	C4	C4-SVQBR/L-15080-11-B1 <sup>1)</sup>	25	20	40	13	70	48	0,4	7P	0,9
		C5	C5-SVQBR/L-15080-11-B1 <sup>1)</sup>	27	20	40	15	80	57	0,4	7P	0,9
	16	C4	C4-SVQBR/L-18090-16	33	25	40	18	90	69	0,8	15P	3,0
		C5	C5-SVQBR/L-18090-16	40	32	40	22	110	89	0,8	15P	3,0
		C4	C4-SVQBR/L-22110-16	40	32	50	17	90	67	0,8	15P	3,0
		C6	C6-SVQBR/L-22120-16	40	32	63	22	120	94	0,8	15P	3,0

<sup>1)</sup> r<sub>1</sub> = rayon sur plaquette étalon  
<sup>2)</sup> Pour plaquettes d'épaisseur 03 = 3.18 mm

Exemple de commande : 2 pièces C4-STFCR-11070-11-B1  
(R = à droite, L = à gauche)



Définir l'opération  
Voir les pages de plaquettes pour la géométrie, la nuance et les conditions de coupe  
Choisir un porte-plaque dans les pages de porte-plaquettes

**P M K N S H**

Tronçonnage faible profondeur

CoroCut® 3



Page 108



Page 123-123

Tronçonnage profond moyen à grande

CoroCut® 1-2

T-Max Q-Cut® 151.2



Page 110

Page 112

Page 124

Pages 126-128

Gorges

CoroCut® 1-2



Page 114



Pages 126-128

Profilage

CoroCut® 1-2



Pages 116-119



Pages 126-128

Tournage

CoroCut® 1-2



Page 120



Pages 126-128

Gorges frontales

CoroCut® 1-2



Page 120



Page 129

Gorges intérieures

CoroCut® 1-2

T-Max Q-Cut® 151.3



Pages 110



Page 131

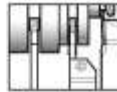


Pages 130-131

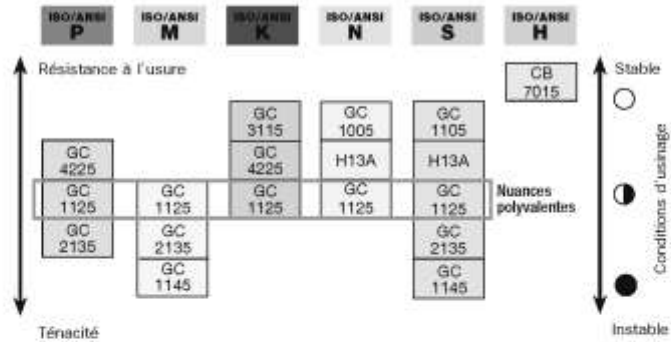


## Recommandations générales

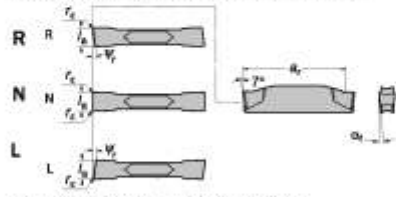
TRONÇONNAGE ET GORGES



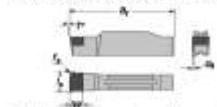
### Vue d'ensemble des nuances



### Dimensions des plaquettes CoroCut® 1-2



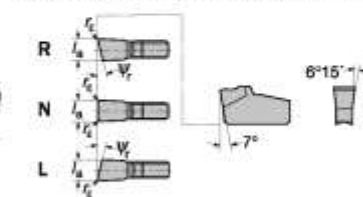
### Pour plaquettes à insert CBN/CD



### Tolérances sur la dimension $l_a$

Géométrie	Tolérance, mm
CoroCut®	
-CF, -CM, -CR, -GM, -RM, -TF, -TM	0/+0.1
-GF, -GE, -RO, -RE, -RS, -AM	±0.02
T-Max Q-Cut®	
-5F, -5E, -4E,	0/+0.25

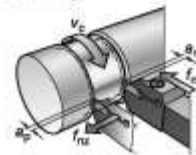
### Dimensions des plaquettes T-Max Q-Cut®



### Direction de l'avance

$f_{ra}$  - avance rectiligne radiale vers le centre

$f_{ra}$  - avance rectiligne axiale le long de l'axe



SANDVIK  
CoroCut

107

TRONÇONNAGE ET GORGES



## Tronçonnage Faible profondeur $\phi \leq 12$ mm

CoroCut® 3

ISO/ANSI



### CONDITIONS FAVORABLES

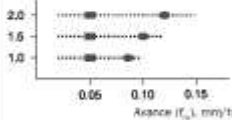
○ Faibles avances  
Tronçonnage exempt de bavures et téton central



- Arête de coupe vive
- Grand choix d'angles d'attaque

### Avance radiale

Largeur de plaquette ( $l_p$ ), mm



### Premier choix !

### CONDITIONS MOYENNES

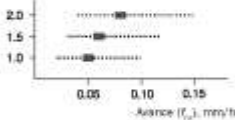
● Moyennes avances  
Tronçonnage de barres et tubes



- Fragmentation des copeaux.
- Recommandée pour les conditions de coupe normales

### Avance radiale

Largeur de plaquette ( $l_p$ ), mm



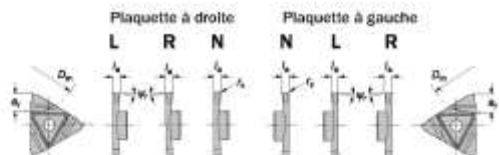
<b>P</b>	-CS / GC1125	<b>-CM / GC1125</b>
<b>M</b>	-CS / GC1125	<b>-CM / GC1125</b>
<b>N</b>	-CS / GC1125	
<b>S</b>	-CS / GC1125	

SANDVIK  
CoroCut

108

# Tronçonnage

CoroCut® 3 123T 123U



## GORGES ET TRONÇONNAGE



### Tolerances, mm

N123 -CM	$r_a \pm 0.03$ $r_p +0, -0.1$
N123 -CS	$r_a \pm 0.03$ $r_p +0.1, -0$
R/L123 -CS	$r_a +0.03, -0.07$ $r_p +0.1, -0$

	Taille de logement <sup>1</sup>	Référence de commande	Dimensions, mm					Nuances et conditions de coupe recommandées		
			GC1125	$l_c$	$\psi$	$r_e$	$D_{\text{max}}$	$a_p \text{ max}$	$f_c \text{ mm/tr}$	Nuances
Faible avance Sans bavures ni téton central	T	N123T3 -0100-0000-CS	★	1.00	0°	0	50	4.3	0.05 (0.03 - 0.10)	Premier choix
		R/L123T3 -0100-0500-CS	★	1.00	5°	0	50	4.2	0.05 (0.02 - 0.09)	GC1125
		-0100-1000-CS	★	1.00	10°	0	50	4.2	0.04 (0.02 - 0.08)	GC1125
		-0100-1500-CS	★	1.00	15°	0	50	4.2	0.04 (0.02 - 0.07)	GC1125
		N123T3 -0150-0000-CS	★	1.50	0°	0	100	6.4	0.05 (0.03 - 0.12)	GC1125
		R/L123T3 -0150-0500-CS	★	1.50	5°	0	100	6.3	0.05 (0.02 - 0.11)	GC1125
		-0150-1000-CS	★	1.50	10°	0	100	6.3	0.04 (0.02 - 0.10)	GC1125
		-0150-1500-CS	★	1.50	15°	0	100	6.3	0.04 (0.02 - 0.08)	GC1125
		N123T3 -0200-0000-CS	★	2.00	0°	0	100	6.4	0.05 (0.03 - 0.14)	GC1125
		R/L123T3 -0200-0500-CS	★	2.00	5°	0	100	6.3	0.05 (0.02 - 0.14)	GC1125
	-0200-1000-CS	★	2.00	10°	0	100	6.3	0.04 (0.02 - 0.12)	GC1125	
	-0200-1500-CS	★	2.00	15°	0	100	6.3	0.04 (0.02 - 0.11)	GC1125	
	U	N123U3 -0100-0000-CS	★	1.00	0°	0	50	4.3	0.05 (0.03 - 0.10)	$v_c$ m/min
		R/L123U3 -0100-0500-CS	★	1.00	5°	0	50	4.2	0.05 (0.02 - 0.09)	140
		-0100-1000-CS	★	1.00	10°	0	50	4.2	0.04 (0.02 - 0.08)	125
		-0100-1500-CS	★	1.00	15°	0	50	4.2	0.04 (0.02 - 0.07)	1000
		N123U3 -0150-0000-CS	★	1.50	0°	0	100	6.4	0.05 (0.03 - 0.12)	35
		R/L123U3 -0150-0500-CS	★	1.50	5°	0	100	6.3	0.05 (0.02 - 0.11)	
		-0150-1000-CS	★	1.50	10°	0	100	6.3	0.04 (0.02 - 0.10)	
		-0150-1500-CS	★	1.50	15°	0	100	6.3	0.04 (0.02 - 0.08)	
N123U3 -0200-0000-CS		★	2.00	0°	0	100	6.4	0.05 (0.03 - 0.14)		
-0200-0500-CS		★	2.00	5°	0	100	6.3	0.05 (0.02 - 0.14)		
-0200-1000-CS	★	2.00	10°	0	100	6.3	0.04 (0.02 - 0.12)			
-0200-1500-CS	★	2.00	15°	0	100	6.3	0.04 (0.02 - 0.11)			
Avance moyenne Conditions de coupe normales	T	N123T3 -0100-0001-CM	★	1.00	0°	0.10	50	4.3	0.05 (0.02 - 0.10)	Premier choix
		-0150-0001-CM	★	1.50	0°	0.10	100	6.4	0.05 (0.02 - 0.13)	GC1125
		-0200-0001-CM	★	2.00	0°	0.10	100	6.4	0.05 (0.02 - 0.15)	GC1125
	U	N123U3 -0100-0001-CM	★	1.00	0°	0.10	50	4.3	0.05 (0.02 - 0.10)	$v_c$ m/min
		-0150-0001-CM	★	1.50	0°	0.10	100	6.4	0.05 (0.02 - 0.13)	125
		-0200-0001-CM	★	2.00	0°	0.10	100	6.4	0.05 (0.02 - 0.15)	125

<sup>1</sup> Doit correspondre à la taille du logement de plaquette du porte-plaquette  
T = plaquette à droite, U = plaquette à gauche

Exemple de commande : N123T3-0100-0000-CS 1125  
R = à droite, N = neutre, L = à gauche



## TRONÇONNAGE ET GORGES



# Tronçonnage

Profondeur moyenne  $\varnothing \leq 40$  mm

CoroCut® 1-2

ISO/ANSI



### CONDITIONS FAVORABLES

○  
Pour faibles avances

Pour tronçonnage de tubes

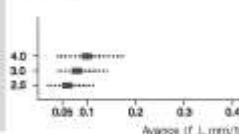
-CF



- Bon contrôle des copeaux avec de faibles avances.
- La géométrie positive évite la formation d'arêtes rapportées.
- Action de coupe en douceur.
- Production d'un bon état de surface, grâce à la géométrie Wiper.

### Avance radiale

Largeur de plaquette ( $l_c$ ), mm



P -CF / GC1125

M -CF / GC1125

K -CF / GC1125

S -CF / GC1125

### Choix de base !

### CONDITIONS MOYENNES

◐  
Pour avances moyennes

Pour tronçonnage de tubes et de barres

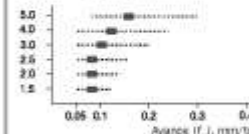
-CM



- Recommandé pour le tronçonnage de tubes à parois minces et de pièces de faible diamètre.
- La géométrie positive évite la formation d'arêtes rapportées.
- Faibles forces de coupe et donc réduction des vibrations.

### Avance radiale

Largeur de plaquette ( $l_c$ ), mm



-CM / GC1125

-CM / GC2135

-CM / GC4225

-CM / GC1145

### CONDITIONS DÉFAVORABLES

●  
Pour fortes avances

Pour tronçonnage de barres

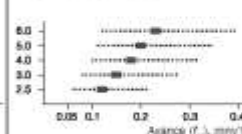
-CR



- Arêtes de coupe robustes, réduction du risque de rupture.
- Pour le tronçonnage de barres et la coupe intermittente.

### Avance radiale

Largeur de plaquette ( $l_c$ ), mm



-CR / GC2135

-CR / GC1145

-CR / GC4225

-CR / GC1145



# Tronçonnage

CoroCut® 1-2

## TRONÇONNAGE ET GORGES

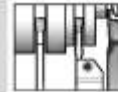


	Taille de logement <sup>1)</sup>	Référence de commande	Dimensions, mm <sup>2)</sup>			Conditions de coupe et nuances recommandées	Nuances			
			$d_h$	$r_f$	$a$		P	M	K	S
Faibles avances Tronçonnage de tubes	F	N123F2-0250-0001-CF R/L123F2-0250-0501-CF	★	★	2.50 0° 0.10 18.4	0.04 (0.02 - 0.12)	Choix de base			
	G	N123G2-0300-0001-CF R/L123G2-0300-0501-CF	★	★	3.00 0° 0.10 18.4	0.08 (0.04 - 0.15)	GC2135	GC1125	GC1125	GC1125
	H	N123H2-0400-0001-CF R/L123H2-0400-0501-CF	★	★	4.00 0° 0.15 23.3	0.10 (0.04 - 0.18)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
			★	★	4.00 5° 0.15 25.3	0.09 (0.04 - 0.16)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
Avances moyennes Tronçonnage de tubes et barres	D	N123D2-0150-0002-CM	★	★	1.50 0° 0.20 12.9	0.06 (0.03 - 0.17)	Choix de base			
	E	N123E2-0200-0002-CM R/L123E2-0200-0502-CM	★	★	2.00 0° 0.20 19.0	0.06 (0.03 - 0.17)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
	F	N123F2-0250-0002-CM R/L123F2-0250-0502-CM	★	★	2.50 0° 0.20 18.9	0.08 (0.03 - 0.15)	GC2135	GC2135	GC4225	GC1145
			★	★	2.50 5° 0.20 18.9	0.07 (0.03 - 0.13)	GC2135	GC2135	GC4225	GC1145
	G	N123G2-0300-0002-CM R/L123G2-0300-0502-CM	★	★	3.00 0° 0.20 18.9	0.13 (0.04 - 0.25)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
			★	★	3.00 5° 0.20 18.9	0.11 (0.03 - 0.23)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
	H	N123H2-0400-0002-CM R/L123H2-0400-0502-CM	★	★	4.00 0° 0.20 24.1	0.12 (0.05 - 0.24)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
			★	★	4.00 5° 0.20 24.1	0.11 (0.05 - 0.22)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
J	N123J2-0500-0002-CM R/L123J2-0500-0502-CM	★	★	5.00 0° 0.20 24.1	0.15 (0.07 - 0.30)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125	
Fortes avances Tronçonnage de barres	F	N123F2-0250-0003-CR R/L123F2-0250-0503-CR	★	★	2.50 0° 0.30 18.9	0.12 (0.04 - 0.19)	Choix de base			
	G	N123G2-0300-0003-CR R/L123G2-0300-0503-CR	★	★	3.00 0° 0.30 18.9	0.15 (0.05 - 0.28)	GC2135	GC1145	GC4225	GC1145
			★	★	3.00 5° 0.30 18.9	0.14 (0.05 - 0.25)	GC2135	GC1145	GC4225	GC1145
	H	N123H2-0400-0003-CR R/L123H2-0400-0503-CR	★	★	4.00 0° 0.30 23.7	0.18 (0.10 - 0.32)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
			★	★	4.00 5° 0.30 23.7	0.16 (0.09 - 0.28)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
	J	N123J2-0500-0004-CR R/L123J2-0500-0504-CR	★	★	5.00 0° 0.40 23.7	0.20 (0.11 - 0.35)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
			★	★	5.00 5° 0.40 23.6	0.18 (0.10 - 0.32)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125
	K	N123K2-0600-0004-CR	★	★	6.00 0° 0.40 23.5	0.23 (0.12 - 0.40)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1125

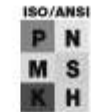
<sup>1)</sup> Correspond à la taille de logement du porte-plaquette. Exemple de commande : 10 pièces N123F2-0250-0001-CF 1125  
<sup>2)</sup> Figure avec cotes, voir page 107. R = à droite, N = neutre, L = à gauche



## TRONÇONNAGE ET GORGES



# Tronçonnage Tronçonnage profond Ø 40 - 110 mm T-Max Q-Cut®



**CONDITIONS FAVORABLES**

○  
Pour faibles avances

○  
Pour tronçonnage sans tétou ni bavures

**-5F**

• Arête de coupe vive  
• Grand choix d'angles d'attaque

Avance radiale  
Largeur de plaquette (L), mm

**CONDITIONS MOYENNES**

◐  
Pour avances moyennes

◐  
Pour tronçonnage de tubes et de barres

**-5E**

• Faibles forces de coupe.  
• Recommandée pour les tubes et les pièces de faible diamètre.

Avance radiale  
Largeur de plaquette (L), mm

**CONDITIONS DÉFAVORABLES**

●  
Pour fortes avances

●  
Pour tronçonnage de barres

**-4E**

• Arête de coupe robuste.  
• Excellente géométrie pour la coupe intermittente et les opérations exigeantes en ténacité.

Avance radiale  
Largeur de plaquette (L), mm

<b>P</b>	-5F / GC1125	-5E / GC1125	-4E / GC2135
<b>M</b>	-5F / GC1125	-5E / GC2135	-4E / GC1145
<b>K</b>	-5F / GC1125	-5E / GC4225	-4E / GC4225
<b>N</b>		-5E / H13A	-4E / H13A
<b>S</b>	-5F / GC1125	-5E / GC1145	-4E / GC1145



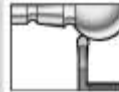
Tronçonnage

T-Max Q-Cut\*

TRONÇONNAGE ET GORGES

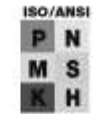


TRONÇONNAGE ET GORGES



Profilage

CoroCut® 1-2



	Taille de logement <sup>1)</sup>	Référence de commande	Dimensions, mm <sup>2)</sup>				Conditions de coupe et nuances recommandées		Nuances								
			$f_c$	$\psi$	$r_c$	$f_s$ , mm/tr	P	M	K	N	S						
Faibles avances Sans vibration ni bavures	20	N151.2-200-5F	*	*	*	2,00	0°	0,20	0,04	(0,03 - 0,12)	Choix de base						
		R/L151.2-200 05-5F	*	*	*	2,00	5°	0,10	0,04	(0,03 - 0,11)	Choix de base						
		-200 08-5F	*	*	*	2,00	8°	0,10	0,03	(0,03 - 0,10)	Choix de base						
		-200 12-5F	*	*	*	2,00	12°	0,10	0,03	(0,02 - 0,09)	Choix de base						
		-200 15-5F	*	*	*	2,00	15°	0,10	0,03	(0,02 - 0,09)	Choix de base						
		-200 20-5F	*	*	*	2,00	20°	0,10	0,02	(0,02 - 0,07)	Choix de base						
	25	N151.2 -250-5F	*	*	*	2,50	0°	0,20	0,06	(0,03 - 0,15)	Choix de base						
		R/L151.2-250 05-5F	*	*	*	2,50	5°	0,10	0,05	(0,03 - 0,14)	Choix de base						
		-250 08-5F	*	*	*	2,50	8°	0,10	0,05	(0,02 - 0,13)	Choix de base						
		-250 12-5F	*	*	*	2,50	12°	0,10	0,05	(0,02 - 0,11)	Choix de base						
		-250 15-5F	*	*	*	2,50	15°	0,10	0,04	(0,02 - 0,11)	Choix de base						
		30	N151.2 -300-5F	*	*	*	3,00	0°	0,20	0,06	(0,03 - 0,20)	Choix de base					
R/L151.2-300 05-5F	*		*	*	3,00	5°	0,10	0,07	(0,03 - 0,18)	Choix de base							
-300 08-5F	*		*	*	3,00	8°	0,10	0,07	(0,03 - 0,17)	Choix de base							
-300 12-5F	*		*	*	3,00	12°	0,10	0,06	(0,02 - 0,15)	Choix de base							
40	N151.2 -400-5F		*	*	*	4,00	0°	0,20	0,10	(0,05 - 0,25)	Choix de base						
	R/L151.2-400 05-5F		*	*	*	4,00	5°	0,10	0,09	(0,04 - 0,22)	Choix de base						
	-400 08-5F	*	*	*	4,00	8°	0,10	0,08	(0,04 - 0,21)	Choix de base							
	50	N151.2 -500-5F	*	*	*	5,00	0°	0,20	0,12	(0,05 - 0,30)	Choix de base						
		R/L151.2-500 05-5F	*	*	*	5,00	5°	0,10	0,11	(0,05 - 0,27)	Choix de base						
		Avances moyennes Tronçonnage de tubes et barres	20	N151.2-200-5E	*	*	*	2,00	0°	0,20	0,06	(0,03 - 0,17)	Choix de base				
N151.2-250-5E				*	*	*	2,50	0°	0,20	0,06	(0,03 - 0,15)	Choix de base					
N151.2-300-5E				*	*	*	3,00	0°	0,20	0,13	(0,04 - 0,25)	Choix de base					
R/L151.2-300 05-5E				*	*	*	3,00	5°	0,20	0,11	(0,03 - 0,23)	Choix de base					
N151.2-400-5E	*			*	*	4,00	0°	0,20	0,12	(0,05 - 0,24)	Choix de base						
R/L151.2-400 05-5E	*			*	*	4,00	5°	0,20	0,11	(0,04 - 0,22)	Choix de base						
50	N151.2-500-5E		*	*	*	5,00	0°	0,20	0,15	(0,04 - 0,24)	Choix de base						
	R/L151.2-500 05-5E		*	*	*	5,00	5°	0,20	0,14	(0,04 - 0,22)	Choix de base						
	L151.2-500 05-5E		*	*	*	5,00	5°	0,20	0,14	(0,04 - 0,22)	Choix de base						
	60		N151.2-600-5E	*	*	*	6,00	0°	0,20	0,20	(0,09 - 0,36)	Choix de base					
			R/L151.2-600 05-5E	*	*	*	6,00	5°	0,20	0,18	(0,08 - 0,33)	Choix de base					
			Fortes avances Tronçonnage de barres	25	N151.2-250-4E	*	*	*	2,50	0°	0,30	0,10	(0,03 - 0,17)	Choix de base			
N151.2-300-4E		*			*	*	3,00	0°	0,30	0,12	(0,05 - 0,24)	Choix de base					
R/L151.2-300 05-4E		*			*	*	3,00	5°	0,30	0,11	(0,04 - 0,22)	Choix de base					
N151.2-400-4E		*			*	*	4,00	0°	0,30	0,15	(0,10 - 0,30)	Choix de base					
R/L151.2-400 05-4E	*	*			*	4,00	5°	0,30	0,14	(0,09 - 0,27)	Choix de base						
50	N151.2-500-4E	*			*	*	5,00	0°	0,40	0,18	(0,10 - 0,35)	Choix de base					
	R/L151.2-500 05-4E	*		*	*	5,00	5°	0,30	0,16	(0,09 - 0,31)	Choix de base						
	60	N151.2-600-4E		*	*	*	6,00	0°	0,40	0,22	(0,13 - 0,39)	Choix de base					
		R/L151.2-600 05-4E		*	*	*	6,00	5°	0,30	0,20	(0,11 - 0,35)	Choix de base					

<sup>1)</sup> Correspond à la taille de logement du porte-plaquette.  
<sup>2)</sup> Figure avec cotes, voir page 107.

Exemple de commande : 10 pièces N151.2-200-5F 1125  
R = à droite, N = neutre, L = à gauche



**Choix de base I**

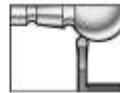
CONDITIONS FAVORABLES	CONDITIONS MOYENNES	CONDITIONS DÉFAVORABLES
<p>○</p> <p>Pour faibles avances</p> <p>-RO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excellent contrôle copeaux avec de faibles avances et profondeurs de coupe.</li> <li>- Production d'un bon état de surface.</li> </ul> <p>Avance axiale Profondeur de coupe (<math>a_p</math>), mm</p>	<p>◐</p> <p>Pour avances moyennes</p> <p>-RM</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excellente géométrie pour profilage dans toutes les matières.</li> <li>- Excellent contrôle des copeaux.</li> <li>- Production d'un bon état de surface.</li> </ul> <p>Avance axiale Profondeur de coupe (<math>a_p</math>), mm</p>	<p>●</p> <p>Pour très faibles avances Profilage de matières trempées</p> <p>-RM</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaquette à insert CBN</li> <li>- Productivité exceptionnelle et excellent état de surface</li> <li>- Plaquette à 1 arête</li> </ul> <p>Avance axiale Profondeur de coupe (<math>a_p</math>), mm</p>
<p><b>P</b> -RO / GC1125</p>	<b>-RM</b> / GC4225	<b>-RM</b> / GC2135
<b>M</b> -RO / GC1125	<b>-RM</b> / GC1125	<b>-RM</b> / GC2135
<b>K</b> -RO / GC1125	<b>-RM</b> / GC4225	<b>-RM</b> / GC4225
<b>S</b> -RO / GC1105		
<b>H</b> S01025 / CB7015		



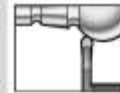
# Profilage

CoroCut® 1-2

TRONÇONNAGE ET GORGES



TRONÇONNAGE ET GORGES



# Profilage

CoroCut® 1-2



Taille de logement <sup>1)</sup>	Référence de commande	GC1105	GC4225	GC1125	CB7015	Dimensions, mm			Conditions de coupe et nuances recommandées <sup>2)</sup>		Nuances					
						$r_1$	$r_2$	$a_1$	$v_c$ m/mtr	$f_w$ mm/tr	P	M	N	S	H	
Faibles avances	E	CoroCut à 2 arêtes N123E2 -0200-RO	★	★			2.00	1.00	19.3	0.25 (0.14 - 0.36)	Choix de base					
	F	N123F2 -0300-RO	★	★			3.00	1.50	18.7	0.30 (0.18 - 0.43)	GC1125	GC1125	GC1125	GC1105		
	H	N123H2 -0400-RO -0450-RO -0500-RO	★	★	★	★	4.00	2.00	23.4	0.45 (0.30 - 0.60)						
							4.50	2.25	23.1	0.50 (0.23 - 0.70)						
	J	N123J2 -0600-RO	★	★			6.00	3.00	22.3	0.60 (0.28 - 0.90)						
	L	N123L2 -0800-RO	★	★			8.00	4.00	27.4	0.70 (0.43 - 1.00)						
Avances moyennes	F	CoroCut à 2 arêtes N123F2 -0300-RM	★	★			3.00	1.50	18.6	0.40 (0.23 - 0.57)	Choix de base					
	G	N123G2 -0400-RM	★	★			4.00	2.00	18.1	0.40 (0.21 - 0.61)	GC4225	GC1125	GC1125			
	H	N123H2 -0400-RM -0600-RM	★	★	★	★	4.00	2.00	23.2	0.40 (0.21 - 0.61)						
							5.00	2.50	22.7	0.44 (0.22 - 0.68)						
	J	N123J2 -0600-RM	★	★			6.00	3.00	22.2	0.40 (0.24 - 0.68)						
	L	N123L2 -0800-RM	★	★			8.00	4.00	27.0	0.52 (0.24 - 0.80)						
Avances moyennes	F	CoroCut à 1 arête N123F1 -0300S01025			★		3.00	1.50	2.5	0.10 (0.05 - 0.15)	Choix de base					
	H	N123H1 -0400S01025 -0500S01025			★	4.00	2.00	3.0	0.17 (0.05 - 0.34)							
						5.00	2.50	3.5	0.17 (0.05 - 0.29)							
	J	N123J1 -0600S01025			★		6.00	3.00	4.0	0.20 (0.05 - 0.30)						

<sup>1)</sup> Correspond à la taille de logement du porte-plaquette.  
<sup>2)</sup> Valeur de départ recommandée pour  $f_w = 0.4 \times f_w$

Exemple de commande : 10 pièces N123E2-0200-RO 1123  
 N = neutre



## CONDITIONS FAVORABLES

○  
Pour faibles avances

Profilage de métaux non ferreux

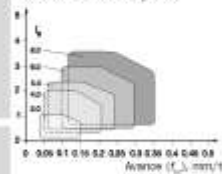
-RS



- Plaquette à insert diamant
- Productivité exceptionnelle et excellent état de surface
- Pour utilisation dans des conditions stables
- Plaquette à 1 arête

## Avance axiale

Profondeur de coupe (a<sub>1</sub>), mm



N -RS / CD10

## Choix de base !

### CONDITIONS MOYENNES

●  
Pour avances moyennes

Profilage de métaux non ferreux

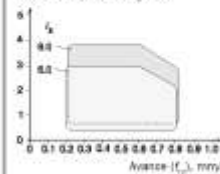
-AM



- Bonne évacuation des copeaux permettant d'obtenir un bon état de surface
- Arête de coupe vive

## Avance axiale

Profondeur de coupe (a<sub>1</sub>), mm



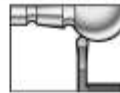
-AM / GC1005



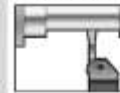
# Profilage

CoroCut® 1-2

## TRONÇONNAGE ET GORGES

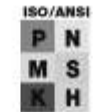


## TRONÇONNAGE ET GORGES



# Tournage

CoroCut® 1-2



Taille de logement <sup>1)</sup>	Référence de commande	CD10 GC1005	Dimensions, mm				Conditions de coupe et nuances recommandées <sup>2)</sup>		Nuances	
			$l_1$	$l_2$	$r_1$	$M$	$f_p$ , mm/tr	$v_c$ , m/min	N	Choix de base
Faibles avances	F CoroCut à 1 arête N123F1-0300-RS	★	3.00	1.50	∞	2.5	0.10 (0.04 - 0.15)	3100		
	H N123H1-0400-RS -0500-RS	★	4.00	2.00	∞	3.0	0.12 (0.05 - 0.21)			
	J N123J1-0600-RS	★	5.00	2.50	∞	3.0	0.15 (0.06 - 0.24)			
	L N123L1-0800-RS	★	6.00	3.00	∞	4.0	0.20 (0.10 - 0.30)			
Avances moyennes	J CoroCut à 2 arêtes N123J2-0600-AM	★	6.00	3.00	22.2	-	0.50 (0.25 - 0.90)	1900		
	L N123L2-0800-AM	★	8.00	4.00	27.3	-	0.50 (0.25 - 0.90)			

<sup>1)</sup> Correspond à la taille de logement du porte-plaquette.

Exemple de commande : 10 pièces N123F1-0300-RS CD10

<sup>2)</sup> Valeur de départ recommandée pour  $f_p = 0.4 \times f_{p0}$  N = neutre

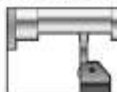


CONDITIONS FAVORABLES	CHOIX DE BASE 1	CONDITIONS DÉFAVORABLES
<p>○</p> <p>Pour faibles avances</p> <p>Pour tournage en plongée</p> <p><b>-TF</b></p> <p>- La géométrie positive évite la formation d'arêtes rapportées. - Bons contrôles des copeaux et état de surface. - Géométrie Wiper sur le côté.</p> <p>Avance axiale Profondeur de coupe (<math>a_p</math>), mm</p>	<p>●</p> <p>Pour avances moyennes</p> <p>Pour tournage général</p> <p><b>-TM</b></p> <p>- Productivité élevée. - La géométrie positive évite la formation d'arêtes rapportées.</p> <p>Avance axiale Profondeur de coupe (<math>a_p</math>), mm</p>	<p>●</p> <p>Pour avances moyennes</p> <p>Pour tournage général</p> <p><b>-TM</b></p> <p>Avance radiale Longueur de plaquette (<math>l_1</math>), mm</p>
<b>P</b> -TF / GC1125	<b>-TM / GC4225</b>	-TM / GC2135
<b>M</b> -TF / GC1125	-TM / GC2135	-TM / GC1145
<b>K</b> -TF / GC4225	-TM / GC4225	-TM / GC4225
<b>N</b> -TF / H13A	-TM / H13A	
<b>S</b> -TF / GC1105	-TM / H13A	



# Tournage

## TRONÇONNAGE ET GORGES



CoroCut® 1-2

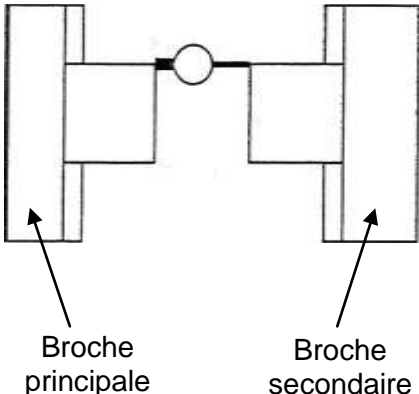
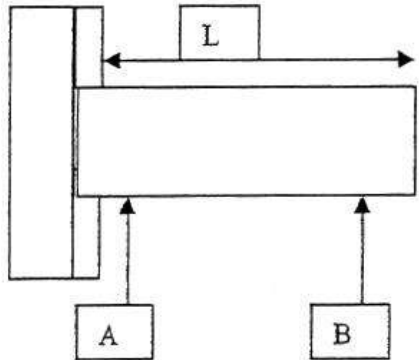
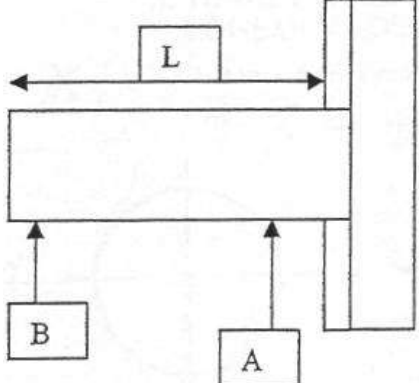
Taille de logement <sup>1)</sup>	Référence de commande	GC1145	GC1185	H13A	GC4225	GC1125	GC3135	Dimensions, mm				Conditions de coupe CoroKey et nuances recommandées <sup>2)</sup>	Nuances				
								$r_1$	$r_2$	$R_1$	$R_2$		$f_{max}$	$v_c$ mm/tr	P	M	K
Faibles avances	CoroCut à 2 arêtes												Choix de base				
	G N123G2-0300-0003-TF	*	*	*	*	*	*	3,00	0,30	18,5	2,6	0.13 (0.04 - 0,23)	GC1125	GC1125	GC4225	H13A	GC1105
	H N123H2-0400-0004-TF	*	*	*	*	*	*	4,00	0,40	23,3	3,5	0.15 (0.05 - 0,22)					
	J N123J2-0500-0004-TF	*	*	*	*	*	*	5,00	0,40	23,3	3,5	0.183 (0,08 - 0,30)					
	K N123K2-0600-0004-TF	*	*	*	*	*	*	6,00	0,40	23,3	3,8	0.19 (0,08 - 0,30)					
L N123L2-0800-0008-TF	*	*	*	*	*	*	8,00	0,80	28,0	4,0	0.22 (0,09 - 0,35)						
													140	125	125	1500	35
Avances moyennes	CoroCut à 2 arêtes												Choix de base				
	G N123G2-0300-0004-TM	*	*	*	*	*	*	3,00	0,40	18,4	3,5	0.20 (0,10 - 0,26)	GC4225	GC2135	GC4225	H13A	H13A
	H N123H2-0400-0004-TM	*	*	*	*	*	*	4,00	0,40	23,4	4,6	0.20 (0,10 - 0,27)					
	H N123H2-0400-0008-TM	*	*	*	*	*	*	4,00	0,80	23,4	4,6	0.20 (0,10 - 0,27)					
	J N123J2-0500-0004-TM	*	*	*	*	*	*	5,00	0,40	23,4	4,6	0.22 (0,14 - 0,30)					
	J N123J2-0500-0008-TM	*	*	*	*	*	*	5,00	0,80	23,0	4,6	0.22 (0,14 - 0,30)					
	K N123K2-0600-0004-TM	*	*	*	*	*	*	6,00	0,40	23,4	4,5	0.23 (0,15 - 0,37)					
	K N123K2-0600-0008-TM	*	*	*	*	*	*	6,00	0,80	23,0	4,5	0.23 (0,15 - 0,37)					
	L N123L2-0800-0008-TM	*	*	*	*	*	*	8,00	0,80	28,0	7,0	0.25 (0,16 - 0,40)					
	L N123L2-0800-0012-TM	*	*	*	*	*	*	8,00	1,20	27,6	7,0	0.25 (0,16 - 0,40)					
													150	90	125	1500	15

<sup>1)</sup> Correspond à la taille de logement du porte-plaquette. Exemple de commande : 10 pièces N123G2-0300-0003-TF 1125  
<sup>2)</sup> Valeur de départ recommandée pour  $f_{max} = 0,4 \times f_{cr}$ . N = neutre





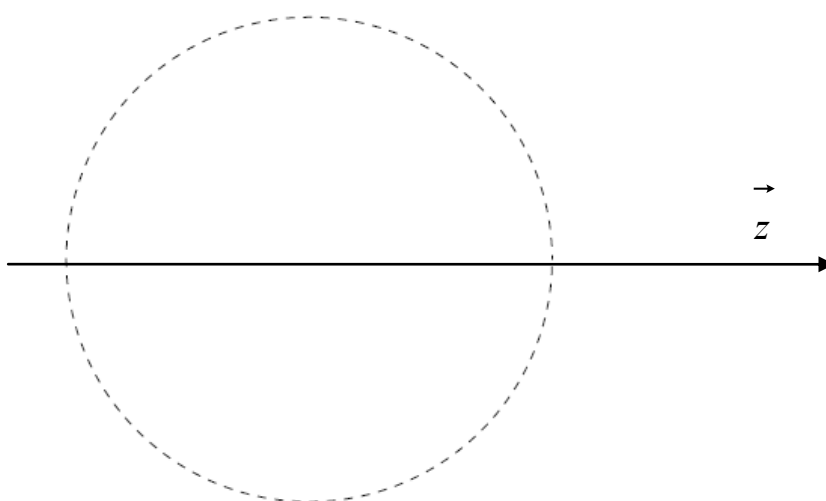
## Extrait des résultats de la campagne de mesure

<p>Contrôle de l'alignement de la broche principale et de la broche secondaire</p>	 <p style="text-align: center;">Broche principale      Broche secondaire</p>	<p style="text-align: center;">Axe x = 2 <math>\mu</math>m Axe y = 13 <math>\mu</math>m</p>
<p>Contrôle d'alignement de la broche principale par tournage d'une pièce en mandrin</p>		<p style="text-align: center;">L = 150 mm Diamètre en A = 78 mm Diamètre en B = 77,997 mm</p>
<p>Contrôle de l'alignement de la broche secondaire par tournage d'une pièce en mandrin</p>		<p style="text-align: center;">L = 150 mm Diamètre en A = 77 mm Diamètre en B = 76,996 mm</p>

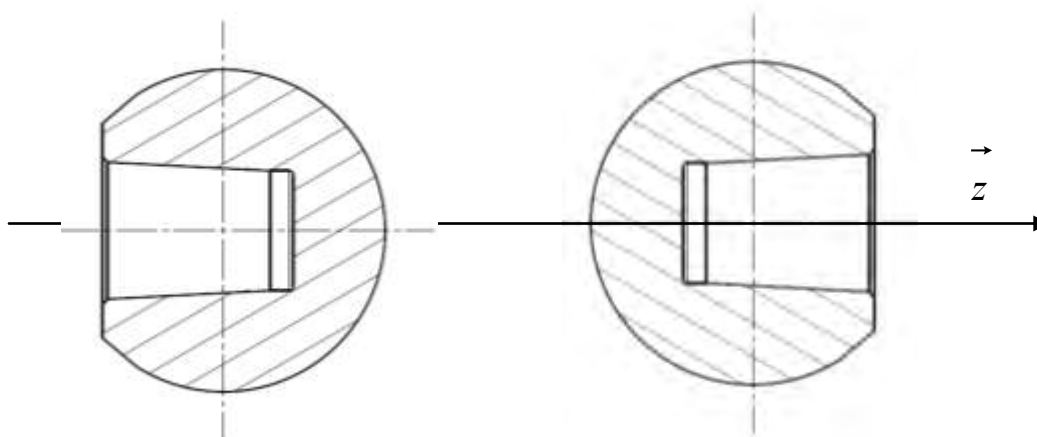
# **DOSSIER RÉPONSES**

## Nomenclature des sous-phases 10 et 20

### Sous-phase 10



### Sous-phase 20



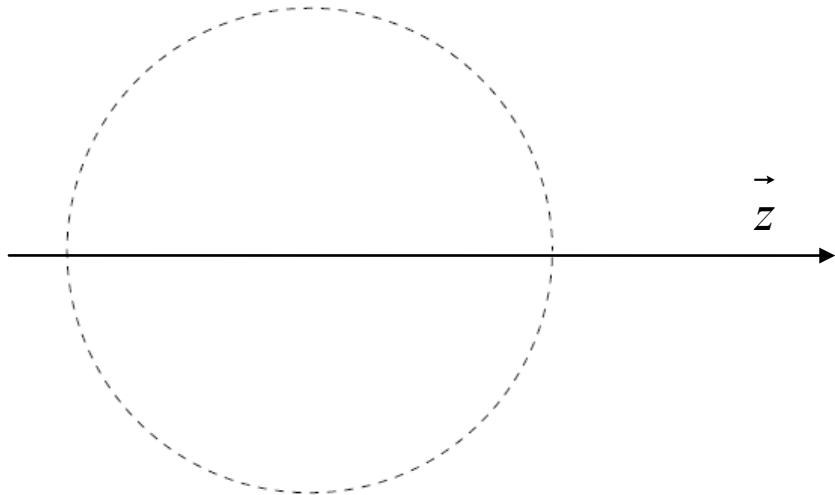
Utiliser la figure cohérente avec l'orientation de la pièce par rapport à la broche

## Avant-projet de fabrication de la tête – sous-phase 10

X4CrNiMnMo21-9-4	Broche principale	tour bi-broche Mazak Integrex 200
------------------	-------------------	-----------------------------------

Montage d'usinage : Mors durs

Pièce brut : barre de diamètre 30

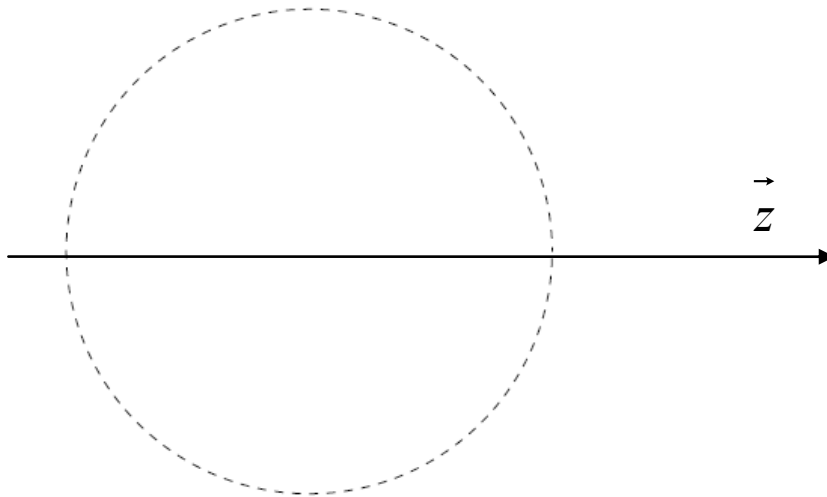


	<u>Outils</u> :	Opération d'usinage.	Vc m/min	N (max) tr/min	fz mm/dent	Vf (max) mm/min	ap mm
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

**Document-Réponse DR-2**

## Avant-projet de fabrication de la tête – sous-phase 20

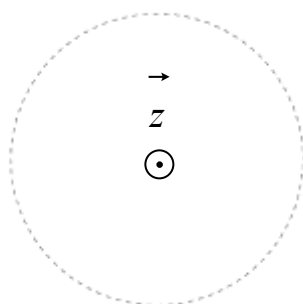
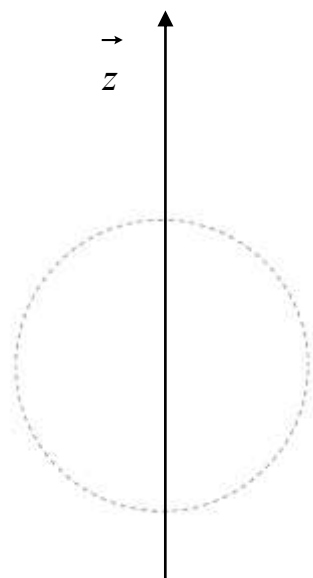
X4CrNiMnMo21-9-4	Broche secondaire	tour bi-broche Mazak Integrex 200
------------------	-------------------	-----------------------------------



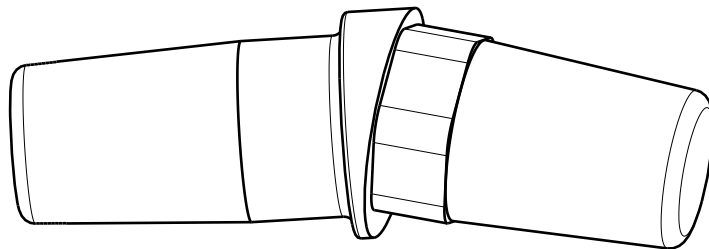
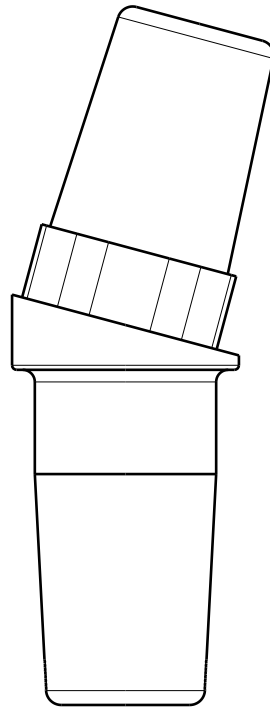
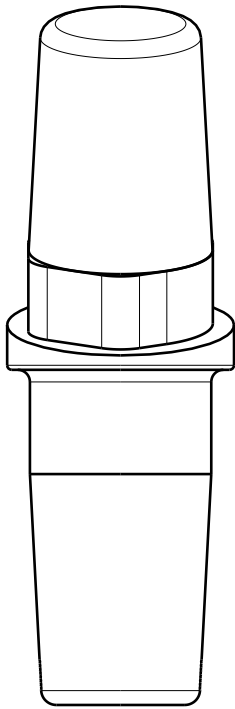
	<u>Outils :</u>	Opération d'usinage.	Vc m/min	N (max) tr/min	fz mm/dent	Vf (max) mm/min	ap mm
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

**Document-Réponse DR-3**

## Définition du montage d'usinage de la sous-phase 20



TOLÉRANCEMENT NORMALISÉ	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
Symbole de la spécification :	Éléments non idéaux extraits du « Skin Modèle »		Éléments idéaux		
Type de spécification : Forme Orientation Position Battement .....	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Références spécifiées	Zone de tolérance	
Condition de conformité L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance	unique groupe	unique multiples	simple    commune système	simple composée	Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition					



**Document Réponse DR-6**



**AGRÉGATION**  
**CONCOURS EXTERNE**

**Session 2011**

**Section : GÉNIE MÉCANIQUE**  
**ÉPREUVE D'INDUSTRIALISATION**

**Durée : 6 heures**

# **ÉTUDE DE L'INDUSTRIALISATION D'UNE PROTHESE DE HANCHE**

**Proposition d'éléments de correction**

## PARTIE A – ÉTUDE DE PRÉ-INDUSTRIALISATION DE LA CUPULE

La cupule est définie sur le Document-Technique **DT-2**.

Les fonctions essentielles que doit remplir la cupule sont les suivantes :

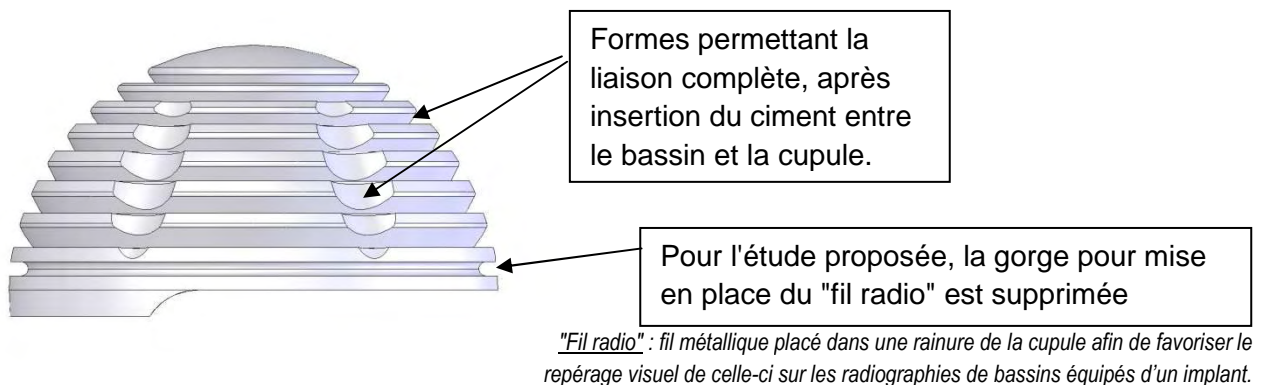
- réaliser la liaison encastrement entre le bassin et la cupule (interposition d'un ciment colle favorisée par la présence de rainures extérieures croisées) ;
- réaliser la liaison rotule entre la cupule et la tête en favorisant le glissement, en limitant l'usure et en s'approchant du comportement des matériaux vivants (cartilage, os, synovie ...) ;
- absorber une partie de l'énergie due aux chocs provoqués par la marche ;
- être biocompatible.

La cupule doit être réalisée dans le respect de la norme ISO 7206-2 qui, entre autres, indique :

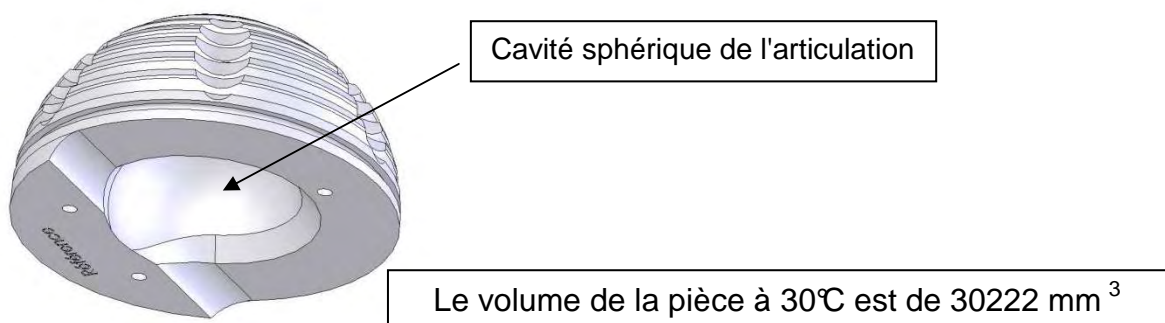
- ISO 7206-2 § 4.1.1 Sphéricité : L'écart maximal admissible de sphéricité de la surface articulaire sphérique d'un élément fémoral ne doit pas être supérieur à 10µm ;
- ISO 7206-2 § 4.1.2 État de surface : La valeur de la rugosité arithmétique (Ra) de la surface articulaire sphérique ne doit pas être supérieure à 0,05µm ;
- ISO 7206-2 § 4.1.3 Tolérances dimensionnelles : La cavité sphérique doit avoir un diamètre égal au diamètre nominal, avec une tolérance de - 0,2 mm à 0 mm.

Mise en situation de la cupule :

Comme indiqué en introduction du sujet la cupule est insérée dans le bassin (dans un emplacement calibré par le chirurgien) et liée à celui-ci par l'intermédiaire d'un "ciment".



La tête de fémur est positionnée et mobile dans la cavité sphérique de la cupule. La durée de vie de la prothèse est essentiellement liée à la qualité et la précision des surfaces en contact.



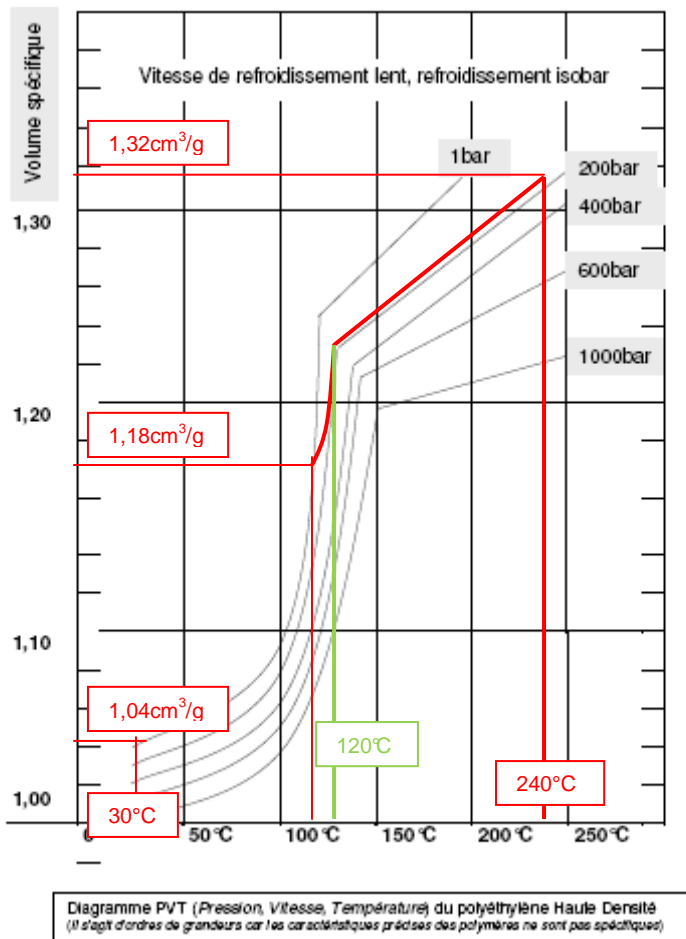
## Bio compatibilité :

Le matériau utilisé pour la réalisation des cupules est un polyéthylène à haut poids moléculaire (voir Document-Ressource **DRS-1**).

Actuellement la cupule est réalisée par usinage sur un tour 3 axes bi broche à partir d'une barre de polyéthylène extrudé.

Pour augmenter la durée de vie de la cupule, en améliorant ses caractéristiques, il est envisagé de la réaliser par injection compression (utilisation d'un noyau mobile de compression pour réaliser la creusure sphérique). La machine utilisée sera une presse à injecter à commande numérique (voir Document-Ressource **DRS-2**). La matière et les formes, validées par de nombreux essais, ne peuvent pas être changées.

**Question A1.** En vous appuyant sur les Documents-Ressources **DRS-1** et **DRS-3**, proposez un mode opératoire détaillé et un schéma d'outillage permettant de le mettre en œuvre. Pour l'étude proposée, la gorge de mise en place du fil radio est supprimée. (Après validation des essais il est prévu de surmouler ce fil radio.)



### Sur document DRS-1 2/2 :

Température de transformation 160 – 321°C.  
Choix : 240°C

Volume pièce à 30°C : 30,222cm<sup>3</sup>

### A partir des courbes PVT :

Comme nous travaillons en injection – compression :

- Volume de matière à injecter dans la cavité :

$$(30,222 / 1,04) \times 1,32 = 38,359 \text{ cm}^3$$

Si l'injection est directe avec buse chaude à clapet.

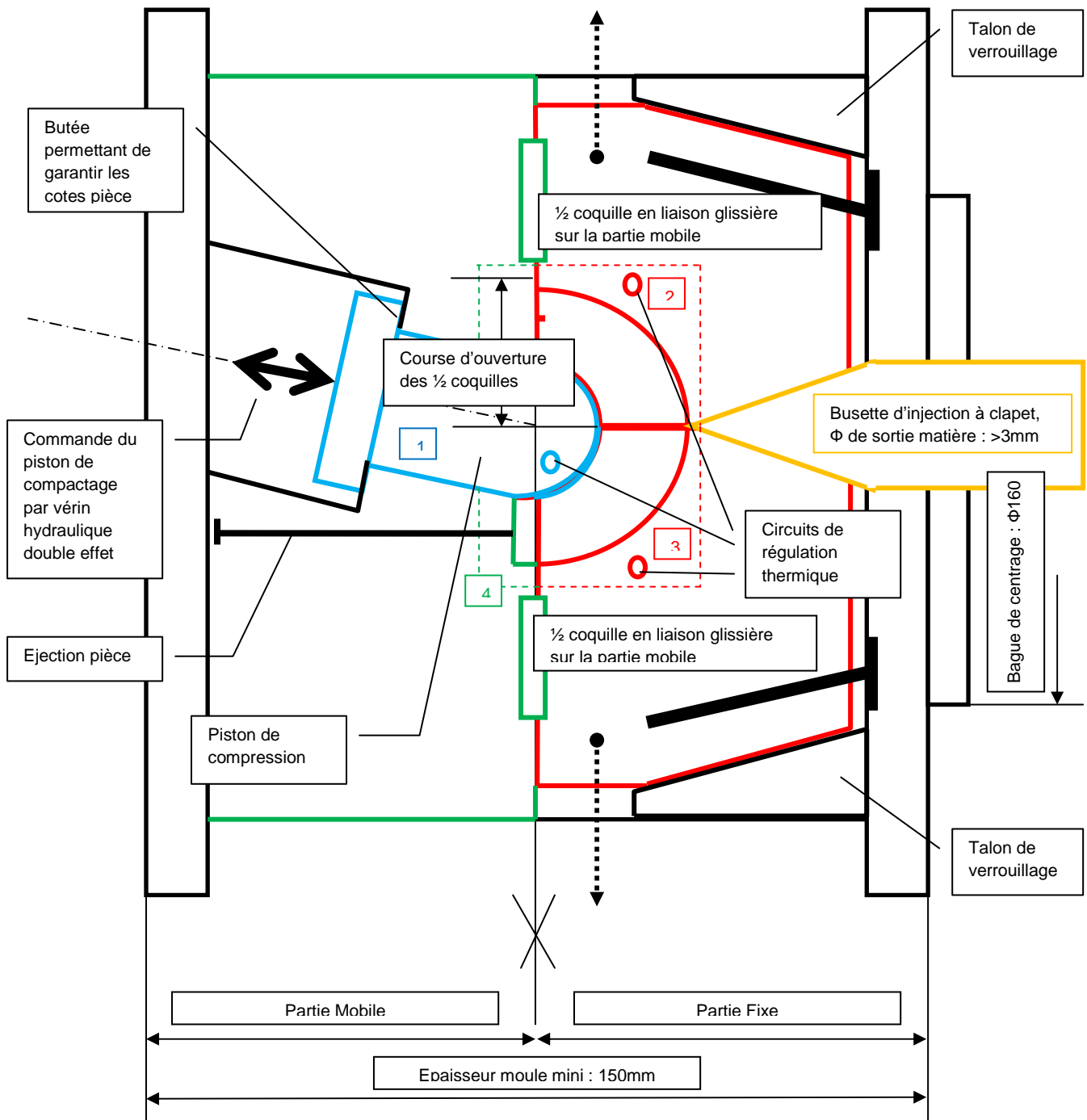
Augmenter ce volume de celui de la carotte d'alimentation si nécessaire.

### Mode opératoire :

- moule fermé, piston de compression reculé, montée en température : 240°C
- injection de la matière nécessaire (voir calcul).
- obturation du canal d'alimentation (busette à clapet).

- avancée du piston de compression pour compactage isobar 200bar (voir schéma) jusqu'à la butée. Le maintien en pression est effectif pendant la phase de refroidissement jusqu'à environ 120°C. Refroidissement contrôlé de la température matière côté piston (voir courbe question A4)
- ouverture de l'outillage ( $\theta$  pièce 90°), deux demi-coquilles libèrent les contre dépouilles.
- recul du piston de compression pour éjection de la pièce. (éjecteurs ou dépose robotisée pour conditionnement direct)

La presse sera équipée d'une vis de  $\Phi$  25, course 80mm pour pouvoir injecter les 38,359mm<sup>3</sup> de matière. (nous sommes aux limites de la machine).



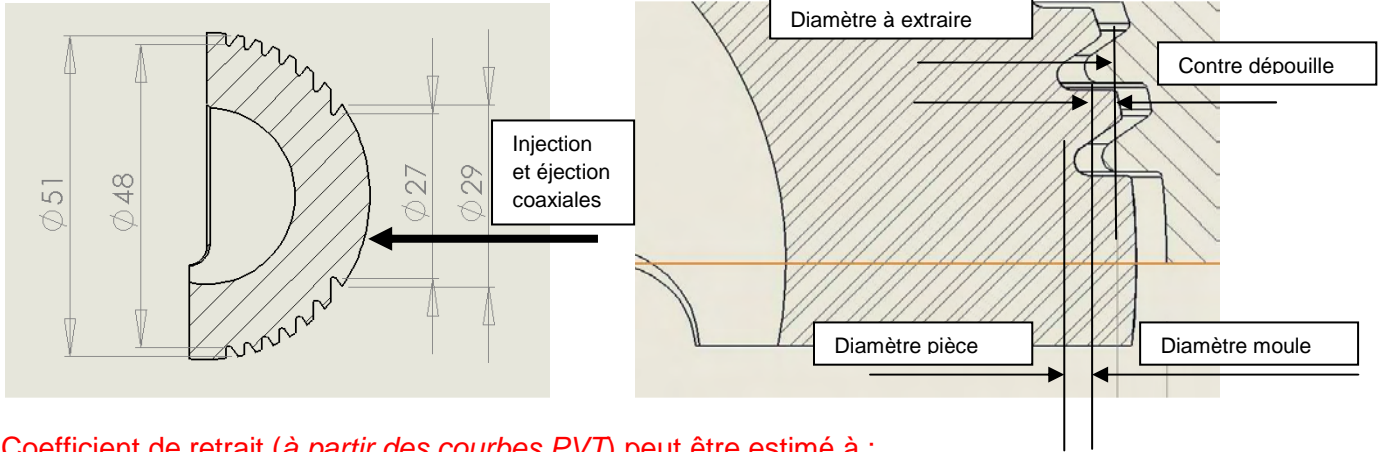
L'outillage est instrumenté : capteurs de température coté piston et dans les coquilles, la pression coté piston est contrôlée sur le circuit hydraulique (ou par la CN sur les plateaux presse).

**Question A2.** A partir de ce schéma de principe, proposez une solution permettant de réaliser l'ensemble des références de cupules (4 diamètres extérieurs possibles: 46 mm, 48 mm, 50 mm, 52 mm, combinés à 2 diamètres intérieurs possibles 22,2 mm et 28,2 mm).

Pour les deux diamètres intérieurs différents, le piston (ou la tête du piston) 1 sont interchangeable,

Pour les 4 diamètres extérieurs des inserts interchangeables sont mis en place dans les 2 ½ coquilles 2 3 et dans la partie fixe 4.

**Question A3.** Les gorges d'ancrage dans le ciment génèrent des contre dépouilles. Par soucis de simplification de l'outillage, l'entreprise souhaite analyser la possibilité de démouler la pièce par arrachement. Que préconisez-vous pour que cette opération soit possible ? Des adaptations dimensionnelles de ces gorges peuvent être proposées. Si tel est votre choix dessinez cotez et justifiez votre proposition. Ce sont les seules modifications acceptables sur la géométrie de la pièce.



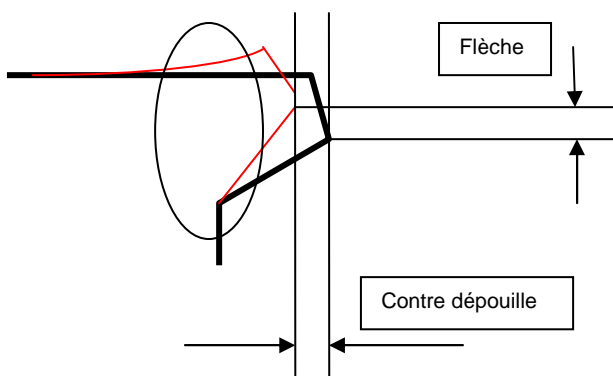
Coefficient de retrait (à partir des courbes PVT) peut être estimé à :

$$((1,18 - 1,04) / 1,18) \times 100 = 11,8\% \quad \text{soit un retrait linéaire de 4\% environ.}$$

Pour obtenir le diamètre de 48 mm, l'empreinte aura un diamètre d'environ 50mm. La contre dépouille n'est alors que de 0,5mm après refroidissement de la pièce.

Pour obtenir le diamètre de 27mm, l'empreinte aura un diamètre d'environ 28mm. La contre dépouille n'est alors que de 0,5mm après refroidissement de la pièce.

A partir de ces données il est possible de déterminer la profondeur maximum des gorges pour ne pas être en contre dépouille dans le moule. Si les profondeurs calculées sont insuffisantes pour assurer la liaison encastrement dans le bassin (*fonction pièce*), une détermination de la contre dépouille maximum acceptable sera faite pour chaque gorge.



Un tableau de calcul sera établi pour déterminer le meilleur compromis entre :

- Contre dépouille (*donc flèche*)
- Section à l'encastrement des formes en contre dépouille
- Température pièce lors de l'éjection (*donc module d'young*)

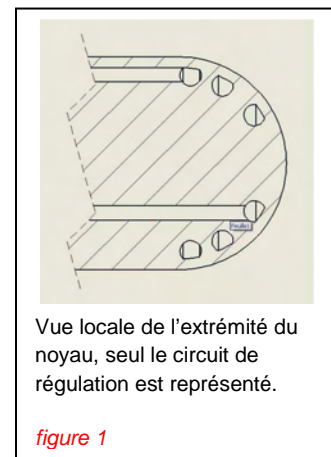
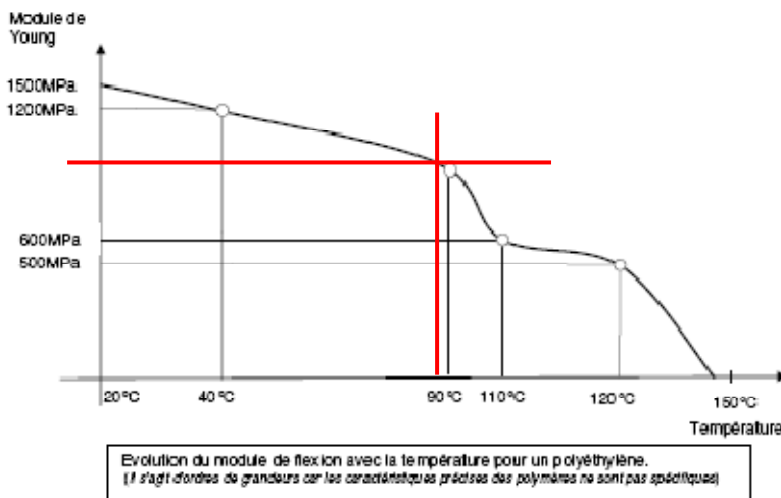
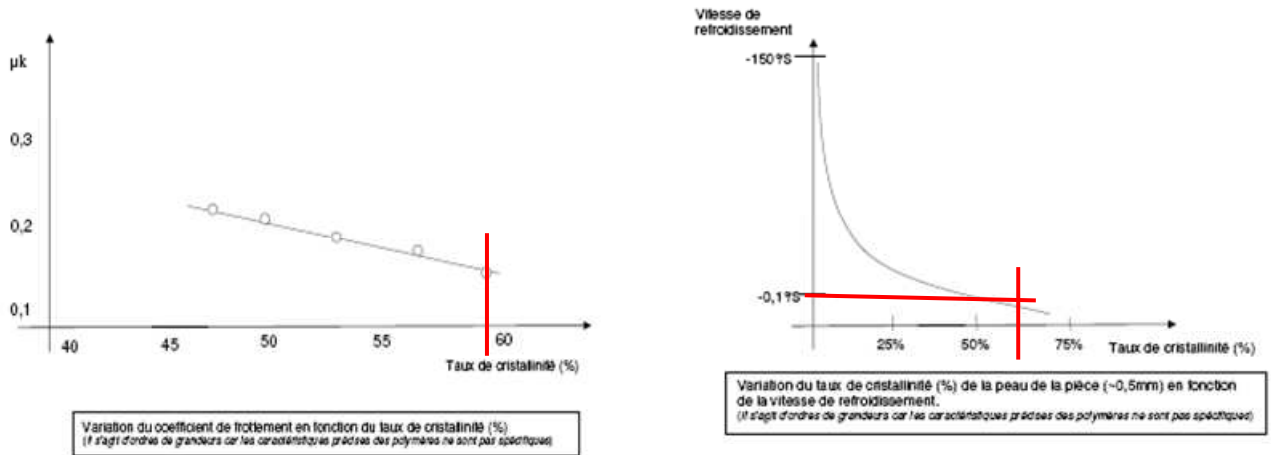
La somme des efforts nécessaires à l'arrachement permettra de déterminer l'aire de la surface de l'éjecteur (*en contact avec la pièce*) nécessaire à l'éjection pour limiter l'effet de poinçonnage. Un contrôle sera effectué pour vérifier si les caractéristiques presse sont correctes.

**Question A4.** Pour optimiser la cristallinité du polyéthylène dans la zone de la creusure sphérique il est souhaitable de réguler de façon précise le noyau. En vous appuyant sur les Documents-Ressources **DRS-1**, **DRS-3** et **DRS-4**, tracer la courbe de régulation en la mettant en adéquation avec le cycle de transformation. Quel matériau, quelle géométrie et quel mode d'obtention préconisez vous pour la réalisation de ce noyau?

Le coefficient de frottement acier-polyéthylène décroît lorsque le taux de cristallinité augmente : 0,15 à 60%

Le taux de cristallinité augmente lorsque la vitesse de refroidissement diminue.

Le meilleur compromis est obtenu à un taux de cristallinité de 60%. La température d'injection choisie est de 240°C, la température de démoulage optimum par rapport au module d'Young : 90°C.

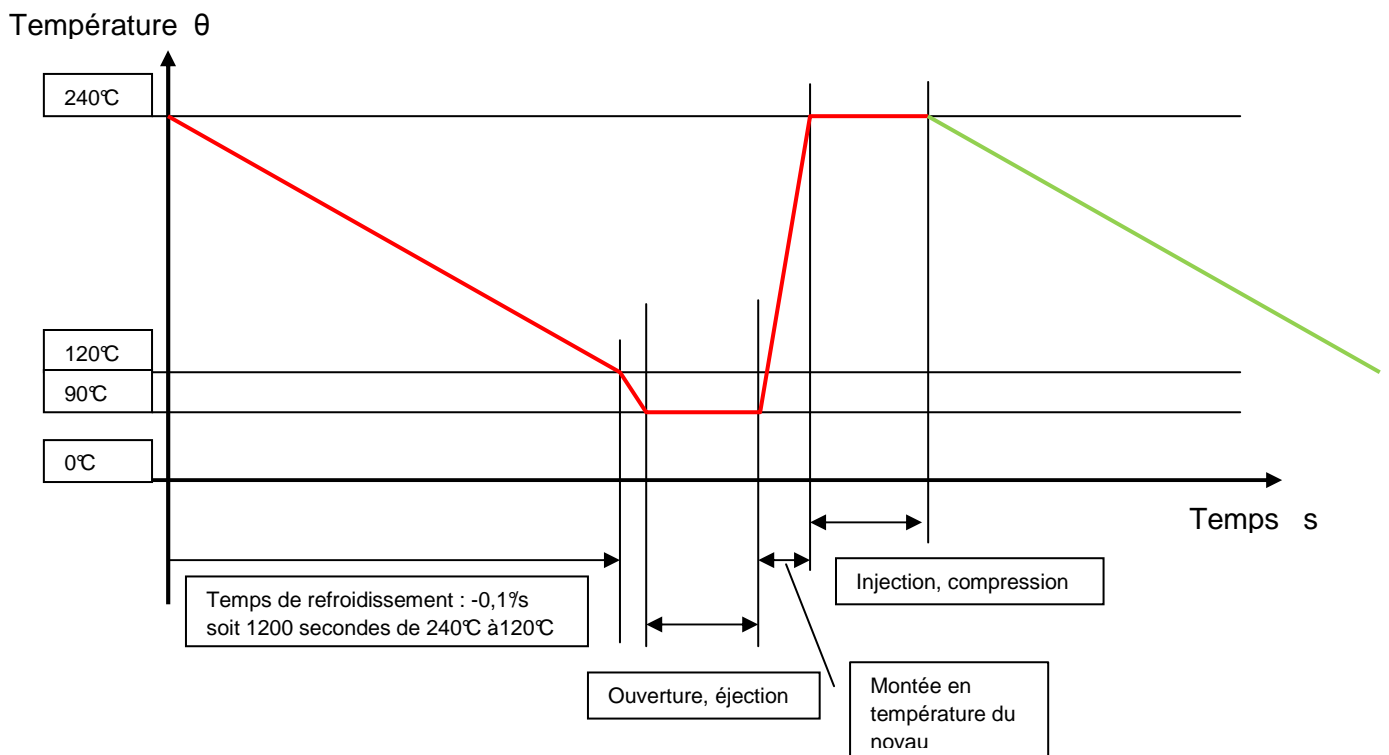


Le noyau doit être réalisé dans un matériau à très bonne conductibilité thermique, le polissage doit être facile (*respect de la rugosité de la cavité norme ISO 7206-2*), un revêtement de surface peut être envisagé.

Une cartouche chauffante ou un chauffage par induction peuvent être intégrés dans le noyau pour une montée en température rapide, un circuit de régulation au plus proche de la surface d'échange avec la pièce doit permettre la chute contrôlée de la température.

Le noyau (*ou seulement la partie moulante*) peut être réalisé par fusion métal (*voir figure 1*). La surface de la forme moulante sera reprise en usinage pour l'obtention de cotes et d'états de surface conformes aux spécifications du dessin de définition. L'utilisation de ce procédé de réalisation permet d'optimiser le circuit de régulation, facilite l'intégration de capteurs et d'éléments chauffants, permet un choix de matériau à caractéristiques optimum.

L'allure de la courbe de régulation préconisée est donc :



**Question A5.** La cupule doit absorber une partie de l'énergie due aux chocs provoqués par la marche. Pour que cette fonction soit assurée dans les meilleures conditions possibles, quelle devrait être la structure "à cœur" de la matière ? Quelle solution ou quel compromis préconisez-vous pour tendre vers cet objectif ?

Remarque : la société porteuse du projet prévoit une campagne d'essais pour optimiser les paramétrages issus des choix préconisés. Ce nouveau processus d'industrialisation doit conduire à un meilleur confort d'utilisation de la prothèse et à une forte augmentation de sa durée de vie.

-Pour des questions de résistance à l'usure provoquée par le frottement de la cupule sur la tête, la matière doit avoir un taux de cristallinité maximum en surface (*DRS-3 3/4*).

-Pour absorber une partie de l'énergie due aux chocs provoqués par la marche il faudrait au contraire que la structure à cœur soit la plus amorphe possible.

La vitesse de refroidissement ayant une incidence directe sur le taux de cristallinité il faudrait accélérer la vitesse de refroidissement à cœur ce qui est délicat. Un refroidissement rapide des deux demi-coquilles conjugué à une régulation précise en température du piston de compression (*réalisation de la sphère intérieure*) question A4, doit permettre d'obtenir le résultat escompté.

Un processus de co-injection pourrait être testé :

- Peau de la pièce (*entre 2 et 3mm*) dans le matériau validé et à conserver, cœur de la pièce dans le même matériau mais à caractéristiques mécaniques différentes.



## PARTIE B – INDUSTRIALISATION DE LA TÊTE

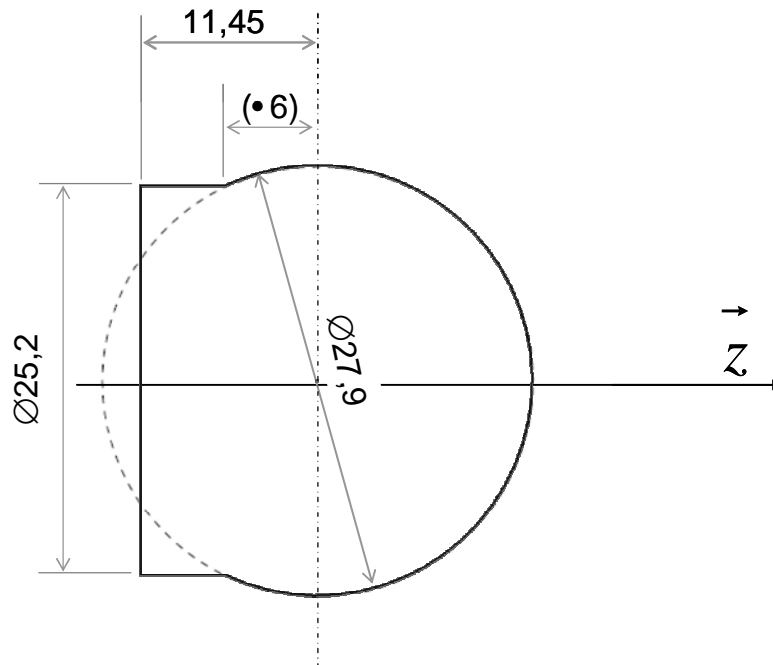
Proposition de correction, d'autres pistes pouvaient aussi convenir.

En effet, il existait deux familles de solutions possibles, l'une consistait à mettre en position la pièce en sous phase 20 en s'appuyant sur la sphère et l'autre en s'appuyant sur le cône.

Nous avons privilégié dans la correction une solution s'appuyant sur la sphère car elle permet une prise de pièce aisée et plus sûre en sous phase 20 vis-à-vis de l'effort de serrage par exemple.

**Question B1.** Partie Sous-phase 10 – Préciser la forme de la pièce dans l'état fin de sous-phase 10.

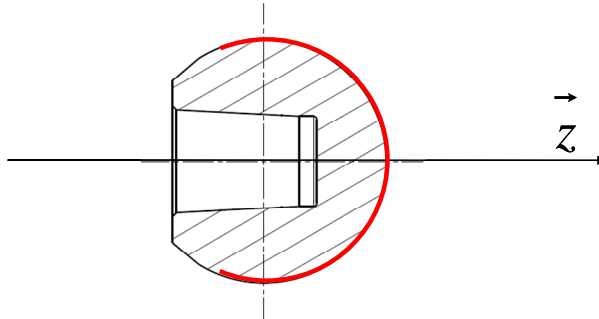
### Sous-phase 10



**Question B2.** Partie Sous-phase 20 – Préciser les surfaces servant à la mise en position de la pièce.

Compte tenu de la cinématique machine, les deux choix de sens de représentation de l'axe  $\vec{z}$  peuvent convenir.

## Sous-phase 20



- Étude des sous-phases 10 et 20 :

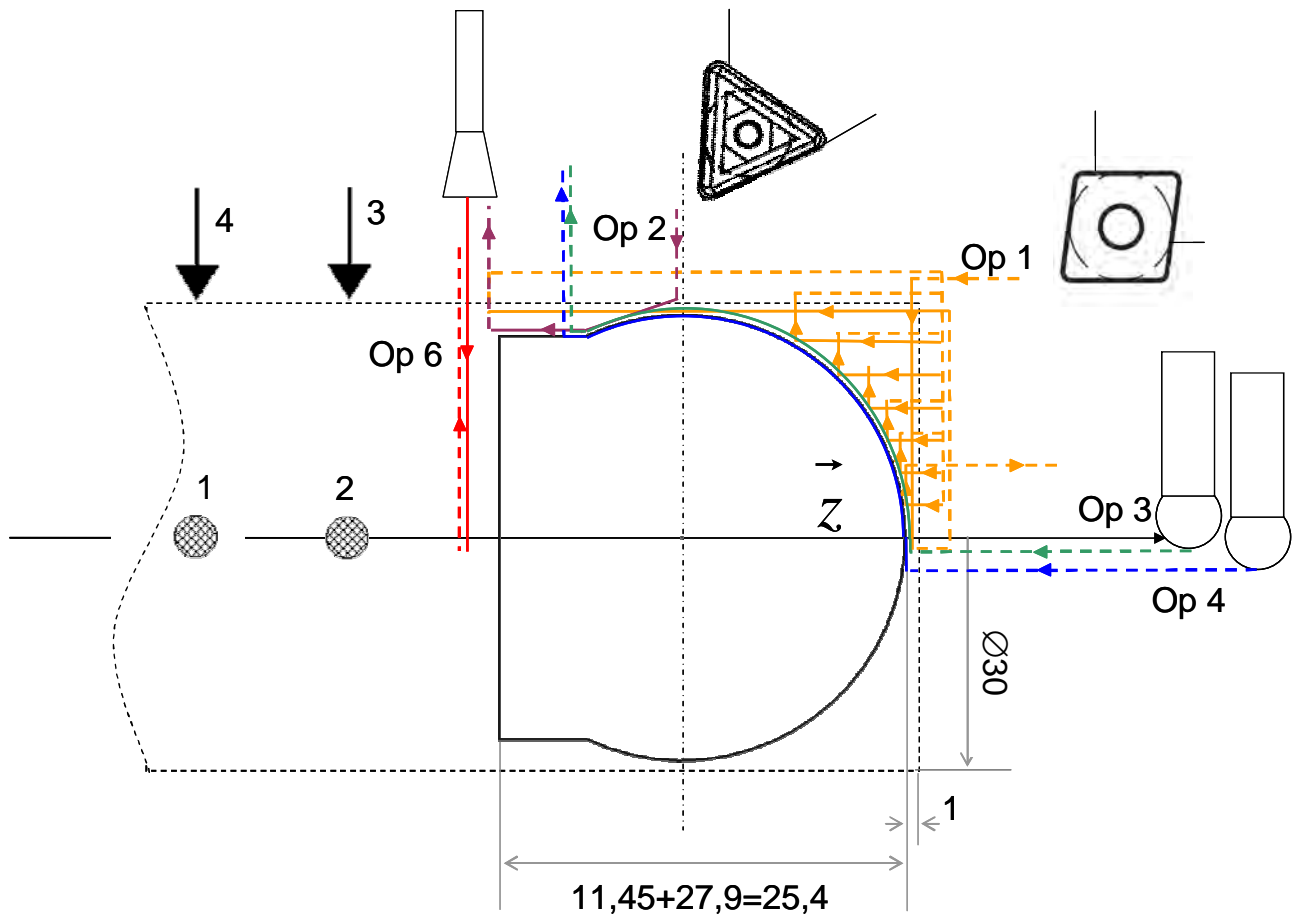
**Question B3.** A l'aide du document **DRS-6**, compléter les Documents-Réponses **DR-2** et **DR-3** en indiquant :

- L'enchaînement des opérations d'usinage (ne pas omettre de préciser le changement de broche),
- Le choix de la géométrie et des nuances des outils de coupe,
- La trajectoire des outils ainsi que leur silhouette
- Les conditions de coupe,
- La mise en position et le maintien en position de la pièce
- La longueur de la barre sortie des mors à la sous-phase 10 avant usinage.

*Vous pouvez proposer des outils qui ne sont pas référencés dans le document DRS-21.*

Le code matière est M pour le choix des outils

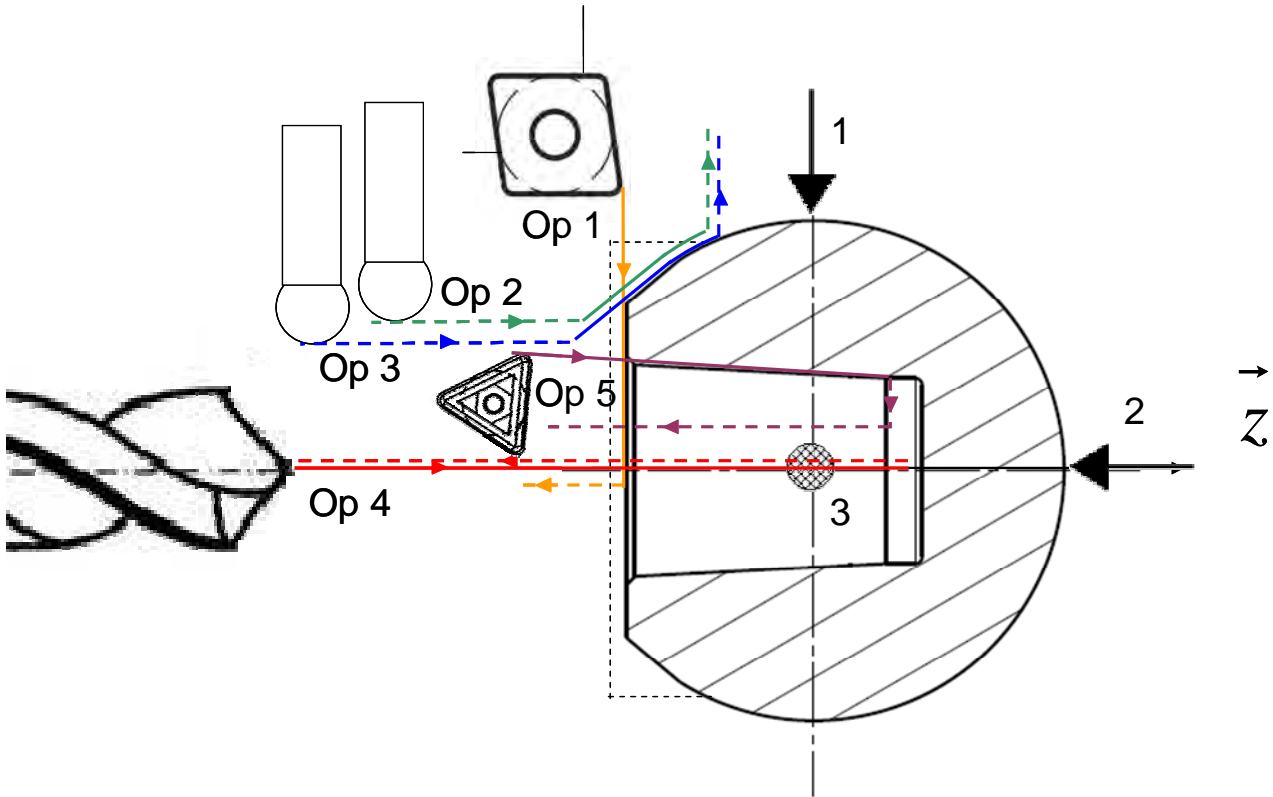
### Avant-projet de fabrication de la tête – sous-phase 10



Maintien en position : 3 mors durs concentriques.  
 Longueur de barre sortie : 35,4.  
 La broche secondaire est utilisée comme touche rétractable pour contrôler la sortie de la barre.  
 Ra estimée après finition : 0,08.  
 Surépaisseur sur la sphère avant finition : 0,5

	<u>Outils :</u>	Opération d'usinage.	Vc m/min	N (max) tr/min	fz mm/dent	Vf (max) mm/min	ap mm
1	CoroTurn® 107 Plaquette : CNMG 12 04 12-MR	Ebauche sphère droite	190	5000	0,35	1750	2
2	CoroTurn® 107 Plaquette : TNMG 16 04 12-MR	Ebauche sphère gauche	190	2400	0,35	840	2,5
3	Plaquette : N123L2 -0500-RM	Semi-finition sphère en profilage	125	5000	0,44	2200	2 max
4	Plaquette : N123H2-0500-RO	Finition sphère en profilage	125	5000	0,25	2500	0,5
5		Prise de la pièce par la seconde broche					
6	Plaquette : N123G2-0300-CR	Tronçonnage	90	5000	0,15	750	3

## Avant-projet de fabrication de la tête – sous-phase 20

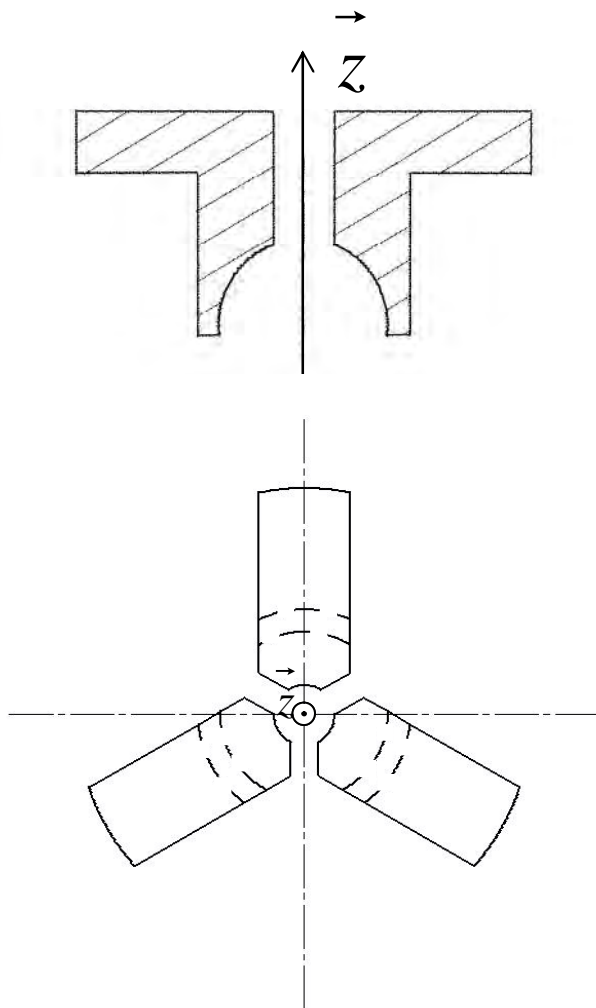


Trajectoire circulaire pour la fraise 2 tailles de l'opération 6.  
 Maintien en position : 3 mors doux concentriques.

	<u>Outils :</u>	Opération d'usinage.	Vc m/min	N (max) tr/min	fz mm/dent	Vf (max) mm/min	ap mm
1	CoroTurn® 107 Plaquette : CNMG 12 04 08-WF	Finition plan B	220	5000	0,3	1500	1
2	Plaquette : N123L2 -0500-RM	Semi-finition sphère et cône extérieur en profilage	125	5000	0,44	2200	2 max
3	Plaquette : N123H2-0500-RO	Finition sphère et cône extérieur en profilage	125	5000	0,5	2500	0,5
4	Foret Ø9	Perçage trou Ø9	40	1400	0,1	140	9
5	CoroTurn® 107 Plaquette : TNMX 09 02 04-WF	Finition cône extérieur	280	5000	0,12	600	1
6	Fraise 2 tailles de Ø6	Contournage fond intérieur	60	2122	0,02	160	2

**Question B4.** Sur le Document Réponse **DR-4**, schématiser le montage d'usinage nécessaire à la sous-phase 20. Quelles sont les préconisations à donner quant aux spécifications dimensionnelles et géométriques des surfaces participant à la liaison pièce-montage ?

### Définition du montage d'usinage de la sous-phase 20



La surface participant à la liaison pièce / mors doux est sphérique. Les trois mors sont usinés en même temps sur le Mazak Integrex 200.

Une spécification de forme quelconque d'un IT de 0,005 doit alors être respectée par cette surface sphérique ainsi qu'un Ra de 0,08 proche de celui de la surface de mise en position de la pièce.

**Question B5.** Pour le processus d'usinage que vous avez proposé, indiquer, en précisant les critères d'analyse, les spécifications géométriques et dimensionnelles

critiques portées sur le dessin de définition.

- la spécification géométrique de forme quelconque de 0,01 portée sur la surface sphérique, la surface étant réalisée en 2 sous phases
- la spécification de forme quelconque de 0,05 ayant pour référence A portée sur la surface conique, la surface de référence A étant usinée en sous phase 10 alors que le cône l'est en sous phase 20.

**Question B6.** Quels sont les paramètres à identifier liés à l'outil, aux mors et à la machine permettant de s'assurer l'intégrité de la pièce et de la cellule d'usinage lors de l'usinage ? On prendra soin de préciser la réponse à l'aide de calculs pertinents vis-à-vis du processus d'usinage proposé.

- validation de la puissance nécessaire à l'usinage par rapport à la puissance de la broche vis-à-vis des opérations d'ébauches extérieures et de perçage.
- validation du couple de serrage des mors pour les opérations d'ébauche en sous phase 10, et d'ébauche et de perçage en sous phase 20.

Il faut donc identifier les pressions spécifiques de coupe des couples outils d'ébauche/matière et du foret/matière.

**Question B7.** En fonction des dispersions intervenant dans la cellule d'usinage, évaluer la capacité du processus que vous avez proposé sur tour bi-broche.

Il y a un défaut d'alignement des deux broches de l'ordre de  $13,2 \cdot m$ . Ainsi la spécification la spécification géométrique de forme quelconque de 0,01 portée sur la surface sphérique risque de ne pas être respectée. Le processus proposé ne semble pas permettre d'atteindre la qualité finale attendue. Toutefois l'opération de rodage peut atténuer le défaut obtenu après usinage.

**Question B8.** Quels sont les paramètres qui vont permettre de prendre la décision de transférer la production sur le tour bi-broche. On prendra soin d'avoir un discours étayé.

- validation de l'aptitude du nouveau processus (usinage + rodage).
- gain en terme de coût du nouveau processus du fait de l'automatisation du chargement de la barre.

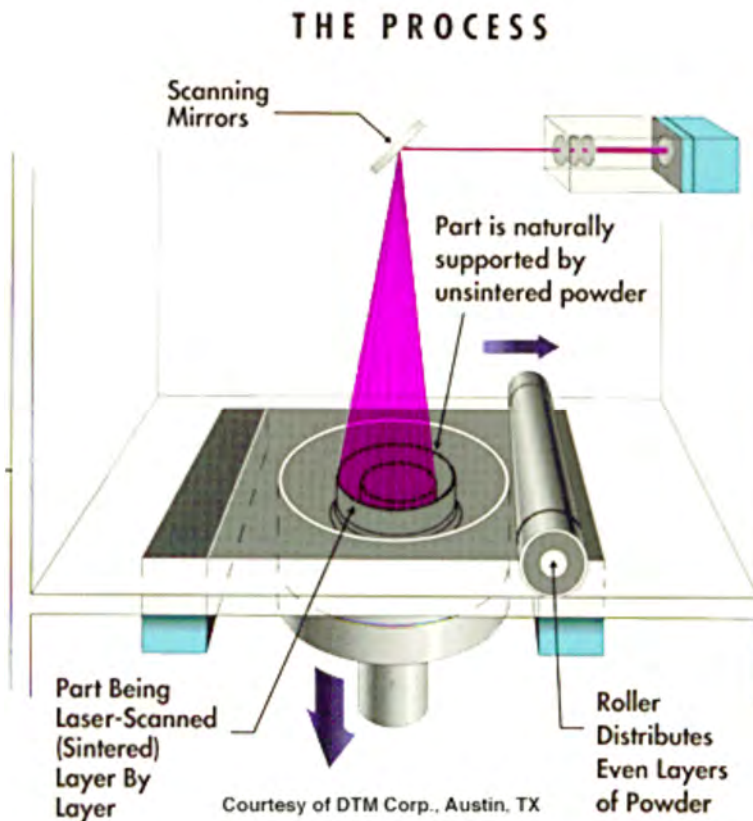
## PARTIE C – INDUSTRIALISATION DU COL

### C.1 – Étude du procédé d'obtention du brut du col par frittage de poudres métalliques

#### C.1.1 – Le frittage laser

Pour valider cette solution, les bruts des premiers prototypes du col sont réalisés en frittage laser.

**Question C1.** Décrire, en s'appuyant sur un schéma, un type de procédé de frittage laser.



Le procédé de frittage laser est aussi appelé procédé de frittage sélectif de poudre (Selective Laser Sintering ou SLS).

Certains matériaux, notamment certaines poudres métalliques et minérales, à une température locale élevée, présentent la propriété de se durcir. Le durcissement est obtenu par application d'un faisceau laser qui décrit une trajectoire correspondant à la géométrie que l'on veut obtenir. Ce principe permet de transformer la poudre en objet(s) solide(s) par frittage.

De nombreux matériaux peuvent être frittés comme le polyamide, le polyamide chargé verre, l'élastomère, le polycarbonate, le sable de fonderie, l'acier inox, l'alliage d'aluminium...

**Question C2.** Indiquer l'état et la nature de la matière d'œuvre de départ.

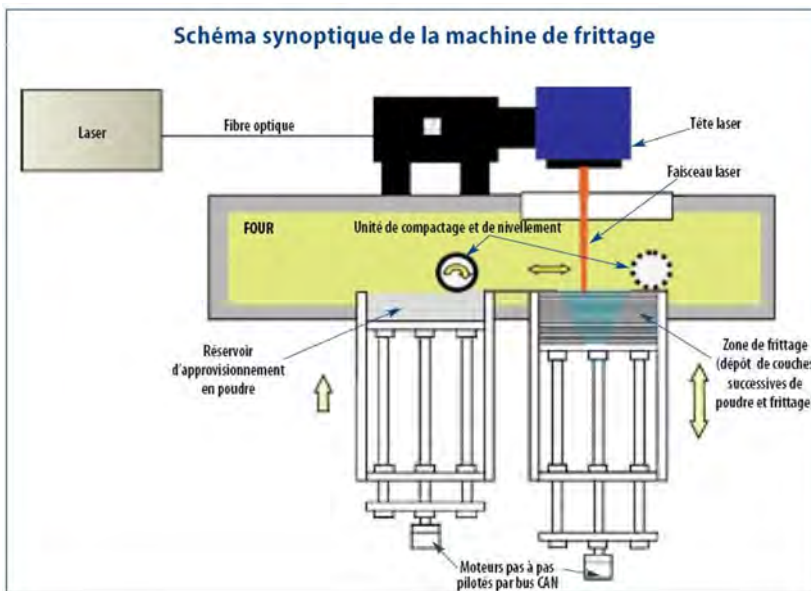
Poudres métalliques ou poudres minérales avec ajout éventuel d'un additif pour favoriser l'agglomération.

**Question C3.** Décrire en détail le mode de génération du volume à obtenir qui correspond au brut du col. Comment la matière d'œuvre est-elle apportée à la pièce en cours d'élaboration ?

La fabrication est entièrement automatique. L'opérateur part de la maquette numérique de la pièce à obtenir et fixe les paramètres de fabrication en fonction du type de poudre utilisé et du résultat à obtenir.

## Principe de fonctionnement d'une machine de frittage laser :

L'opération de frittage se fait en continu, par dépôt de couches successives de poudre. Le procédé permet d'obtenir des détails de 150 µm pour des pièces métalliques et de 300 µm pour des pièces en céramique.



Au cours du processus de frittage, la poudre présente dans le réservoir de gauche est amenée par couches successives à l'aide d'un racleur dans le réservoir de droite.

Au cours du processus de frittage, les deux niveaux du réservoir sont régulés à l'aide de vérins pilotés par des moteurs pas à pas. Le fond du réservoir de gauche « monte » tandis que celui de droite « descend ».

Le fond du réservoir de droite est aussi appelé plateau de construction, car c'est sur lui que s'élabore la pièce par couches successives.

La vitesse de fabrication varie généralement entre 1 et 10 mm<sup>3</sup>/s.

**Question C4.** Expliciter le principe physique permettant de passer d'une poudre métallique à la pièce à obtenir (rôle du laser).

Le laser trace la forme de chaque couche en fusionnant la poudre. Les grains qui ne sont pas chauffés assurent le support des couches suivantes en porte à faux.

La plate forme de travail descend de l'épaisseur d'une strate, une nouvelle couche de poudre est étalée par un rouleau mécanique et le cycle recommence pour construire le prototype couche par couche.

**Question C5.** Quelle solution matérielle est apportée pour, partant de la définition numérique du col dans un repère nominal de la pièce (repère de définition), positionner la pièce à obtenir dans le repère de travail de la machine (mise en position de la pièce sur la machine)?

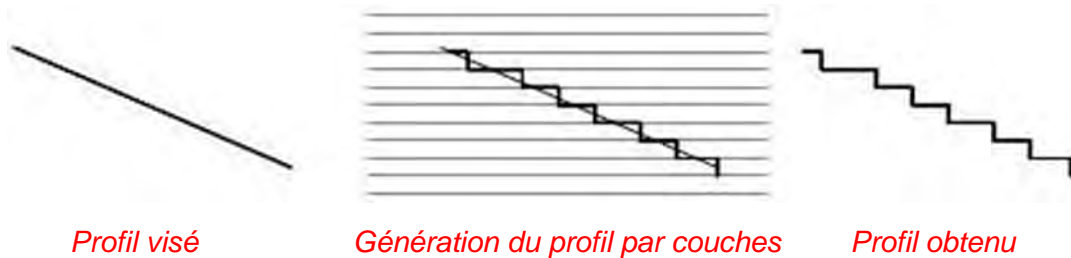
Théoriquement, le mode de génération qui vient d'être décrit permet de s'affranchir d'une mise en position de la pièce et de son maintien dans l'espace de travail de la machine.

Pratiquement, il convient de prendre en compte trois contraintes :

1. Contrainte d'immobilité de la pièce au cours de sa génération – Au cours du processus d'élaboration, il faut éviter que la partie de pièce générée, se trouvant simplement en suspension sur les grains non chauffés, ne soit déplacée (glissement) par rapport au repère de travail de la machine sous l'action mécanique du racleur.
2. Contrainte de minimisation du temps de réalisation – Le temps d'élaboration de la pièce est essentiellement lié au nombre de couches de frittage, donc à la différence d'altitude, dans l'espace de travail, entre le point le plus bas et le point le plus haut de la pièce. Il convient alors, d'optimiser le temps de production en positionnant la pièce dans l'espace de travail de telle sorte que cette différence d'altitude corresponde à la plus petite arête du parallélépipède enveloppe de cette pièce.



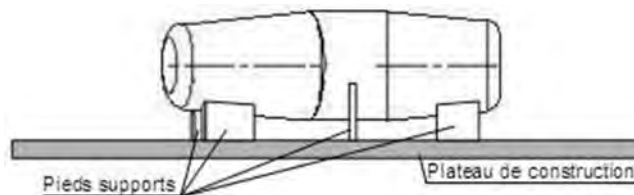
3. Contrainte d'état de surface – Ce mode d'élaboration par couches génère des profils dits « en escalier » lorsque ces profils ne sont pas perpendiculaires ou parallèles aux couches. Le défaut d'état de surface qui en découle doit être compatible avec les spécifications microgéométriques des surfaces de la pièce à obtenir.



La contrainte d'immobilité de la pièce au cours de sa génération impose que des pieds solidaires de cette pièce la lient complètement au plateau de construction. Ces pieds, réalisés dans le même matériau que la pièce, sont élaborés par frittage au démarrage du processus. La maquette numérique utilisée pour générer le parcours du laser correspond à la maquette numérique de la pièce à obtenir complétée par les pieds supports. Ces derniers sont appelés à disparaître lors du parachèvement de la pièce brute.

La contrainte de minimisation du temps de réalisation conduit à positionner la pièce de telle sorte que les axes des deux portées coniques soient situées dans un plan parallèle aux couches.

Après frittage, la pièce brute sera presque entièrement usinée (seul le cylindre de  $\varnothing 15 \pm 0,1$  restera à l'état brut), la contrainte d'état de surface est ici sans conséquences.



*Schéma de la pièce frittée solidaire du plateau de construction*

### **C.1.2 – Le frittage de production**

Le frittage laser a permis de valider le choix du procédé frittage de poudres métalliques pour l'obtention des bruts du col.

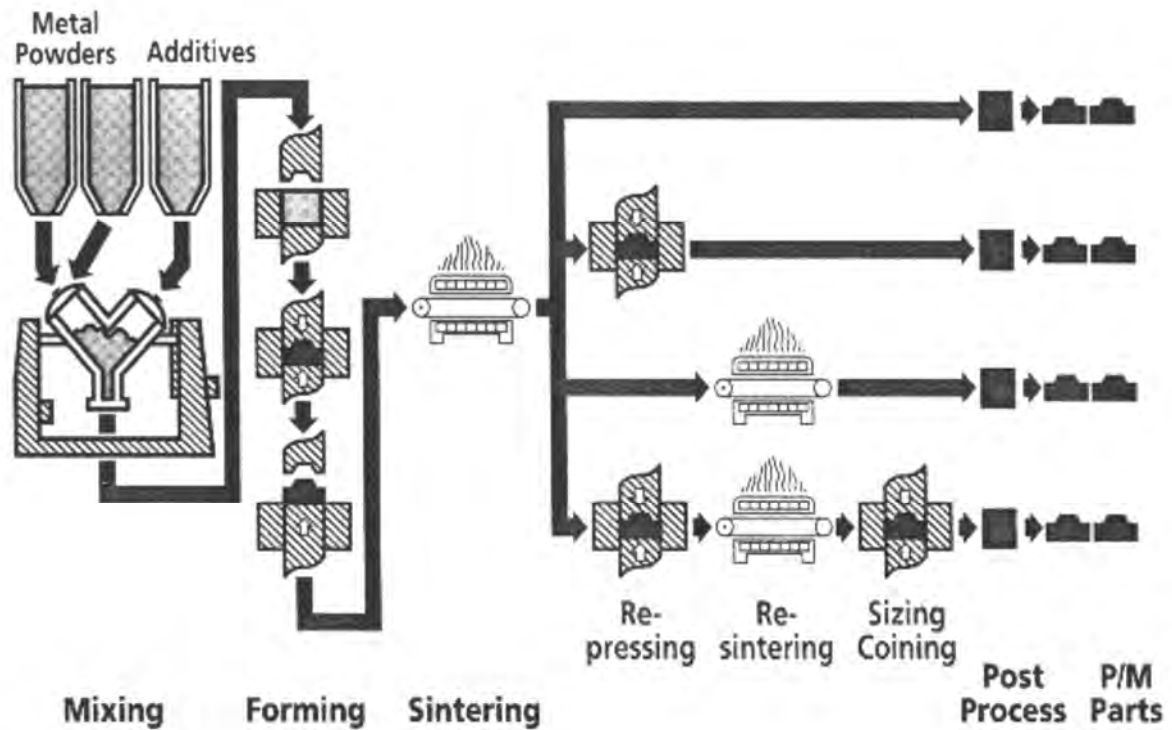
**Question C6.** En s'appuyant sur des schémas et en détaillant les différentes opérations du processus, décrire le procédé appliqué à un contexte de production et non plus à un contexte de prototypage.

1. la poudre de base, généralement du fer, est mélangée avec des poudres d'alliages (nickel, cuivre, graphite,...) ainsi qu'avec un lubrifiant.
2. Une presse, mécanique ou hydraulique, compresse fortement le mélange dans un moule. Les pressions exercées sont de l'ordre de 100 à 1000 Tonnes pour la compression à froid.

3. Les pièces, après compression (pièces « vertes »), sont ensuite placées dans un four, ou sur un convoyeur passant au travers d'un four à haute température. Cette dernière doit, toutefois, rester inférieure à la température de fusion du fer afin d'éviter que la pièce ne perde sa forme.

4. Des opérations secondaires peuvent être effectuées comme l'ébavurage, les traitements thermiques et des usinages divers.

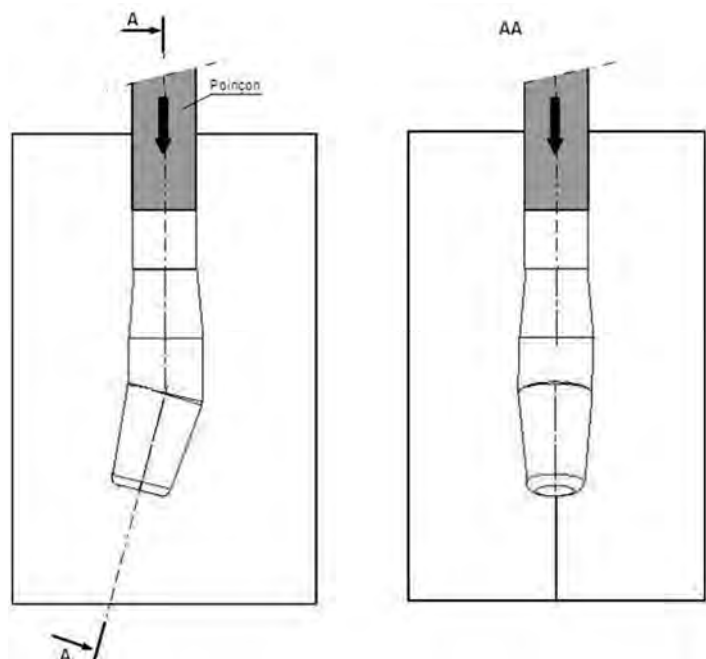
5. Produit fini.



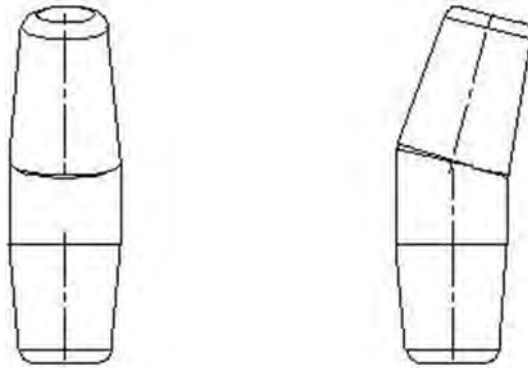
**Question C7.** Établir un schéma de principe de l'outillage donnant les formes du brut du col.

Pour assurer le bon remplissage du moule et une compression correcte de la poudre métallique, il convient de procéder à ces opérations en plusieurs étapes :

- remplissage et compression de la partie basse ;
- remplissage et compression à mi-hauteur ;
- remplissage et compression au  $\frac{3}{4}$  de la hauteur ;
- remplissage et compression de la totalité.



**Question C8.** Établir le dessin de la pièce brute qui doit correspondre à l'état de la pièce juste avant sa première phase d'usinage. Quelles sont les causes et les types de dispersions dimensionnelles et/ou géométriques de cette pièce brute? A partir d'une estimation de ces dispersions, porter sur le dessin les spécifications dimensionnelles et géométriques de la pièce brute.



Causes de dispersions aléatoires ou systématiques :

- Non coïncidence des deux empreintes du moule (remise en position des deux parties de moule) à estimation : 0,3 mm
- Dépouille aux extrémités de la pièce (surfaces nominale ment perpendiculaires au plan de joint) à estimation : pente de 3%
- Profil « en escalier » à fonction de l'épaisseur des couches et de l'angle de la tangente à la surface et la normale aux couches
- Retrait après refroidissement de la pièce non uniforme (ou non maîtrisé) à prévisible à prendre en compte dans les dimensions nominales de l'empreinte

Pour les spécifications dimensionnelles, il faut donc identifier :

- les spécifications relatives à des surfaces obtenues dans l'empreinte d'une seule partie de l'outillage ;
- les spécifications entre des surfaces impliquant les deux parties de l'outillage.

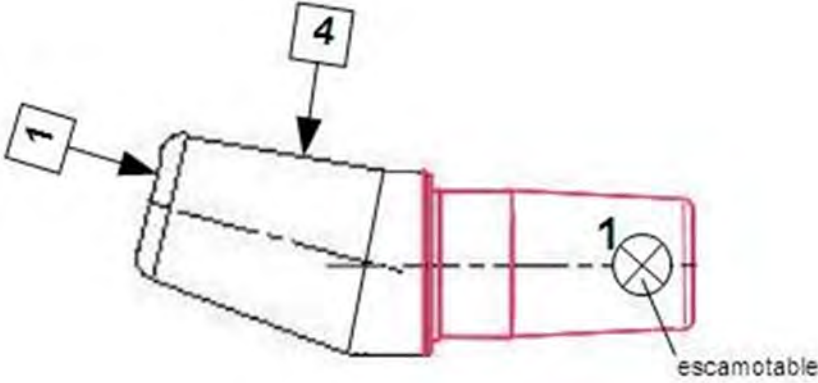
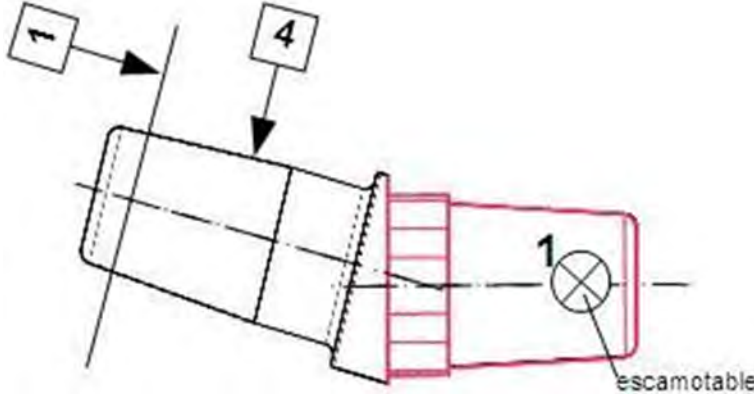
## C.2 – Étude prévisionnelle d'usinage du col

En partant du brut que vous avez défini à la question précédente, l'usinage du col est réalisé en deux phases d'usinage.

**Question C9.** Sur votre copie établir la nomenclature prévisionnelle des phases de fabrication du col :

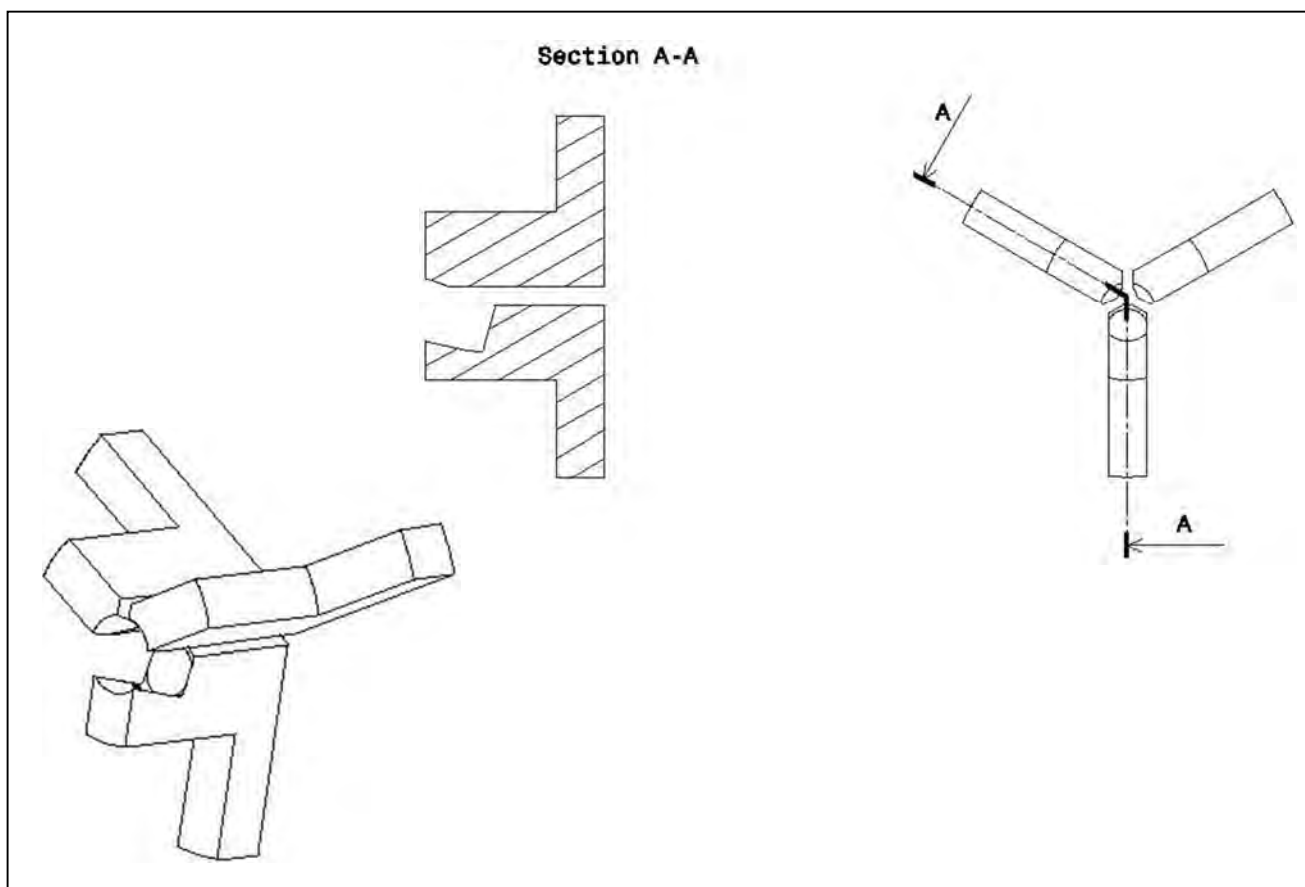
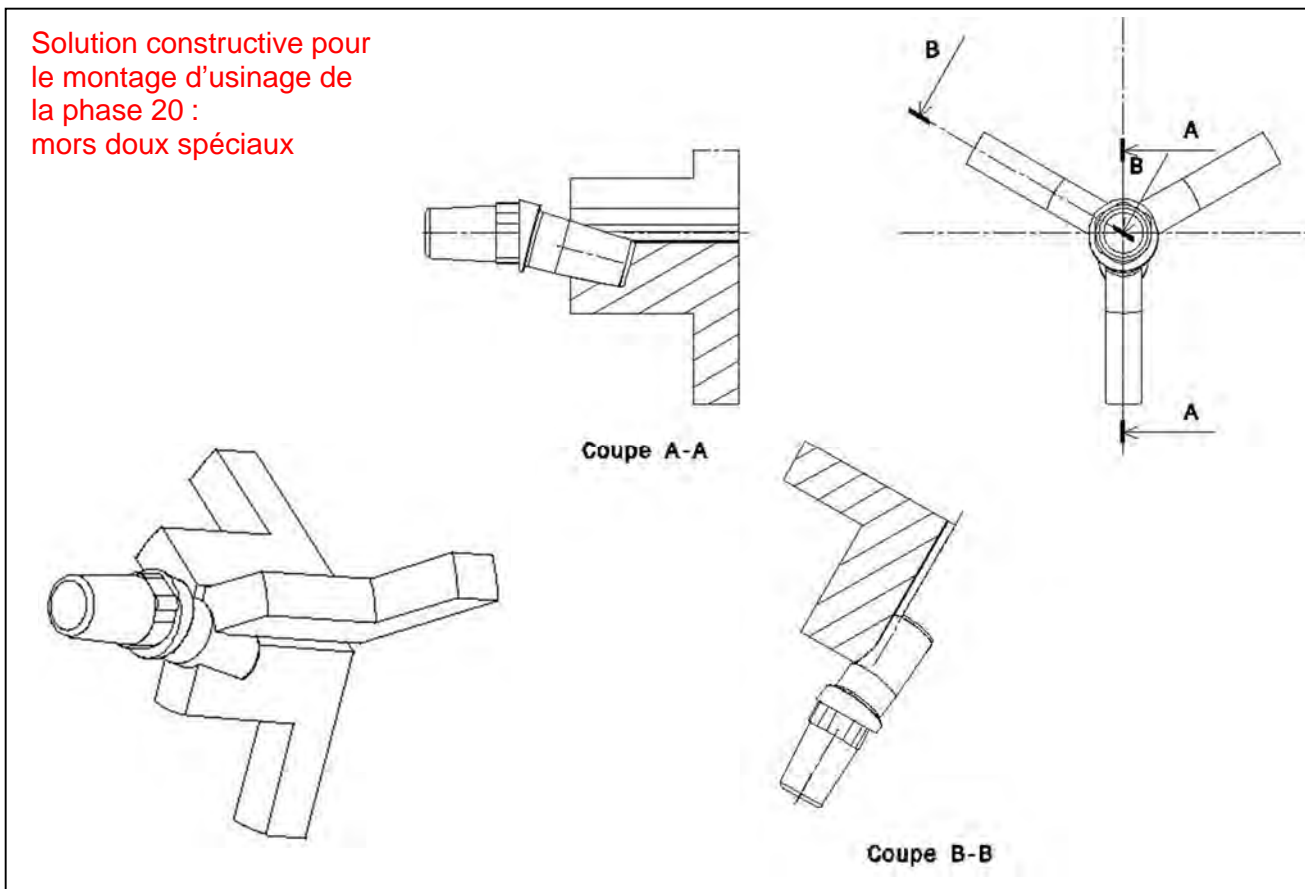
- tracer, avec une couleur différenciée, les surfaces réalisées dans chaque phase ;
- choisir le type de machine outil utilisé en précisant le nombre d'axes numériques ;
- Indiquer la mise en position de la pièce pour chacune des phases.

Afin d'éviter une mise en position sur la forme hexagonale, ce qui conduirait à une dispersion angulaire importante de la prise de pièce, il convient de réaliser cette forme en phase 20.

<p><b>PHASE 10</b></p> <p>Sur Tour CN 2 axes</p> <p>Usinage du tronc de cône B et des surfaces adjacentes</p>	
<p><b>PHASE 20</b></p> <p>Sur tour CN 3 axes (axe C)</p> <p>Usinage du tronc de cône A et des surfaces adjacentes, dont la forme hexagonale (axe C)</p>	

**Question C10.** Sur votre copie, donner le schéma de principe de l'outillage pour la deuxième phase d'usinage. Ce schéma doit permettre de comprendre les dispositions constructives proposées pour assurer la mise en position de la pièce et son maintien.

Solution constructive pour le montage d'usinage de la phase 20 : mors doux spéciaux




### C.3 – Contrôle

Cette étude se situe dans une démarche de mesure et de contrôle réception de produit fini.

**Question C11.** Proposer une méthode permettant de vérifier les spécifications figurant sur la vue de détail du microfiletage du Document-Technique **DT-5**.

Méthode optique au projecteur de profil  
Ou avec un rugosimètre (?)

**Question C12.** On s'intéresse à la mise en œuvre sur machine à mesurer tridimensionnelle du contrôle de la spécification figurant sur la vue du détail A du Document-Technique **DT-4** :

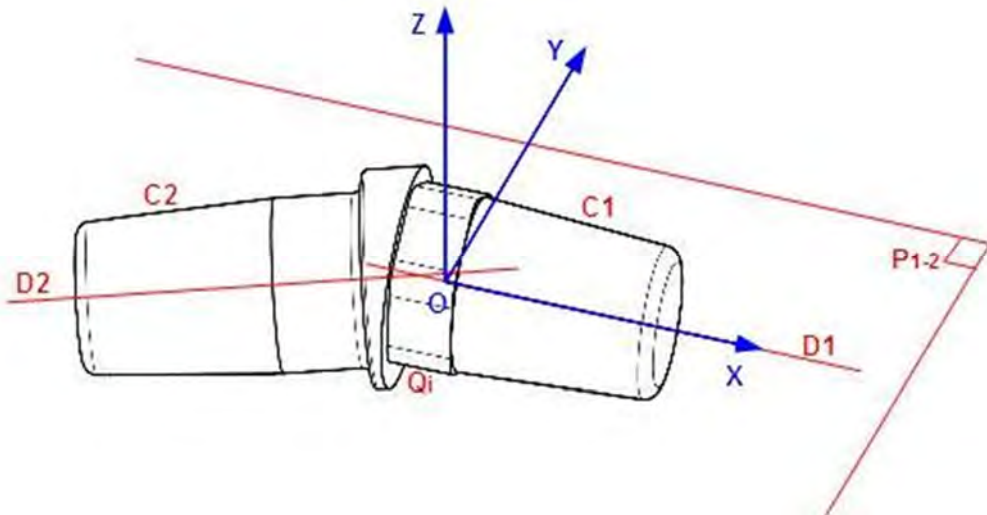
	0,03	A	A - B
---	------	---	-------

Sur le Document-Réponse **DR-5**, analyser et interpréter cette spécification. L'analyse mettra en évidence l'(les) élément(s) tolérancé(s), l'(les) élément(s) de référence(s), la(les) référence(s) spécifiée(s) et la(les) zone(s) de tolérance. Pour chacun de ces éléments, préciser éventuellement la nature, la forme, la(les) dimension(s), la situation et les critères d'association.

Voir page 24


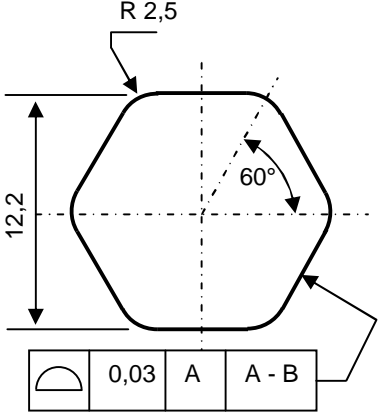
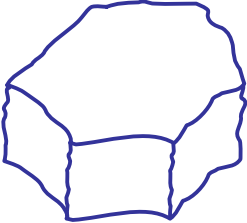
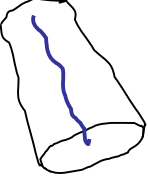
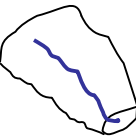

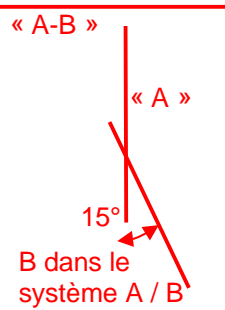
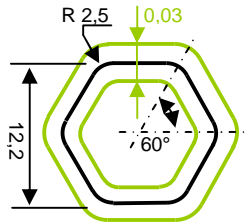
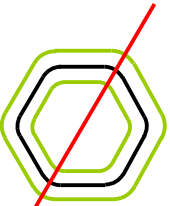
L'application numérique installée sur le micro-ordinateur relié à la machine à mesurer tridimensionnelle permet, à partir de la définition numérique spécifiée de la pièce, d'effectuer l'exploitation du relevé des points de mesure et de donner directement le résultat du contrôle. Expliquer succinctement les opérations à réaliser pour aboutir à ce résultat.

Nota : prendre soin de repérer sur le Document-Réponse **DR-6** les éléments nécessaires à la compréhension des explications.



### Opérations de contrôle

Opération de mesure	Repère de l'élément palpé	Opération de construction ou de calcul	Repère élément construit
Palper le cône A (association du cône avec les points palpés à partir du critère Min Max)	C1		
Palper le cône B (association du cône avec les points palpés à partir du critère Min Max)	C2		
		Axe C1	D1
		Axe C2	D2
		Plan contenant D1 et // à D2 (pour simplifier la construction)	P1-2
		Repère Rp (Op, Xp, Yp, Zp) : - $O \in D1$ - $X \equiv D1$ - $Y \perp P1-2$	Rp
Palper les points sur la forme hexagonale	Qi exprimés dans Rp		
		Distance entre les points Qi et la surface nominale de la forme définie dans Rp	di
		Vérification : $di \leq 0,015 \text{ mm}$	

TOLERANCEMENT GPS		Analyse d'une spécification par zone de tolérance			
Symbole de la spécification	surface quelconque 	Eléments non idéaux (Réels)		Eléments idéaux (Modèles)	
Type de spécification	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forme</li> <li>• Orientation</li> <li>• Position</li> <li>• Battement</li> </ul>	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance
Condition de conformité :	L'élément tolérancé doit être inclus dans la zone de tolérance.	<i>Nature géométrique</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• unique</li> <li>• groupe</li> </ul>	<i>Nature géométrique</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• unique</li> <li>• multiples</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• simple</li> <li>• commune</li> <li>• système</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• simple</li> <li>• composée</li> </ul>
Schéma :		<p>Surface réputée quelconque</p> 	<p>L'élément de Référence A est l'axe réel de la surface réputée conique :</p>  <p>L'élément de Référence B est l'axe réel de la surface réputée conique :</p> 	<p>Référence spécifiée « A » : Droite axe du cône d'angle au sommet 6° tangent extérieur matière minimisant la somme des écarts.</p>  <p>Référence spécifiée « B » dans le système A/B: Droite sécante à « A », inclinée de 15°/ « A », axe du cône d'angle au sommet 5°57'30'' et tangent extérieur matière minimisant la somme des écarts</p>  <p>« A-B » plan contenant « A » et « B »</p>	 <p>Zone de tolérance : Espace compris entre deux surfaces, distantes de 0,03 mm, parfaites quelconques parallèles de la surface définie au nominale.</p>  <p>« A - B » dans le système A / A-B</p> <p>La zone de tolérance est positionnée par rapport à « A-B » comme défini au nominal.</p>



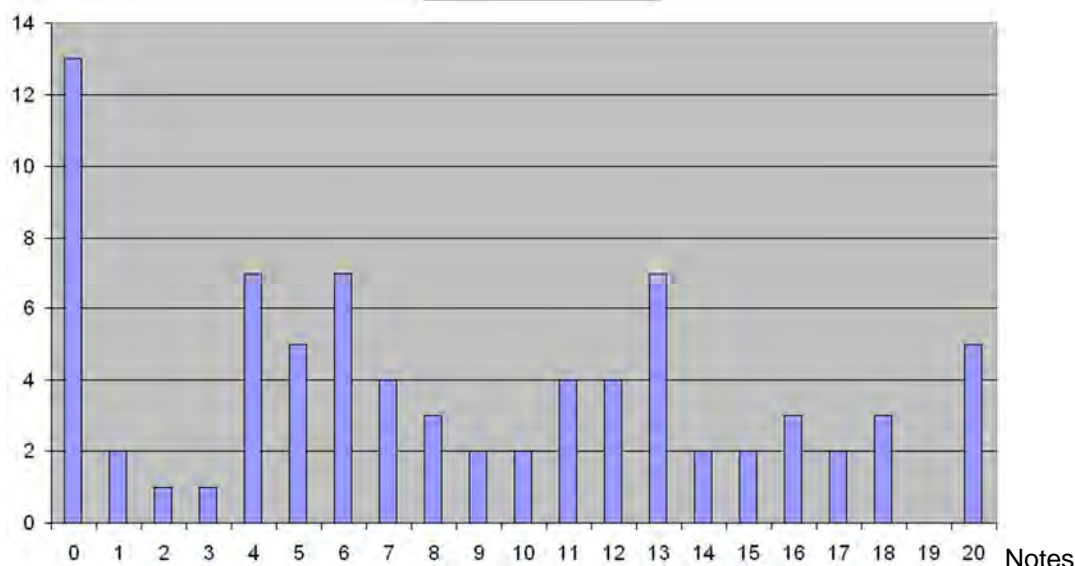
# EPREUVE D'ETUDES D'INDUSTRIALISATION

## Commentaires sur la prestation des candidats

### Partie A : étude de pré-industrialisation de la cupule

#### Résultats obtenus

Min	0,00
Moy	8,33
Max	20
Écart type	6,51



#### Question A1

*Objectif* : vérification des connaissances de base sur l'outillage d'injection plastique et sa mise en œuvre.

*Attendus* : Schéma d'outillage, analyse courbes PVT, description du mode opératoire.

*Analyse* : trop de candidats n'ont aucune connaissance de l'injection plastique. Aucun candidat ne s'est appuyé sur les courbes PVT pour décrire le mode opératoire.

#### Question A2

*Objectif* : notion de flexibilité d'un outillage d'injection.

*Attendu* : notion d'éléments interchangeables.

*Analyse* : liée à la question A1, la notion de flexibilité a été correctement abordée (*lorsque la question est traitée*).

#### Question A3

*Objectif* : analyse sur la réflexion fonctions pièce/ complexité outillage - géométrie pièce - caractéristiques matériau - procédé d'obtention - processus -

*Attendus* : notions de comportement du matériau pendant la phase de transformation (*retrait*) Choix d'un compromis entre fonction pièce, coût outillage, caractéristiques matériau.

*Analyse* : aucun candidat n'a pris en compte le retrait matière. De nombreux candidats font des propositions pour simplifier l'outillage en oubliant les fonctions de la pièce.

#### Question A4

*Objectif* : optimisation d'une caractéristique matériau pièce pour l'optimisation de la fonctionnalité en travaillant sur le processus. Comment optimiser le processus en optimisant la réalisation d'un élément d'outillage (*fonction matériau procédé pour une pièce d'outillage*)

*Attendus* : analyse de courbes, synthèse, choix de paramètres, tracer de la courbe (*allure*) température en fonction du temps pendant le cycle de transformation. Proposition de choix d'un procédé et d'un matériau pour la réalisation du poinçon.

*Analyse* : question correctement traitée pour la partie courbe de température, peu de propositions utilisant les nouveaux procédés de réalisation de pièces pour le noyau. (*la partie C du sujet donne une réponse possible*)

#### Question A5

*Objectif* : réflexion sur l'amélioration de la fonctionnalité pièce par une optimisation de la structure du matériau liée au processus de transformation.

*Attendu* : comparaison entre structure amorphe et cristalline et comment on peut les obtenir. Proposition de co-injection.

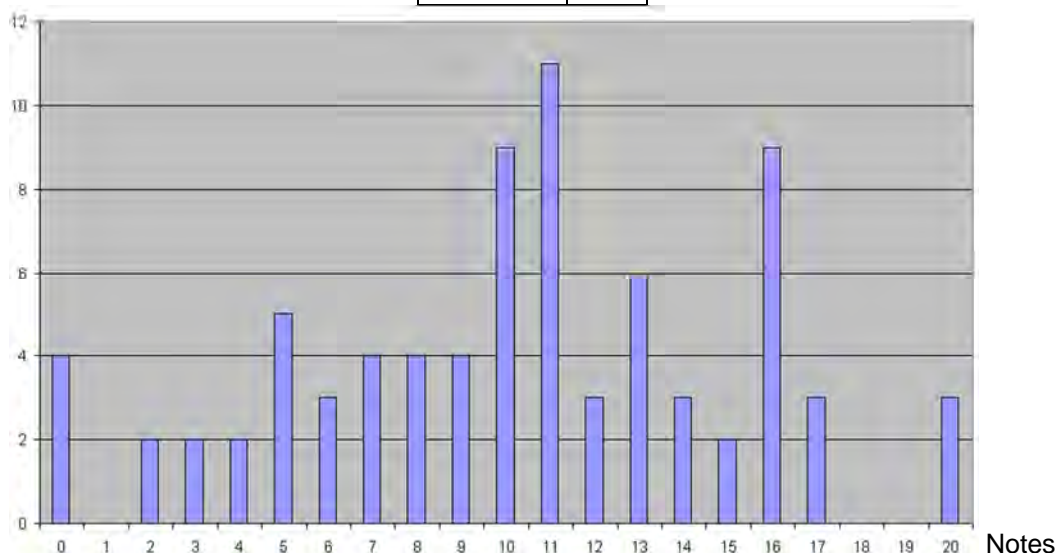
*Analyse* : Question correctement traitée pour la partie structure du matériau, un seul candidat propose la co-injection.

### Partie B : Industrialisation de la tête

Cette partie s'intéresse à l'industrialisation de la tête, notamment au transfert de la production sur un tour bi-broche Mazak Integrex 200. Le questionnement est alors ordonné de sorte que le candidat soit amené à proposer une nouvelle gamme de fabrication et à évaluer la capacité de la machine à réaliser la pièce. Il n'y a naturellement pas unicité de la solution, les réponses des candidats ont donc été évaluées vis-à-vis de la faisabilité de leur solution et de la cohérence de leurs réponses et réflexions. Ainsi, des explications et dessins claires ont été appréciés.

#### Résultats obtenus

Min	0,00
Moy	9,86
Max	20
Écart type	4,92



### Question B1

*Objectif* : évaluer la capacité des candidats à définir les surfaces usinées dans chaque sous-phase en fonction de la forme de la pièce et des spécifications géométriques à respecter.

*Attendus* : dessin clair et explicite de la forme de la pièce en fin de sous phase 10. La solution proposée doit être usinable, composée de forme simple et cohérente avec la cotation.

*Analyse* : Presque aucun candidat n'a indiqué de dimensions, notamment vis-à-vis des surépaisseurs. Certains candidats ont proposé des solutions sans penser à l'accessibilité des surfaces usinées en sous-phase 20.

### Question B2

*Objectif* : évaluer la capacité des candidats à définir les surfaces de mise en position en fonction des spécifications géométriques à respecter.

*Attendus* : choix des surfaces servant à la mise en position de la pièce cohérent vis-à-vis de la cotation de la pièce.

*Analyse* : Cette question a été abordée par presque tous les candidats.

### Question B3

*Objectif* : évaluer la capacité des candidats à définir chaque sous-phase (enchaînement des opérations, choix des outils, des trajectoires et des conditions de coupe, définition de la mise en position et du maintien en position).

*Attendus* : choix des opérations d'usinage, des trajectoires, des outils, des conditions de coupe et de la MIP et MAP permettant d'atteindre la qualité attendue de façon productive.

*Analyse* : Cette question est assez ouverte. Elle a été abordée par presque tous les candidats. La méthode de choix des outils associés aux opérations est bien maîtrisée. Toutefois, certains candidats ont proposé l'utilisation de fraise 2 tailles de  $\varnothing 10,372$  pour générer l'évidement de  $\varnothing 10,372$  alors qu'il aurait été plus judicieux d'utiliser une fraise de diamètre standard en contournage. Au niveau du choix des opérations d'usinage, très peu de candidats ont proposé des solutions contenant des opérations semi-finition alors que l'opération d'ébauche de la sphère proposée aboutissait à de fortes variations des surépaisseurs. Beaucoup de candidats ont négligé la qualité du dessin des trajectoires. Et très peu de candidats ont considéré que le choix des conditions de coupe en finition devait être fait en fonction d'une rugosité attendue.

### Question B4

*Objectif* : évaluer la capacité des candidats à définir un montage d'usinage.

*Attendus* : définition du montage d'usinage par mors doux s'appuyant sur les surfaces définies à la question B2. Les préconisations à donner aux surfaces en contact avec la pièce doivent avoir une valeur compatible avec leur usinage sur la machine Mazak Integrex 200.

*Analyse* : Cette question a été abordée par une grande majorité des candidats. Certains candidats ont proposé une solution ne permettant pas une mise en place ou une éjection de la pièce de la broche secondaire de façon automatique. Très peu de candidats se sont posés la question de la rugosité.

### Question B5

*Objectif* : évaluer la capacité des candidats à critiquer une gamme d'usinage vis-à-vis des spécifications à respecter.

*Attendus* : identification des spécifications non obtenues après l'usinage d'une seule phase.

*Analyse* : Cette question a été abordée par la moitié des candidats. Les réponses apportées étaient globalement correctes.

### Question B6

*Objectif* : évaluer l'expertise des candidats sur les limites à considérer lors de la mise en place d'une nouvelle production.

*Attendus* : liste des paramètres à identifier pour s'assurer de l'intégrité de la cellule d'usinage avec leur lien avec les phénomènes limitant.

*Analyse* : Cette question a été traitée par très peu de candidats.

#### Question B7

*Objectif* : évaluer la capacité des candidats à lier un défaut de la machine aux défauts générés sur la pièce usinée.

*Attendus* : quantification et qualification des défauts risquant d'être générée sur la pièce usinée.

*Analyse* : La problématique de la question a été globalement bien identifiée par les candidats ayant abordés la question.

#### Question B8

*Objectif* : évaluer l'expertise des candidats vis-à-vis du coût de fabrication d'une pièce sous réserve de l'aptitude du processus.

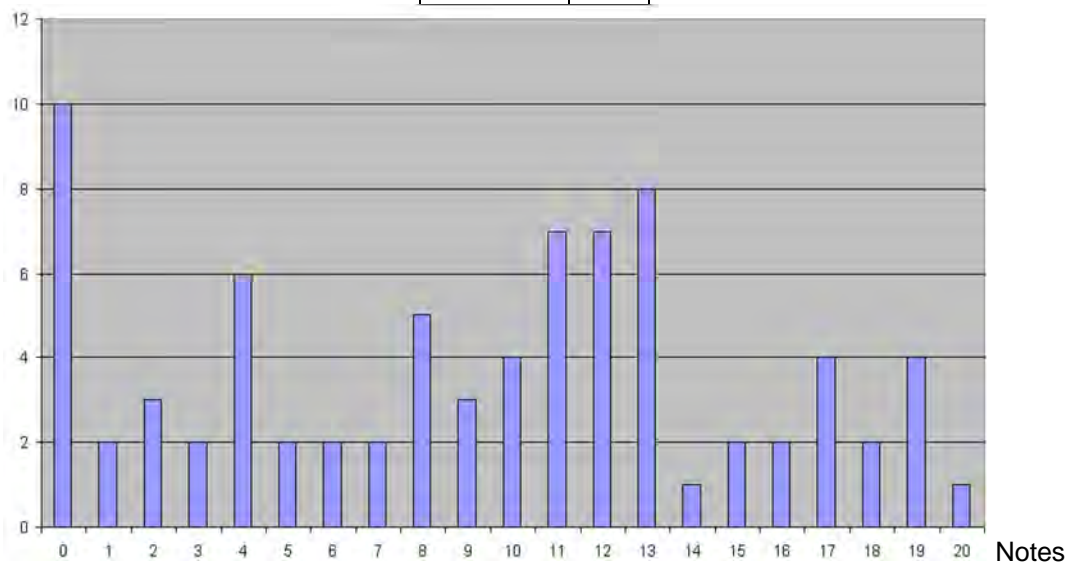
*Attendus* : comparaison des processus actuels et envisagés suivant des critères de qualité, de coût...

*Analyse* : Cette question a été abordée par un tiers des candidats. Très peu de candidats ont pris en compte le coût de la main d'œuvre.

### **Partie C : Industrialisation du col**

#### Résultats obtenus

Min	0,00
Moy	8,68
Max	20
Écart type	5,85



### Question C1

*Objectif* : évaluer les connaissances des candidats sur le frittage laser, procédé de prototypage rapide, et leur capacité à définir le processus d'élaboration d'une pièce brute obtenue par frittage de production.

*Attendus* : description du procédé de frittage laser, du principe physique associé, de la matière d'œuvre de départ, du mode de génération de la pièce et de sa mise en position et de son maintien dans l'espace de travail – description du procédé de frittage de production, définition du principe de l'outillage et étude prévisionnelle de la géométrie de la pièce obtenue.

*Analyse* : Environ, un candidat sur deux a une connaissance très générale du procédé de frittage laser. Les solutions matérielles associées à la génération de la pièce et à sa situation dans l'espace de travail ont été peu abordées. Le frittage de production est mieux connu des candidats. De bonnes réponses ont été apportées à la proposition d'un principe d'outillage d'obtention des pièces. Les candidats ont peu abordé les causes et types de dispersions dimensionnelles et/ou géométriques des pièces obtenues.

### Question C2

*Objectif* : évaluer la capacité des candidats à concevoir un processus prévisionnel d'usinage et à choisir les moyens de production (machines et porte-pièces)

*Attendus* : choisir l'ordre des phases d'usinage, identifier le nombre et la nature des axes numériques des machines-outils nécessaires et définir un montage d'usinage

*Analyse* : Cette étude, a priori simple, n'a été traitée que par une petite moitié des candidats. L'ordre des phases d'usinage est rarement justifié (le critère de choix attendu concerne la prise de pièce). La réalisation de la forme hexagonale dans la deuxième phase simplifie la prise de pièce associée à cette phase. L'étude du principe de ce porte-pièce est rarement abordée et les solutions apportées sont compliquées.

### Question C2

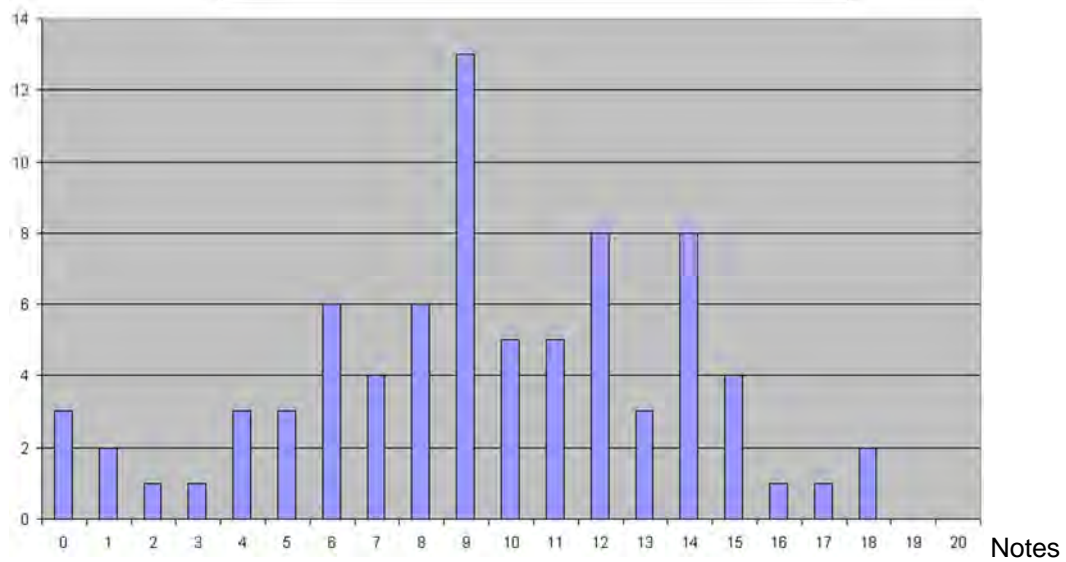
*Objectif* : évaluer la capacité des candidats à décoder des spécifications, à choisir les moyens de leur contrôle et à concevoir et à décrire le processus de ce contrôle.

*Attendus* : choisir un moyen de contrôle de la géométrie d'un profil de type microfiletage, analyser et décoder une spécification de position d'une surface quelconque et concevoir la gamme de contrôle de cette spécification sur machine à mesurer tridimensionnelle.

*Analyse* : Les candidats semblent s'être bien préparés à cet exercice habituel de l'épreuve d'industrialisation. Les résultats sont globalement satisfaisants.

## Résultats globaux sur l'épreuve d'études d'industrialisation

	Partie A	Partie B	Partie C	Global
Min	0,00	0,00	0,00	0,00
Moy	8,33	9,86	8,68	8,96
Max	20	20	20	17,60
Écart type	6,51	4,92	5,85	4,17



SESSION 2011

---

**AGRÉGATION  
CONCOURS EXTERNE**

**Sections : GÉNIE MÉCANIQUE / MÉCANIQUE**

**ÉPREUVE D'ANALYSE ET DE CONCEPTION DES SYSTÈMES**

Durée : 8 heures

---

*Calculatrice électronique de poche – y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

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

**Le sujet comporte :**

- une présentation de l'étude (pages numérotées de 1 à 3)
- le texte de l'étude (pages numérotées de 4 à 17)
- le dossier technique, constitué des documents repérés de DT1 à DT10.
- le dossier réponse contenant les documents repérés de DR1 à DR5.

**Table des documents :**

<b>N°</b>	<b>Nom du document</b>	<b>Format</b>
DT1	Modélisation essieu - rails	A4
DT2	Vues d'ensemble du TRANSLOHR	<b>A3</b>
DT3	Modélisation simplifié du module intermédiaire MI 1	A4
DT4	Vue de dessous du TRANSLOHR	<b>A3</b>
DT5	Modèle de Pacejka	A4
DT6	Résultats de simulations	A4
DT7	Dispositif de guidage	<b>A3</b>
DT8	Dispositif de plaquage / retenue	A4
DT9	Perspective conception	A4
DT10	Vérin à 2 tiges (dispositif de verrouillage)	A4

<b>N°</b>	<b>Nom du document</b>	<b>Format</b>
DR1	Modèle global du TRANSLOHR	A4
DR2	Comportement cinématique du MI	A4
DR3	Démarche de résolution P2.4	A4
DR4	Critères de choix de matériaux	A4
DR5	Porte galets	<b>A3</b>



## LE TRANSLOHR

Pour améliorer les conditions de mobilité urbaine, la société Lohr a conçu et fabriqué un tramway sur pneus : LE TRANSLOHR.



**Figure 1 : Le Translohr**

Cette gamme de tramways contient des innovations majeures : les rames sont légères et entièrement modulaires, peu gourmandes en emprise au sol, et, caractéristique majeure, elles roulent sur pneus.

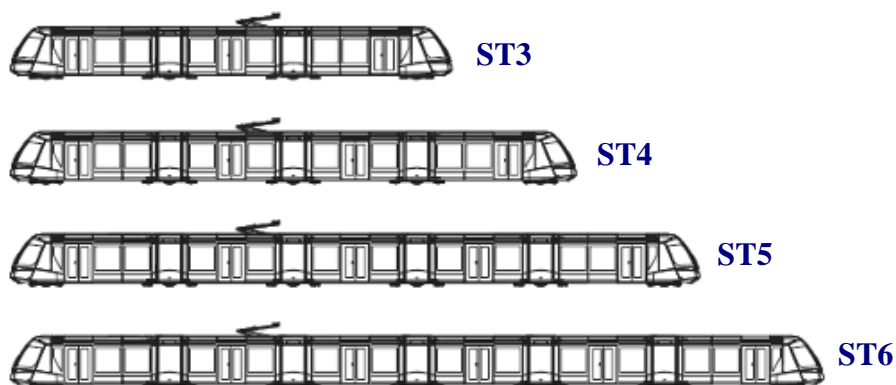
Cette particularité donne au Translohr le plus court rayon de braquage des tramways actuels, lui permet de grimper des pentes fortes et de s'inscrire dans un tissu urbain sinueux en épousant au plus juste la topographie du lieu. Le tram Translohr se contente de chaussées urbaines existantes. Il ne nécessite aucun chantier lourd, puisque son infrastructure se limite à un rail unique à fleur de chaussée.

Le Translohr reprend l'ensemble des caractéristiques qui définissent un tramway moderne :

- ✚ **Guidage permanent** par un rail central, permettant une architecture et une homologation de type ferroviaire.
- ✚ **Grande capacité de transport** : gamme complète de véhicules personnalisables de 3 à 6 modules passagers entièrement communicants, de 25 à 46 mètres, pouvant transporter de 127 à 255 personnes par rame (à 4 personnes/m<sup>2</sup>).
- ✚ **Equipements électriques installés en toiture.**
- ✚ Possibilité de pack **batteries** permettant de circuler sur une partie de ligne **en autonomie**, sans caténaire.
- ✚ **Réversibilité** : une cabine de conduite à chaque extrémité.
- ✚ **Accessibilité** : plancher bas intégral à **25 cm** du sol.

Le pneu, qui remplace le bogie en acier sur le tramway, comporte des avantages déterminants :

- ✚ **Silence de roulement**, surtout dans les courbes, grâce à l'absence du crissement fer sur fer,
- ✚ Hautes performances en insertion, grâce à un **rayon de giration très court** (10,5 m au rail), une **capacité de franchissement de pentes à 13%** et un **gabarit (largeur de voie minimale) limité à 5,40 m** en voie double,
- ✚ **Sécurité dynamique accrue**, avec notamment un freinage de type routier (système ABS sur chaque roue),
- ✚ **Un dimensionnement moindre des infrastructures** et une simplification de leur réalisation.



Modèle		STE3	STE4	STE5	STE6
Vitesse maximale	km/h			70	
Tension d'alimentation nominale	V			750	
Bidirectionnel				oui	
Largeur H.T.	m			2,20	
Hauteur H.T. hors captage	m			2,89	
Niveau du plancher	m			0,25	
Rayon de giration H.T.	m			10,50 au rail	
Gabarit ( <b>largeur de voie minimale</b> )	m			5,40 en voie double	
Essieux moteurs		2	2	Motorisations additionnelles	
Longueur H.T.	m	25	32	39	46
Nombre de modules passagers		3	4	5	6
Nombre d'essieux	Nb	4	5	6	7
Porte (ouverture 1,3mx 1,95m)		2x3	2x4	2x5	2x6
Capacités	4 p/m <sup>2</sup>	127	170	213	255
	6 p/m <sup>2</sup>	178	238	298	345

**Figure 2 : La Gamme**

## Recommandations

L'étude est composée de **3 parties indépendantes**. Cependant, la lecture de l'intégralité du sujet est indispensable à une bonne compréhension du système. Il est proposé au candidat de répartir son temps de travail sur les différentes parties de l'étude de la façon suivante :

- ✚ **Lecture du sujet** : 1 h
- ✚ **Première partie** : 2 h 30
- ✚ **Deuxième partie** : 2 h 30
- ✚ **Troisième partie** : 2 h

**Le candidat devra rendre :**

- ✚ **3 copies séparées correspondant aux 3 parties du sujet ;**
- ✚ **Les documents réponses, qui seront insérés dans la copie afférente à la partie traitée.**

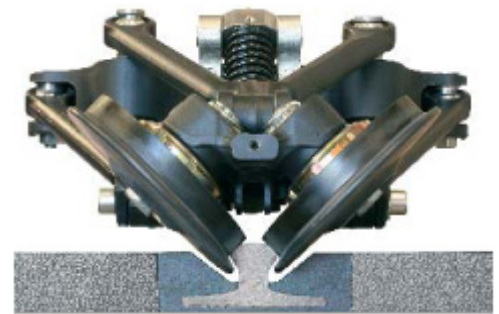
## Objectifs

La création d'un tramway sur pneus a conduit la société LOHR à revoir totalement les solutions classiques que l'on trouve dans les systèmes ferroviaires habituels. En particulier, la société LOHR a conçu un système de guidage par rail central permettant de garantir la précision de la trajectoire.

Chacune des parties traitées dans ce sujet vise soit à valider les solutions techniques retenues par LOHR soit à définir ou concevoir des éléments de solutions spécifiques à ce tramway sur pneus.

En particulier :

- ✚ La partie 1 permettra de vérifier les avantages d'une solution sur pneus relativement à une solution sur rails pour un tramway.
- ✚ La partie 2 permettra de valider le comportement du TRANSLOHR face à des perturbations extérieures comme du vent latéral par exemple.
- ✚ La partie 3 s'intéressera à la définition du système de guidage permettant d'assurer un bon contact galets/rail.



**Figure 3 : Système de guidage**

# 1 PARTIE 1 : ETUDE COMPARATIVE : SOLUTION SUR RAILS - SOLUTION SUR PNEUS

Relativement à un tramway classique sur rail, la solution sur pneus proposée par LOHR permet un plancher plat à 25 centimètres du sol sur l'ensemble de la rame. Cette solution présente les avantages suivants :

- ✚ faciliter l'accès des passagers au tramway,
- ✚ faciliter le déplacement des passagers à l'intérieur de la rame,
- ✚ limiter les risques de chute de quai lorsque le tramway n'est pas présent.

D'autre part, le Translohr est parfaitement adapté aux contraintes urbaines grâce :

- ✚ à un rayon de giration très court (10,5 m au rail),
- ✚ à une capacité de franchissement de 13%,
- ✚ un gabarit dynamique limité à 5,40 m en voie double.

*L'objectif de cette partie est de vérifier certains avantages spécifiques du Translohr.*

Pour cela, nous allons tout d'abord étudier un essieu de train classique afin d'avoir une base de comparaison. Ensuite nous nous intéresserons à la stabilité du Translohr pour finir par vérifier le gabarit annoncé dans la situation la plus défavorable. **Chaque sous-partie est indépendante.**

## 1.1 Etude de la stabilité de guidage d'un essieu de train

Sur un tramway ou un train moderne (TGV), la liaison au sol est assurée par des bogies (Cf **Figure 4**) placés entre les caisses. Chaque bogie comporte 2 essieux qui comportent chacun 2 roues encastrées sur l'essieu. Le profil des roues est donné **Figure 5**.

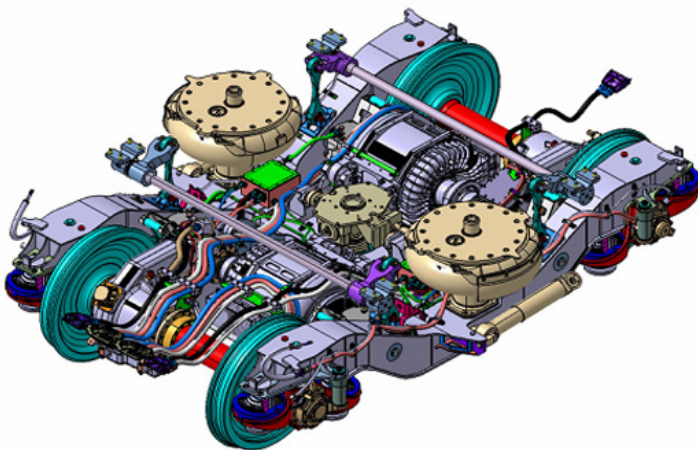


Figure 4 : Bogie de TGV (Source ALSTOM)

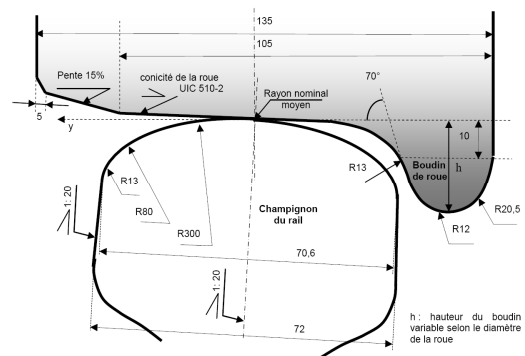


Figure 5 : Profils du champignon du rail et de la table de roulement de roue

Pour assurer la sécurité des passagers et éviter les déraillements, il est indispensable que l'essieu soit stable latéralement sur la voie. **Dans cette partie nous allons vérifier la stabilité d'un essieu de tramway et conclure sur les contraintes techniques que cela impose.**

La modélisation et le paramétrage que nous allons utiliser dans cette partie sont définis sur le **document DT1**. Nous supposons que l'essieu est non motorisé et qu'il se déplace à une vitesse  $V$  constante. La position de l'essieu sur la voie est caractérisée **par l'angle  $\gamma$  et le déplacement latéral  $\delta$**  (Cf **document**

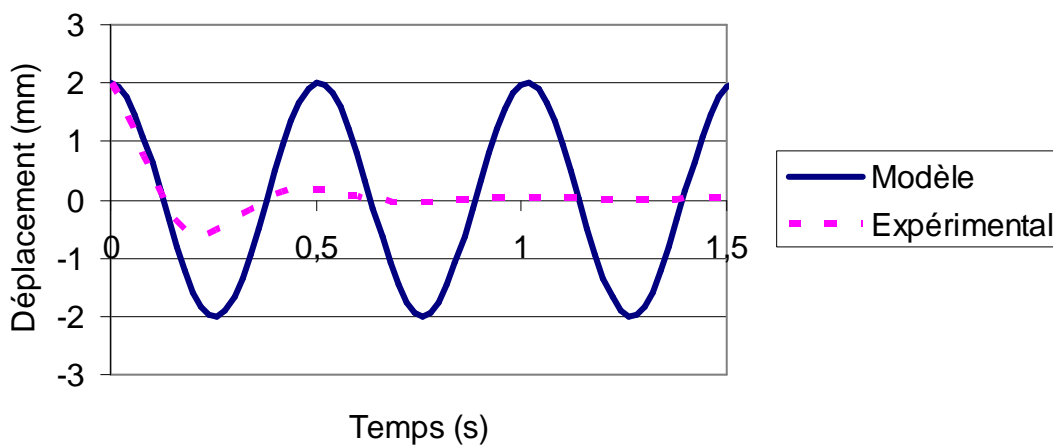
**DT1).** Toutes les hypothèses complémentaires que vous serez amenés à poser devront être clairement explicitées.

A l'instant  $t = 0$ , nous supposons que, sous l'action d'une sollicitation extérieure, l'essieu subit un petit déplacement latéral  $\overrightarrow{O'O} = \vec{\delta} = \delta_0 \vec{y}$  ( $\delta_0 > 0$ ).

- Q1** En vous inspirant de la **vue 2** du **document DT1**, représenter en vue de face, l'essieu dans la configuration  $\gamma = 0$  et  $\delta > 0$ . Indiquer sur votre schéma la position des points A, B (Centres de deux roues) et des points A', B' (points de contacts Roues/Rails) définis sur le **document DT1**.
- Q2** Déterminer dans la configuration  $\gamma = 0$  et  $\delta \neq 0$ , dans la base  $B_1$ , les vecteurs  $\overrightarrow{A'A}$  et  $\overrightarrow{B'B}$  en fonction du déplacement latéral  $\delta$ , de l'angle de conicité des roues  $\alpha$  et du rayon R.
- Q3** Toujours dans la configuration  $\gamma = 0$  et  $\delta \neq 0$ , en supposant qu'il y a roulement sans glissement en A' et B', exprimer dans la base  $B_1$ ,  $\overrightarrow{V_{A \in 1/0}}$  et  $\overrightarrow{V_{B \in 1/0}}$  en fonction des vitesses de rotation  $\omega$  et  $\dot{\gamma}$  de l'essieu, du déplacement latéral  $\delta$  et des différents paramètres géométriques.
- Q4** A partir d'une relations liant  $\overrightarrow{V_{A \in 1/0}}$  à  $\overrightarrow{V_{B \in 1/0}}$  et des résultats précédents, déterminer une relation liant  $\delta$ ,  $\omega$ ,  $\dot{\gamma}$  et les différents paramètres géométriques.

L'angle  $\gamma$  **étant toujours petit**, nous supposons pour le reste de l'étude que les relations obtenues aux questions précédentes restent vraies lorsque  $\gamma \neq 0$ .

- Q5** A partir de la **vue 3** du **document DT1**, dans la configuration  $\gamma \neq 0$  et  $\delta \neq 0$ , déterminer l'expression de  $\dot{\delta} = \overrightarrow{V_{O \in 1/0}} \cdot \vec{y}$  en fonction de V et  $\gamma$ .
- Q6** Montrer, en combinant les équations obtenues aux questions Q4 et Q5, que l'équation différentielle caractérisant l'évolution du déplacement latéral  $\delta$  de l'essieu est de la forme :  $\frac{\ddot{\delta}}{\omega_0^2} + \delta = 0$  avec  $\omega_0 = 12,4$  rad/s (avec les valeurs numériques du **document DT1**).



**Figure 6 : Réponse de l'essieu pour un déplacement latéral de 2 mm**

La Figure 6 présente la solution de l'équation obtenue à la question Q6 ainsi que le déplacement latéral obtenu expérimentalement pour une perturbation initiale  $\delta_0$  de 2 mm.

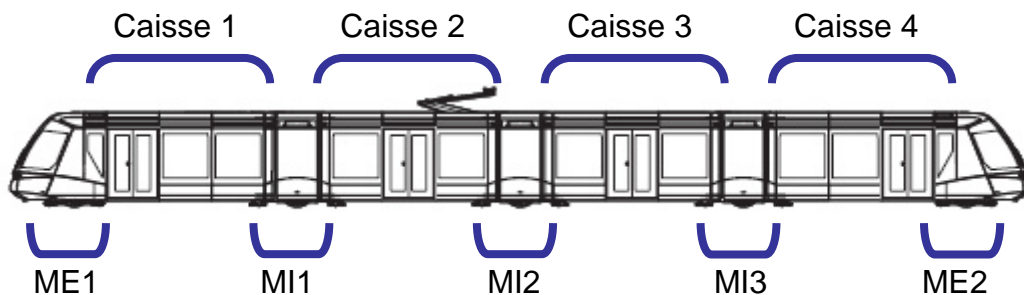
**Q7** Conclure sur la pertinence du modèle proposé et sur l'auto-stabilité de l'essieu.

On souhaite obtenir un plancher plat sur l'ensemble de la rame à 25 centimètres du sol comme pour le Translohr en gardant le même diamètre de roue.

**Q8** Quelles contraintes techniques cela impose t'il et quelles en sont les conséquences ?

## 1.2 Etude de la stabilité de guidage d'un Module Intermédiaire (MI)

Comme nous l'avons fait pour la solution sur rail, nous allons vérifier que la solution proposée par LOHR permet d'assurer l'auto-stabilité latérale de la rame.



**Figure 7 : Structure d'une rame ST4**

Une rame de type **ST4** (Cf **Figure 7**) est constituée de :

- ✚ 4 Caisses,
- ✚ 2 Modules d'Extrémités (**ME**) motorisés (Non étudiés),
- ✚ 3 Modules Intermédiaires (**MI**) porteurs.

Les documents **DT2** et **DT4** présentent une vue d'ensemble des différents éléments constitutifs d'une rame.

Les modules d'extrémités (**ME**) sont motorisés et ont une cinématique différente des Modules Intermédiaires (**MI**). Les modules d'extrémités ne seront pas étudiés dans ce sujet.

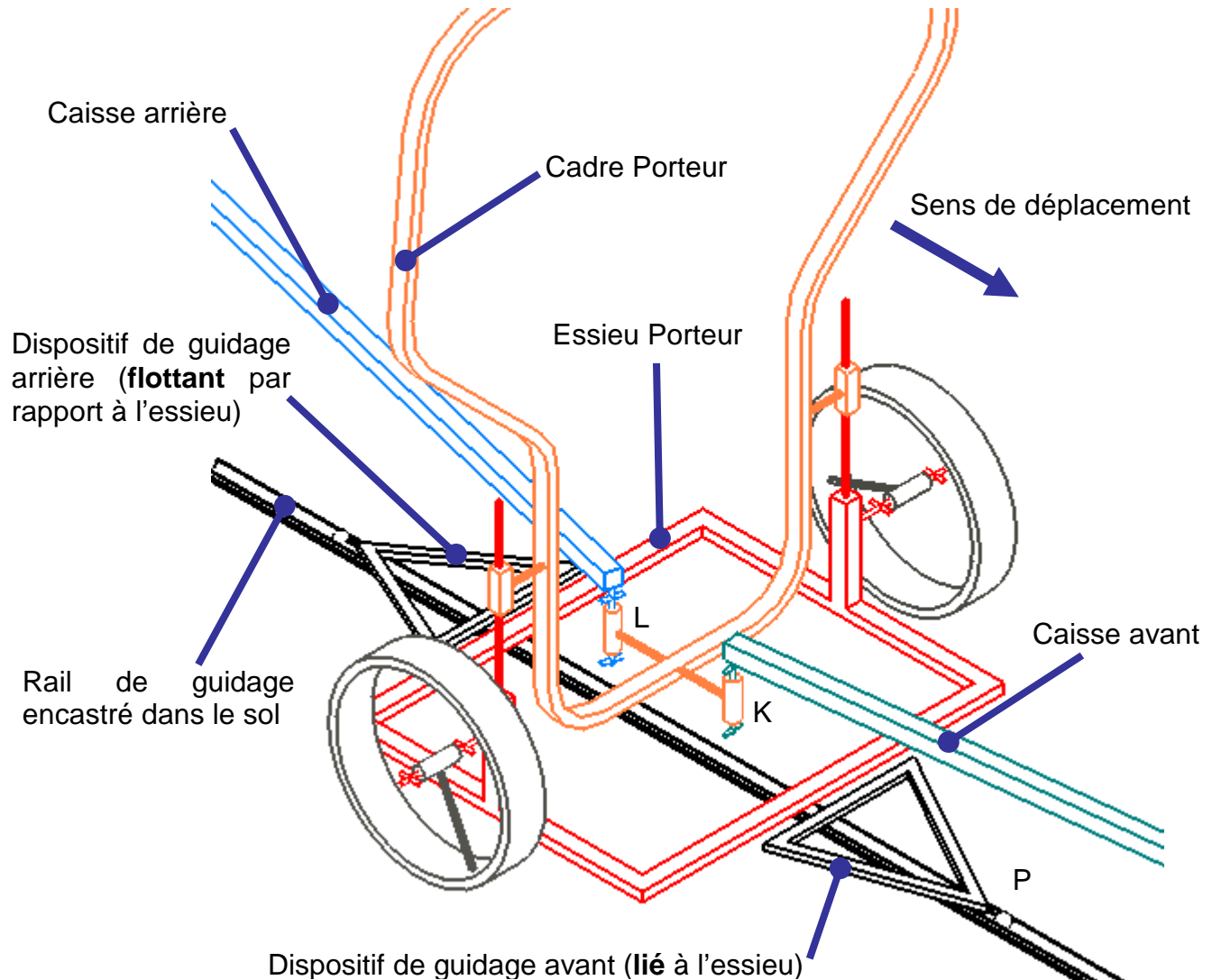
Un module intermédiaire est constitué (Cf documents **DT2** et **Figure 8**) :

- ✚ d'un cadre porteur lié aux caisses par un ensemble de liaisons assimilable en première approximation à deux liaisons pivots verticales (une par liaison Caisse / MI en L et K),
- ✚ d'un essieu porteur (Cf **Vues 1** et **2**, document **DT2**) lié au cadre porteur par un ensemble de liaisons assimilables à une liaison glissière verticale et par un système de suspensions/amortisseurs,
- ✚ de deux dispositifs de guidage (Cf documents **DT2** et **DT7**) disposés symétriquement par rapport à l'axe de l'essieu, assurant l'interface rail / essieu porteur.

Le dispositif de guidage situé **en avant** (relativement au sens de déplacement de la rame) est solidaire de l'essieu porteur (Cf **Figure 8**). La liaison galets/rail (Cf **Figure 3**) est assimilable en première approximation à une liaison linéaire annulaire en P.

Le dispositif de guidage situé **en arrière** est flottant latéralement et ne participe donc pas au guidage du MI. Des dispositifs appelés « dispositifs de verrouillage » (non représentés) permettent de solidariser / désolidariser les dispositifs de guidage en fonction du sens de déplacement de la rame.

Ces dispositifs sont nécessaires pour pouvoir laisser les pneus se mettre en dérive. En exploitation normale, la reprise des efforts latéraux est alors assurée par les pneumatiques et non par les galets de guidage. Exceptionnellement, le dispositif de guidage situé en **arrière** vient se mettre en butée pour assurer la reprise des efforts latéraux en cas de glissement des pneumatiques (verglas par exemple) ou si le Translohr part accidentellement en marche arrière).



**Figure 8 : Schéma cinématique partiel d'un MI**

**Q9** Relativement à la solution classique sur rails, expliquer en quoi la solution proposée par Lohr permet d'abaisser le plancher à 25 cm du sol.

Afin de vérifier la stabilité de la solution de guidage nous allons nous intéresser à un Module Intermédiaire **seul**. Dans cette partie, nous supposons que le rail de guidage est rectiligne, que la route est parfaitement plane et horizontale, qu'il n'y a pas de glissement entre les pneus et la route et que le pneu ne se déforme pas latéralement.

La modélisation et le paramétrage que nous allons utiliser dans cette partie sont définis sur le **document DT3**.

Le Module Intermédiaire est non motorisé et se déplace à une vitesse  $V$  constante. La position du Module Intermédiaire est caractérisée par l'angle  $\gamma$  et le déplacement latéral  $\delta$  (Cf **document DT3**). Toutes les hypothèses complémentaires que vous serez amené à poser devront être clairement explicitées.

A l'instant  $t = 0$  nous supposons que, sous l'action d'une sollicitation extérieure, le Module Intermédiaire subit un petit déplacement latéral  $\vec{\delta} = \delta_0 \vec{y}$ .

- Q10** A partir de la **Vue 1** du **document DT3**, en utilisant une fermeture géométrique, déterminer la relation liant  $\gamma$  à  $\delta$ .
- Q11** En supposant qu'il y a roulement sans glissement en  $A'_1$  et  $B'_1$  (points de contact Roues/Sol) donner, sans faire de calculs, la direction de la vitesse du centre de l'essieu  $\overrightarrow{V_{O_1 \in I/0}}$ . En déduire la relation liant  $\dot{\delta} = \overrightarrow{V_{O_1 \in I/0}} \cdot \vec{y}$ ,  $V$  et  $\gamma$ . Evaluer qualitativement le domaine de validité de ce modèle.
- Q12** Déduire des 2 questions précédentes, l'équation différentielle caractérisant l'évolution du déplacement latéral  $\delta$  du module intermédiaire. Déterminer la solution de cette équation.
- Q13** Quels sont les paramètres influant sur la stabilité du module intermédiaire et conclure sur l'auto-stabilité du module intermédiaire.
- Q14** Que se passe-t-il si le Translohr part accidentellement en marche arrière ? Quelle solution technique a prévu Lohr dans cette situation ?

### 1.3 Vérification du gabarit en courbe du Translohr

Grace à l'utilisation de pneus, le Translohr a un rayon de giration très court de 10,5 m (au rail) ce qui est un avantage déterminant en milieu urbain. Du fait du dispositif employé pour le guidage des modules intermédiaires le Translohr a tendance à se déporter vers l'intérieur du virage.

Dans cette partie, nous allons déterminer la largeur de voie minimale (Gabarit) pour un rayon de giration de 10,5 m, pour que deux rames puissent se croiser.

Comme pour la partie précédente, nous supposerons qu'il n'y a pas de glissement entre les pneus et la route et que le pneu ne se déforme pas latéralement. La modélisation et le paramétrage que nous allons utiliser dans cette partie sont définis sur les **documents DT3 et DT4**. Dans cette partie, la rame est sur une partie courbe de rayon **Rc** (Cf **document DT4**) et **occupe une position stable sur la voie**.

- Q15** Caractériser la position d'un module intermédiaire relativement au rail de guidage. Proposer un schéma en vue de dessus représentant le module intermédiaire en situation et faites apparaître les paramètres nécessaires au calcul du déport de voie  $|\delta|$ .
- Q16** En déduire l'expression du déport de voie  $|\delta|$  en fonction du rayon **Rc**.
- Q17** Déterminer les rayons **Ri** et **Re** (Cf **document DT4**) limitant le gabarit pour une voie en fonction de **Rc**,  $\delta$  et des paramètres géométriques. On pourra supposer  $e \ll L_v$ .
- Q18** Pour un rayon de giration **Rc** de 10,5 m de la voie intérieure, déterminer le gabarit global **en voie double** et comparer au 5,4 m annoncé. En cas de non respect des 5,4 m, proposer des compromis compatibles avec le milieu urbain.



## 2 PARTIE 2 : VALIDATION DU COMPORTEMENT DU TRANSLOHR

La création d'un nouveau type de tramway nécessite de valider son comportement dans différentes situations. En particulier, il est nécessaire de prévoir son comportement dans les situations suivantes :

- ✚ Présence de défauts ou obstacles sur la voie,
- ✚ Perte d'adhérence des pneumatiques (Verglas par exemple),
- ✚ Croisement de rames,
- ✚ Fort vent latéral.

Pour cela, on a recourt à l'expérimentation et à la simulation.

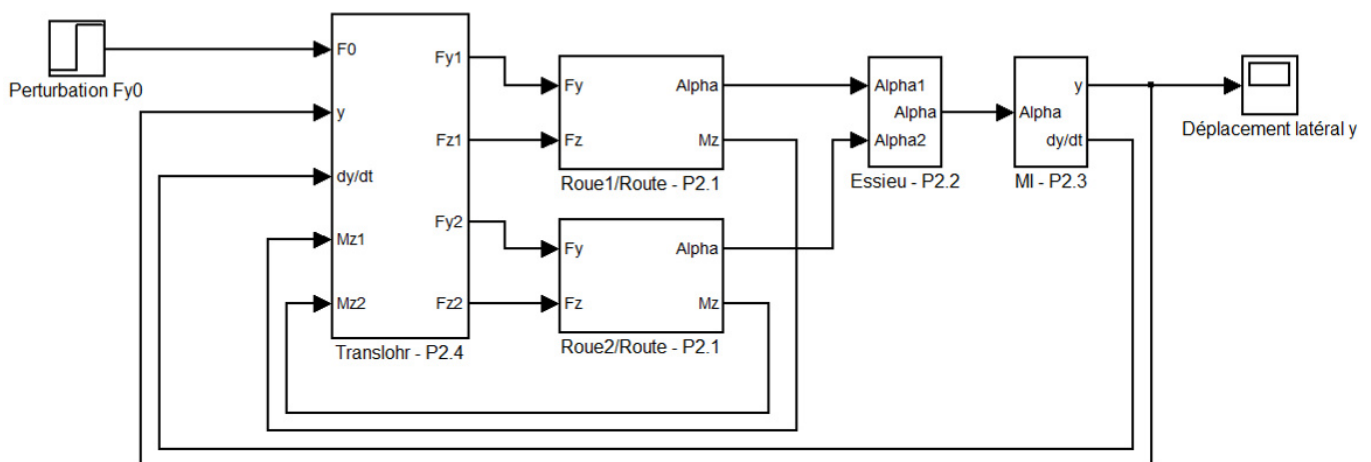
*Dans cette partie, nous allons nous attacher à définir un modèle du Translohr exploitable numériquement, permettant de simuler et valider le comportement de celui-ci.*

En particulier nous allons étudier **les effets d'un effort latéral sur le comportement de la rame** (Effort lié au vent, surpression lors du croisement d'une rame...).

La **Figure 9** présente une vue générale du modèle que nous allons construire.

Ce modèle permet de simuler le déplacement latéral  $\delta$  (Cf **documents DT3** et **DT4**) d'un module intermédiaire (variable  $y$  sur la **Figure 9**) face à une perturbation latérale ( $Fy_0$  sur la **Figure 9**).

- ✚ Les blocs P2.1 traduisent le comportement des pneus sur la route (Etudié dans la **partie 2.1**).
- ✚ Le bloc P2.2 traduit le comportement cinématique de l'essieu (Etudié dans la **partie 2.2**).
- ✚ Le bloc P2.3 traduit le comportement en suivi de trajectoire d'un module intermédiaire (Etudié dans la **partie 2.3**).
- ✚ Le bloc P2.4 traduit le comportement dynamique du Translohr (Etudié dans la **partie 2.4**).



$F_x, F_y, F_z$  : Résultante (Route / Pneu) en N

$M_z$  : Moment (Route / Pneu) d'auto-alignement en Nm

$y$  : déplacement latéral en mm

$F_{y0}$  : perturbation latérale en N

$\alpha$  : Angle de dérive du pneu en rd

**Figure 9 : Modèle global du Translohr**

Les variations du déplacement latéral  $\delta$  d'un module intermédiaire engendrent en particulier :

- ✚ Des accélérations latérales que ressentent les passagers,
- ✚ Un mouvement de lacet (Rotation autour de  $(O_1, \bar{z})$ ) du module intermédiaire (Cf **document DT3**) qui engendre des mouvements de caisses perturbants pour les passagers (Les caisses constituant la rame ne sont plus bien alignées sur la route. La rame prend la forme d'un « S » au lieu d'être bien rectiligne. Cf **Figure 16**),
- ✚ Des efforts importants dans la liaison Galets/Rail qui peuvent conduire à une usure prématurée des éléments de guidage.

Les paramètres sur lesquels nous pouvons agir afin de limiter les variations du déplacement latéral  $\delta$  sont en particulier :

- ✚ La distance  $d$  positionnant le centre de la liaison Galets/Rail relativement à l'axe des roues,
- ✚ La présence ou non d'un système antilacet (vérin amortisseur) que nous modéliserons par un frottement visqueux dans les articulations MI/Caisses en L et K (coefficient de frottement visqueux  $f_v$  en Nm/(rd/s)) (Cf **document DT4**).

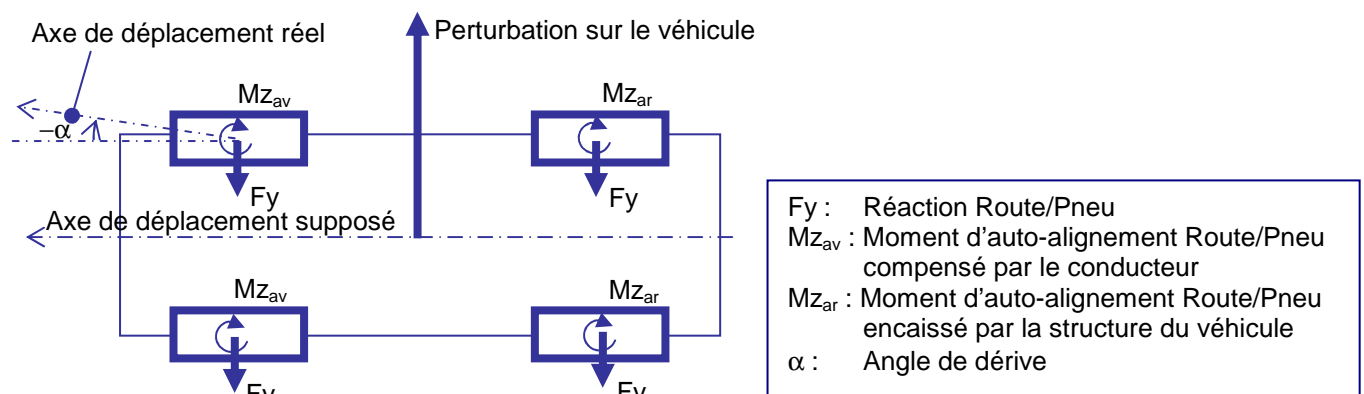
Les parties 2.1, 2.2, 2.3 et 2.4 vont nous permettre de définir les différents modèles du schéma bloc de la **Figure 9**. La partie 2.5 nous permettra, à partir de résultats de simulation, de conclure vis à vis des choix constructifs à effectuer (Distance  $d$  optimale et présence ou non de vérins amortisseurs antilacets).

**Chaque sous-partie est indépendante à l'exception de la partie 2.4.1 qui utilise les résultats des parties précédentes.**

## 2.1 Modélisation du contact pneu-route

Le modèle utilisé dans la partie 1 (Roulement sans glissement) pour traduire le comportement du pneu sur la route n'est pas suffisamment précis. En effet, le modèle de roulement sans glissement ne tient pas compte de l'influence des efforts appliqués sur le pneu.

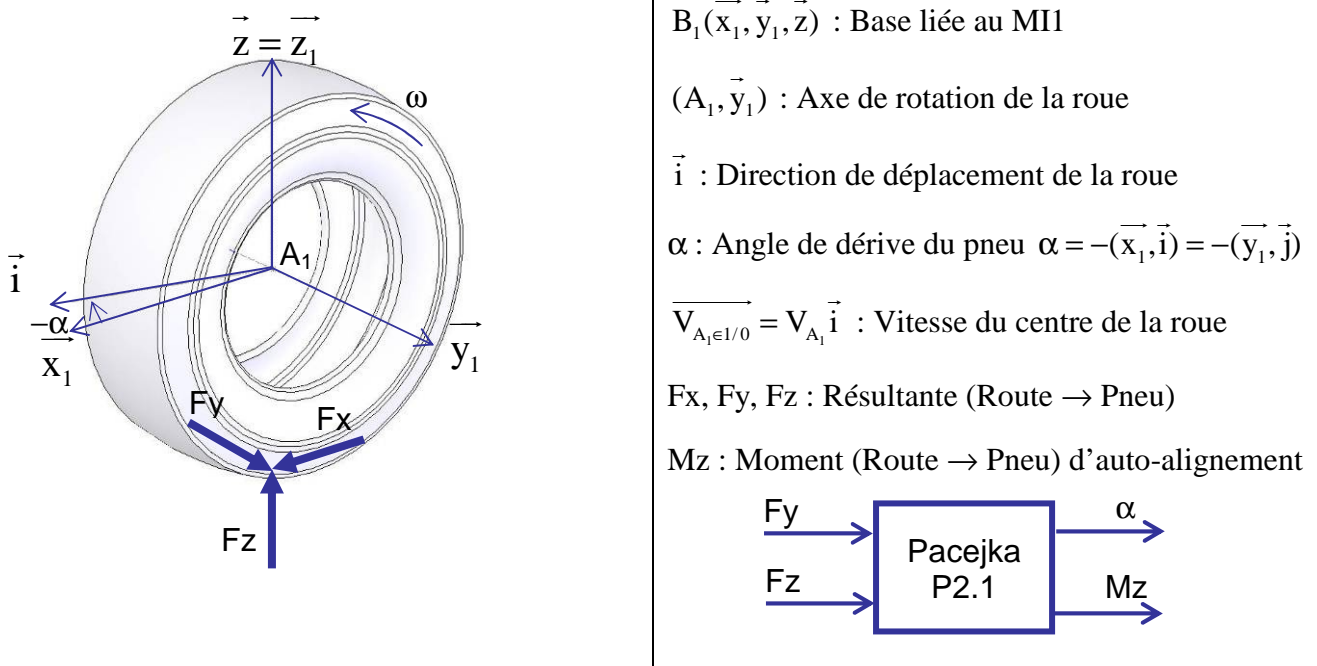
En pratique, un effort latéral  $F_y$  appliqué sur un pneu provoque une déformation de celui-ci, qui engendre simultanément un déplacement latéral de la roue. Parallèlement, la déformation du pneu engendre un moment autour de l'axe vertical (appelé moment d'auto-alignement  $M_z$ ) qui a tendance à aligner la roue avec sa direction de déplacement réel.



**Figure 10 : Exemple d'une automobile soumise à une perturbation latérale telle le vent**

Dans l'exemple présenté **Figure 10** d'une automobile soumise à une perturbation latérale telle le vent, si le conducteur ne veut pas être dévié sur la droite, il va falloir qu'il compense la perturbation en tournant son volant légèrement à gauche.

Un des modèles couramment employé pour les véhicules sur pneus est le modèle de Pacejka. Il s'agit d'un modèle de comportement très réaliste puisque les équations sont une interpolation de résultats expérimentaux effectués sur un banc d'essai. Le glissement latéral du pneu est introduit sous la forme d'un angle de dérive  $\alpha$  (Cf **Figure 10** et **Figure 11**).



**Figure 11 : Modèle de Pacejka**

L'angle de dérive  $\alpha$ , est l'angle entre la vitesse de déplacement du centre de la roue  $A_1$  et le plan médian de la roue  $(A_1, \vec{x}_1, \vec{z}_1)$ . L'angle de dérive  $\alpha$  dépend des composantes de la résultante de la route sur le pneu  $F_y, F_z$ , du pneu et de la route. L'angle de dérive  $\alpha$ , qui caractérise la déformation du pneu, permet de quantifier le moment d'auto-alignement  $M_z$  ayant tendance à ramener le plan médian du pneu  $(A_1, \vec{x}_1, \vec{z}_1)$  parallèle à la vitesse de déplacement  $\vec{V}_{A_1 \in I/0} = V_{A_1} \vec{i}$  du centre de la roue.

Les relations  $\alpha = f(F_y, F_z)$  et  $M_z = f(\alpha, F_z)$  sont obtenues expérimentalement pour un couple pneu / route donné (Cf **document DT5**).

Sachant que, la vitesse de passage en courbe d'une rame est limitée afin de limiter l'accélération centripète à  $1 \text{ m/s}^2$  et que la charge statique sur chaque roue est d'environ  $40000 \text{ N}$ ,

**Q19** Estimer à l'aide modèle très simple et des données du tableau **Figure 15**, l'effort  $F_{y_{\max}}$  supporté par chaque roue. En déduire à partir de la **Courbe 1** du **document DT5**, les valeurs extrêmes de l'angle de dérive du pneu  $\alpha$ .

**Q20** En justifiant vos hypothèses, déduire les relations  $\alpha = f(F_y)$  et  $M_z = f(\alpha)$ . Compléter le **document réponse DR1** en inscrivant les relations obtenues dans le cadre correspondant.

## 2.2 Comportement cinématique d'un essieu

Dans cette partie, on suppose que le Centre Instantané de Rotation  $I_{1/0}$  du Module Intermédiaire par rapport à la route est connu.

- Q21** Tracer sur le **document réponse DR2**, la direction de la vitesse du centre de la roue  $A_1$ , la direction de la vitesse du centre de la roue  $B_1$  et la direction de la vitesse  $\vec{V}_{O_1 \in 1/0}$ . Placer les angles de dérives  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  liés respectivement aux roues  $A_1$  et  $B_1$ .

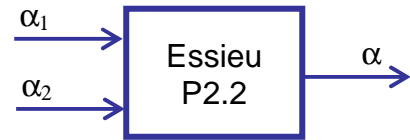


Figure 12 : Modèle P2.2

Soit  $\alpha$ , l'angle entre  $\vec{V}_{O_1 \in 1/0}$  et le plan  $(O_1, \vec{x}_1, \vec{z})$  que nous appellerons **angle de dérive global du MI**.

Pour la suite de l'étude, nous retiendrons le modèle suivant pour la définition de  $\alpha$  :  $\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$ .

- Q22** Placer  $\alpha$  sur le **document réponse DR2**. Compléter le **document réponse DR1** en inscrivant la relation obtenue dans le cadre correspondant. Critiquer le modèle retenu.

## 2.3 Modélisation du suivi de trajectoire

Pour la suite de l'étude, nous supposons que le comportement cinématique du MI dépend uniquement des vitesses  $\vec{V}_{O_1 \in 1/0}$  et  $\vec{V}_{P_1 \in 1/0}$ . On rappelle que la direction de  $\vec{V}_{O_1 \in 1/0}$  est définie par l'angle  $\alpha$  (« angle de dérive globale » entre  $\vec{V}_{O_1 \in 1/0}$  et le plan  $(O_1, \vec{x}_1, \vec{z})$ ,  $\alpha = (\vec{V}_{O_1 \in 1/0}, \vec{x}_1)$ ).

- Q23** A partir du paramétrage défini sur le **document DT3**, et de la direction de  $\vec{V}_{O_1 \in 1/0}$  déterminer la relation liant  $\dot{\delta} = \vec{V}_{O_1 \in 1/0} \cdot \vec{y}$ ,  $V$ ,  $\gamma$  et  $\alpha$ .

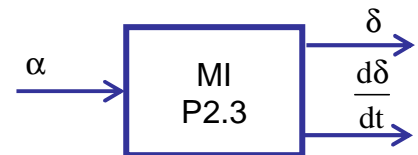


Figure 13 : Modèle P2.3

Sachant que **gamma et alpha restent petit** ;

- Q24** En utilisant la relation déterminée à la question **Q10**, déterminer l'équation différentielle du premier ordre caractérisant l'évolution du déplacement latéral  $\delta$  du module intermédiaire en fonction de la vitesse  $V$ , de la distance  $d$  et l'angle de dérive globale  $\alpha$ . Compléter le **document réponse DR1** en inscrivant la relation obtenue dans le cadre correspondant.

## 2.4 Modélisation dynamique du translohr

A partir des résultats des questions précédentes et d'une étude dynamique (Cf **Figure 14**) nous allons étudier les effets d'un effort latéral dû au vent sur le comportement de la rame **en ligne droite**.

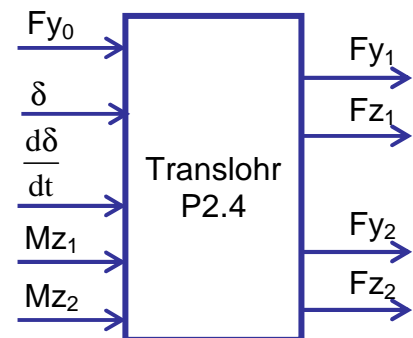


Figure 14 : Modèle P2.4

Sachant que :

- ✚ la surface projetée  $S$  des caisses par essieu est de  $21 \text{ m}^2/\text{essieu}$ ,
- ✚ le  $C_x$  des caisses est égal à 1,
- ✚ la masse volumique  $\rho$  de l'air à  $15^\circ$  est de  $1,295 \text{ kg/m}^3$

**Q25** Pour une vitesse de vent  $v$  de  $120 \text{ km/h}$ , calculer l'effort latéral  $F_{y_0}$  s'appliquant par caisse ( $F_{y_0} = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot C_x$ ).

Compte tenu de l'accélération latérale limitée à  $1 \text{ m/s}^2$ , nous supposons que les équations établies à la question **Q20** sont indépendantes de la composante  $F_z$  de l'action de la route sur la roue. On a alors :  $F_y = C_{F_y} \cdot \alpha$  et  $M_z = C_{M_z} \cdot (\alpha - \alpha_0)$  avec  $C_{F_y} = 256,8 \text{ kN/rad}$ ,  $C_{M_z} = -8992 \text{ Nm/rad}$  et  $\alpha_0 = 0,007 \text{ rad}$  où  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  représentent les composantes de la résultante (Route / Pneu) et  $M_z$  le moment (Route / Pneu) d'auto-alignement.

Libélé	Variable	Valeur
Masse d'une caisse (Centre de gravité $G_k$ )	$M_c$	6500 kg
Masse d'un module intermédiaire (Centre de gravité $O_i$ )	$M_m$	1758 kg
Moment d'inertie principal d'une caisse $k$ relatif à l'axe ( $G_k, \bar{z}$ ) ( $G_k$ est au milieu de $[K_k ; L_{k-1}]$ , Cf Document DT4)	$I_{c_k}$	$1,95 \times 10^4 \text{ kg.m}^2$
Moment d'inertie principal d'un MI $i$ relatif à l'axe ( $O_i, \bar{z}$ )	$I_{m_i}$	$7 \times 10^2 \text{ kg.m}^2$
Raideurs d'articulations en L et K	$K_{r_z}$	19,1 Nm/rad
Frottement visqueux équivalent dans les articulations en L et K dû aux vérins antilacets	$f_v$	en Nm/(rad/s)

**Figure 15 : Données de masses et d'articulations**

### 2.4.1 Approche simplifiée

Cette première approche va nous permettre, en simplifiant les calculs, de déterminer les principaux paramètres influant sur le comportement dynamique de la rame.

**Pour cette étude nous allons étudier l'ensemble (Caisse 2 + MI 2 + Caisse 3).**

Nous supposons **dans cette partie 2.4.1** que :

- ✚ La rame est sur une portion droite,
- ✚  **$K_2$ ,  $L_2$  et  $O_2$  sont confondus** (Cf document DT4),
- ✚ Les efforts route/ roue sont égaux sur les 2 roues du MI,
- ✚ Les moments d'auto-alignement sont nuls,
- ✚ Les caisses restent constamment parallèles à l'axe du rail,
- ✚ Il n'y a **ni frottement ni raideur dans les articulations**,
- ✚ L'effort latéral du rail de guidage sur les galets  $F_{y_g}$  est négligeable devant les autres efforts mis en jeu ( $F_{y_g} = 0$ ).

Nous admettons que ces hypothèses reviennent à modéliser le Translohr comme **un module intermédiaire seul** de masse  $M_c + M_m$  sur lequel serait appliquée la perturbation  $F_{y_0}$ .

**Q26** En utilisant les données de la **Figure 15** le paramétrage du **document DT3**, déterminer l'équation dynamique reliant  $\ddot{\delta}_2$ ,  $F_y$ , et  $F_{y_0}$ . En combinant cette équation aux équations obtenues précédemment, déterminer l'équation différentielle régissant l'évolution du déplacement latéral de l'essieu  $\delta_2$  soumis à une perturbation  $F_{y_0}$  (échelon).

**Q27** Mettre cette équation sous forme canonique et déterminer la pulsation propre  $\omega_0$  et l'amortissement  $\xi$ . Conclure sur l'incidence des différents paramètres sur le comportement dynamique du Translohr. A ce stade de l'étude, quelles préconisations techniques qualitatives pouvez vous faire afin d'améliorer le comportement du Translohr ?

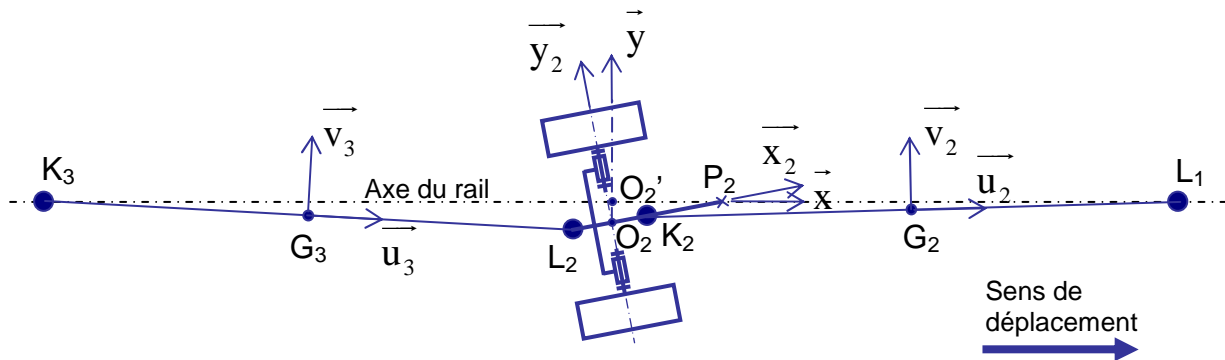
### 2.4.2 Approche complète pour simulation numérique

L'approche simplifiée nous a permis de dégager les paramètres principaux influençant le comportement du Translohr. Afin de valider les choix constructifs, il est nécessaire d'obtenir un modèle précis nous permettant de quantifier, entre autres, l'incidence de la longueur  $d$  du dispositif du guidage sur la stabilité et les efforts de guidage galets/rail.

**Pour cette étude nous allons étudier l'ensemble (Caisse 2 + MI 2 + Caisse 3).**

Nous supposons **dans cette partie 2.4.2** que :

- ✚ La rame est sur une portion droite,
- ✚ Les points extrêmes de l'ensemble étudié restent à la verticale du rail de guidage (Points  $L_1$  et  $K_3$ ),
- ✚ La perturbation  $F_{y_0}$  s'applique intégralement en  $O_2$ ,
- ✚ Les articulations en  $L_1, K_2, L_2, K_3$  **sont avec raideur et frottement visqueux** (Cf **Figure 15**),
- ✚ Etant donné le modèle retenu à la partie 2.3, nous considérerons que les efforts de la route sur les deux roues sont identiques.



**Figure 16 : Schéma en vue de dessus de la configuration étudiée**

**Q28** En supposant  $\beta_2, \gamma_2, \beta_3$  petit (Cf **document DT4** représentant le translohr en **vue de dessous**), à l'aide de fermetures géométriques, déterminer les relations  $\gamma_2 = f(\delta_2)$ ,  $\beta_2 = f(\delta_2)$  et  $\beta_3 = g(\delta_2)$ .

**Q29** Sans faire **aucun calcul**, proposer **une démarche de résolution** permettant de déterminer les actions de la route sur les roues en fonction des variables d'entrée définies **Figure 14**. Pour chaque isolement on prendra soin de définir l'ensemble isolé,

le bilan des actions mécaniques extérieures, l'équation à utiliser et les variables obtenues à l'issue de l'isolement.

**Q30** Compléter le **document réponse DR3** représentant graphiquement les équations issues de votre démarche. Chaque bloc de ce document doit représenter une équation conformément à l'exemple donné.

## 2.5 Exploitation et analyse des résultats

Les résultats de simulations du modèle défini précédemment sont représentés sur le **document DT6**. Ces simulations représentent la réponse à un échelon  $Fy_0$  (Rafale de vent latéral à 120 km/h) pour 4 configurations différentes. On cherche à minimiser les efforts de guidage Rail / Galet afin de limiter l'usure tout en assurant un maximum de confort au passager.

**Q31** Analyser les résultats de simulations et proposer une analyse comparative conduisant à des préconisations techniques concernant la distance  $d$  et la présence ou non d'un système antilacet.

### 3 PARTIE 3 : DEFINITION DU SYSTEME DE GUIDAGE

Le guidage d'un MI est assuré par de deux dispositifs de guidage (Cf **document DT 7**) disposés symétriquement par rapport à l'axe de l'essieu, assurant l'interface rail / essieu porteur. Le dispositif situé en avant de l'essieu dans le sens de la marche est solidaire de l'essieu porteur. Celui situé derrière peut se déplacer latéralement (Amplitude limitée).

L'organe de guidage lié au rail est composé de deux galets à axes inclinés (Cf **vue 3, document DT 7**). L'inclinaison des axes de rotation et la forme adaptée des jantes des galets rendent le système indéraillable en conditions normales d'exploitation. En effet, la distance libre entre les deux extrémités des **mentonnets 21** est inférieure à la largeur de la tête du rail. L'organe de guidage ne peut donc pas s'échapper du rail.

Les galets sont plaqués sur le rail grâce à un ressort de plaquage (Cf **documents DT 7 et DT8**). L'axe de retenue permet de limiter le débattement vertical du dispositif de guidage.

*L'objet de cette partie est de définir et dimensionner certains éléments du dispositif de guidage.*

#### 3.1 Détermination du ressort de plaquage

Les performances du dispositif de guidage sont les suivantes :

- ✚ Charge latérale normale de pilotage  $F_{yg}$  : 140 daN,
- ✚ Charge latérale exceptionnelle de retenue  $F_{y_{ex}}$  : 3 400 daN.

En fonctionnement normal, les contacts galets /rail se font uniquement par les bandes de roulement 20. Les mentonnets 21 ne participent pas au guidage (Cf **Vue 3 du document DT7**).

- Q32** A partir de la **Vue 3** du **document DT7**, déterminer la charge verticale minimale d'un galet sur le rail  $F_{zg}$  associée à la charge latérale normale de pilotage  $F_{yg}$ .
- Q33** En justifiant clairement la méthode utilisée, à partir de  $F_{zg}$ , déterminer l'effort minimal que doit fournir le ressort de plaquage (Cf **documents DT7 et DT8**).

#### 3.2 Dimensionnement de l'axe de retenue 5 (Cf DT7 et DT8)

La force verticale d'arrachement par couple de galets en statique est de 5 000 daN.

Le choix du matériau est établi à partir de renseignements stockés dans des bases de données. Combinées, elles permettent la réalisation de graphes à double entrée qui mettent en évidence des domaines par famille de matériaux. Chaque entrée correspond à une propriété particulière des matériaux répondant aux besoins fonctionnels objectifs.

Afin de préparer une recherche de matériau faisant appel à des bases de données :

- Q34** Entourer sur le document **DR4** les critères intervenant dans le choix du matériau de l'axe de retenue. Pour chaque critère retenu, entourer la ou les limites à renseigner (Mini, Maxi ou les deux). Justifier sur votre copie le choix de ces critères et indiquer au besoin des critères supplémentaires à considérer.



- Q35** Proposer un mode de réalisation, les traitements éventuels ainsi que les essais à réaliser pour valider le comportement du matériau retenu relativement aux fonctions de la pièce.
- Q36** Calculer la limite élastique minimale du matériau de l'axe de retenue, en justifiant clairement la méthode utilisée.

### 3.3 Spécifications du porte galets (Cf DT7)

Le *Porte Galets* 3 est positionné relativement à la *Traverse Flottante* 0 par le *Bras Supérieur* 1 et le *Bras Inférieur* 2. Les liaisons en E, F, G et H sont assimilables à des rotules. La liaison en C est assimilable à un pivot glissant d'axe  $(C, \vec{y})$ . Enfin la liaison entre le *Porte Galets* 3 et le *Bras Inférieur* 1 est assimilable globalement à un pivot d'axe (AB).

- Q37** Calculer le degré d'hyperstatisme du mécanisme de guidage. En déduire les contraintes géométriques à imposer aux différentes pièces constituant le mécanisme.
- Q38** Sur le **document réponse DR5**, porter les spécifications liées au positionnement du *Porte Galets* issues de l'analyse précédente (Les valeurs numériques des tolérances ne sont pas demandées).

### 3.4 Conception du système de débrayage du système de guidage

Des dispositifs appelés « dispositifs de verrouillage » permettent d'activer l'organe de guidage situé en avant de l'essieu dans le sens de la marche en solidarissant dispositif de guidage et essieu, et de laisser un jeu latéral à l'organe de guidage situé derrière. Ils peuvent se présenter sous la forme de vérins à deux tiges (Cf **document DT10**) boulonnés sur les traverses des essieux porteurs (Cf **document DT9**). Les déplacements latéraux du dispositif de guidage par rapport à l'essieu porteur sont fonction de l'état du dispositif de verrouillage.

L'objet de cette partie est de concevoir le dispositif permettant :

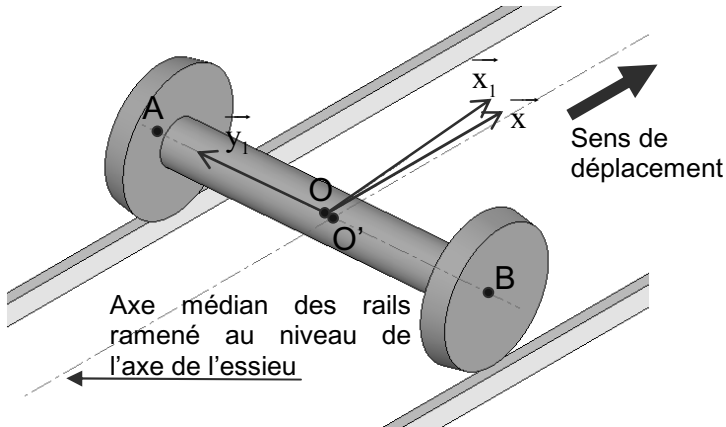
- ✚ De solidariser la traverse flottante 0 du système de guidage (Cf **document DT7**) à la traverse de l'essieu porteur (Cf **documents DT2 et DT4**) lorsque le dispositif de guidage se situe en avant de l'essieu,
- ✚ De rendre « libre » en débattement latéral par rapport à l'essieu le dispositif de guidage lorsque celui-ci se situe en arrière de l'essieu.

Ce dispositif doit présenter deux butées, entre lesquelles la traverse flottante peut débattre latéralement lorsque le « dispositif de verrouillage » est passif. Dans cette configuration la traverse flottante est « libre » en débattement latéral par rapport à l'essieu. En fonctionnement nominal, il existe toujours un jeu entre ces butées, par contre en cas d'efforts exceptionnels, verglas par exemple, les essieux sont maintenus en trajectoire par les guidages avant et arrière. La traverse flottante avant est maintenue par le « dispositif de verrouillage » et la traverse flottante arrière est appuyée sur une des butées.

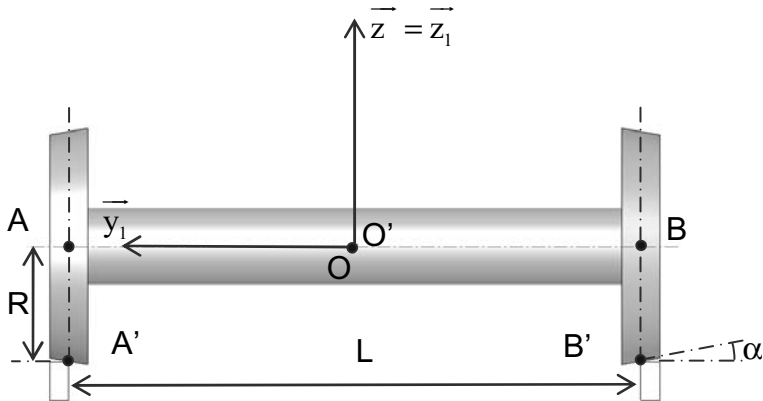
- Q39** Proposer sous forme de croquis, schémas légendés, deux propositions de solutions technologiques. Vous pouvez utiliser le vérin à 2 tiges proposé **document DT10** ou toute autre système que vous décrierez précisément.

# Dossier Technique

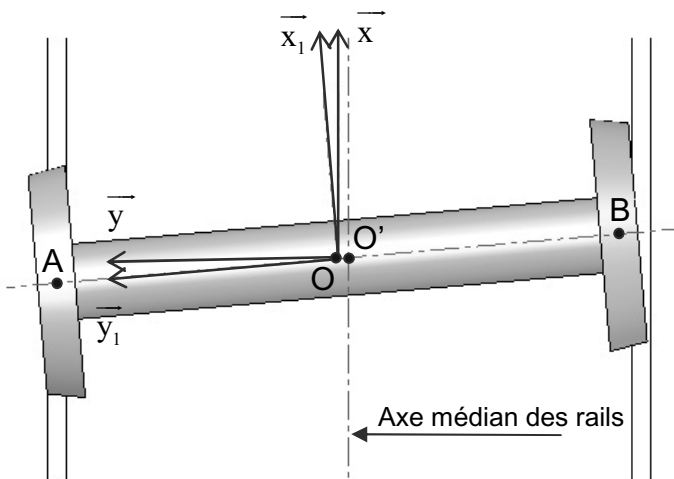
# DT1 : MODELISATION ESSIEU - RAILS



**Vue 1 :** Représentation isométrique ( $\gamma \neq 0$  et  $\delta \neq 0$ )



**Vue 2 :** Vue de face ( $\gamma = 0$  et  $\delta = 0$ )



**Vue 3 :** Vue de dessus ( $\gamma \neq 0$  et  $\delta \neq 0$ )

**Remarque :** Afin de simplifier les calculs, la section du rail est supposée rectangulaire.

## Paramétrage

$B(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  : Base liée aux rails

$B_1(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  : Base liée au bogie

$\gamma = (\vec{x}, \vec{x}_1) = (\vec{y}, \vec{y}_1)$  : Angle de rotation de l'essieu autour de l'axe vertical.

O : Centre de l'essieu 1

O' : Projection orthogonale de O sur le plan médian des rails

$\vec{O'O} = \delta \vec{y}$  : Déplacement latéral de l'essieu par rapport au plan médian des rails

A, B : Centres des deux roues liées à l'essieu 1.  $\vec{OA} = \frac{L}{2} \vec{y}_1 = -\vec{OB}$

A', B' : Points de contact Roues/Rails (à la verticale des points A et B lorsque  $\gamma = 0$  et  $\delta = 0$ , Cf Vue 2)

L : Espace entre les 2 rails.  
 $L = \|\vec{AB}\|$

R : Rayon des roues à la verticale de A et B

$\alpha$  : Angle de conicité des roues

V : Vitesse de déplacement du centre O de l'essieu ;  
 $\vec{V}_{O \in I/0} = V \vec{x}_1$

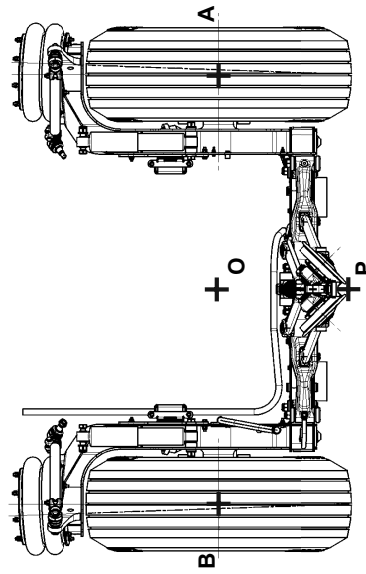
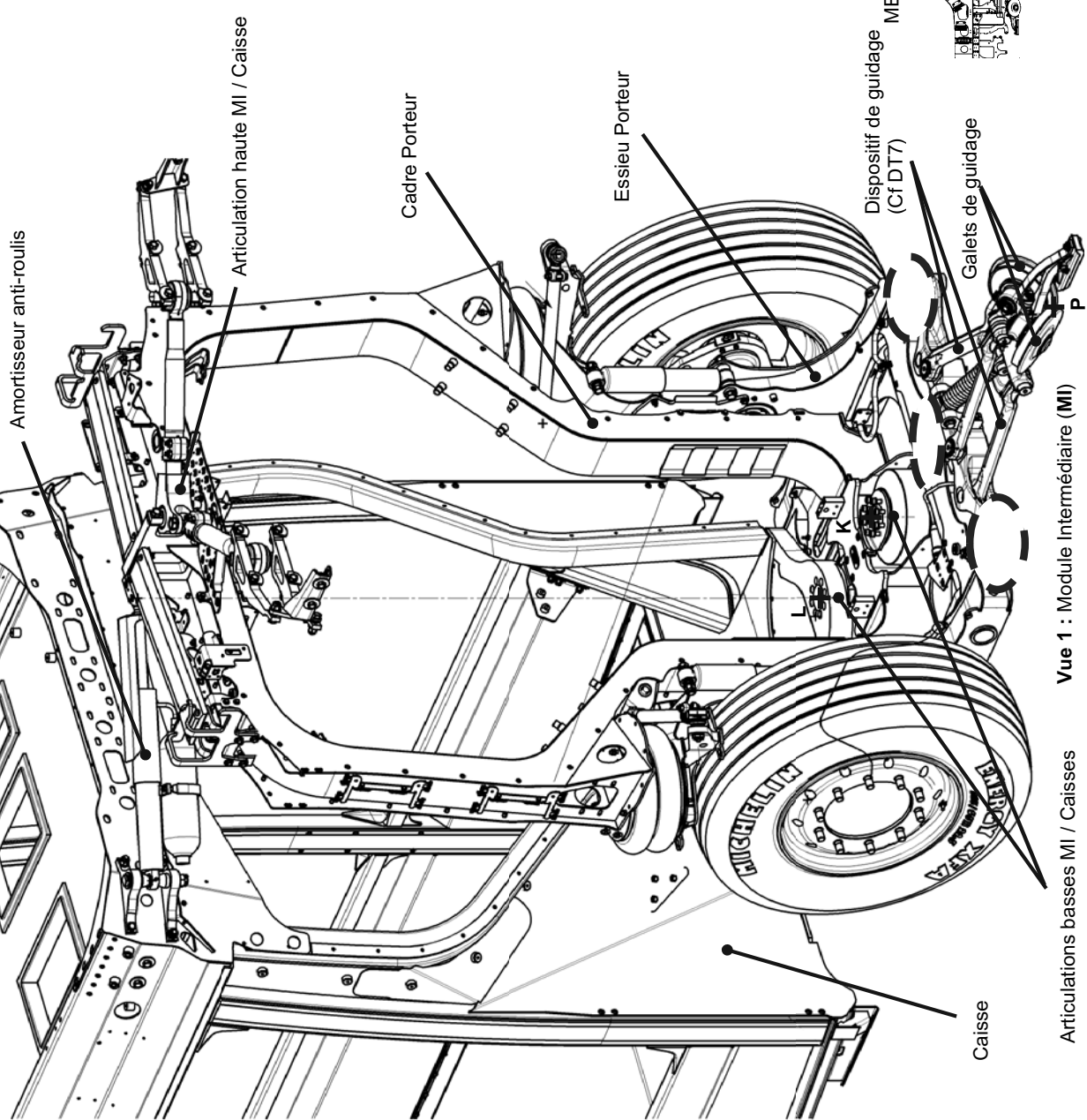
$\vec{\Omega}_{1/0} = \omega \vec{y}_1 + \dot{\gamma} \vec{z}_1$  : Vitesse de rotation de l'essieu

## Valeurs numériques

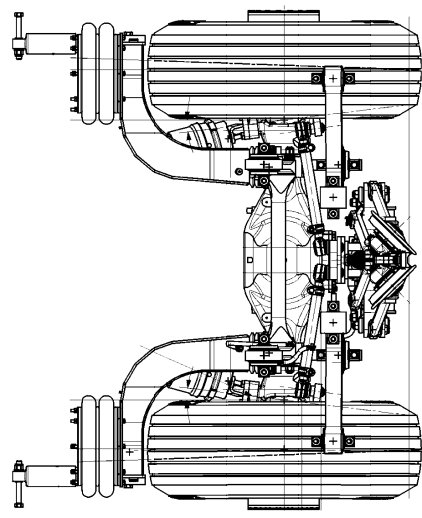
R	0,3 m
L	1,435 m
$\alpha$	5°
V	70 km/h

**DT2 : VUES D'ENSEMBLE DU TRANSLOHR**

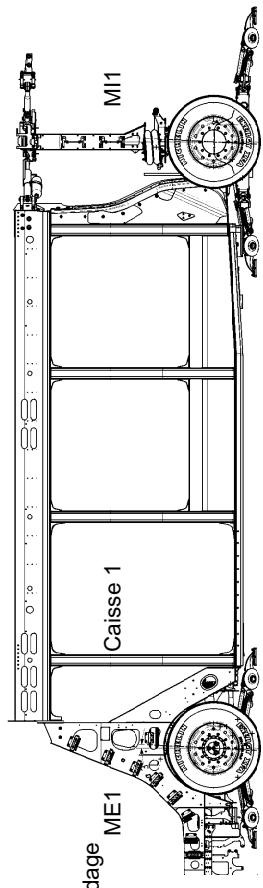
Zone à concevoir



**Vue 2 : Essieu porteur d'un Module Intermédiaire (MI)**



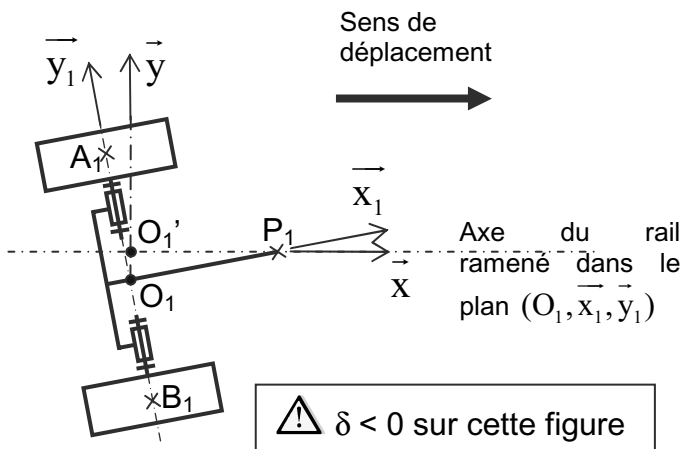
**Vue 3 : Essieu moteur d'un Module Extrémité (ME) (Non étudié)**



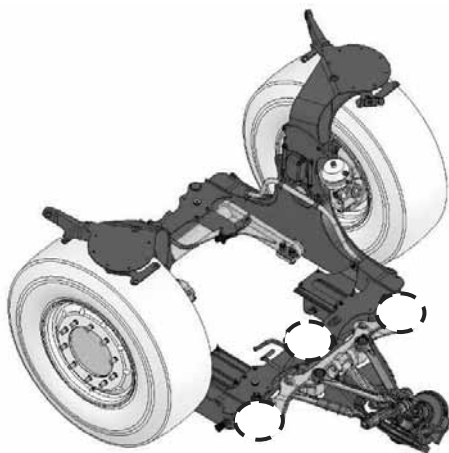
**Vue 4 : Module Extrémité (ME) + Caisse + Module Intermédiaire (MI)**

**Vue 1 : Module Intermédiaire (MI)**

## DT3 : MODELISATION SIMPLIFIE DU MODULE INTERMEDIAIRE MI 1



**Vue 1 : Paramétrage Module Intermédiaire (MI1) en vue de dessus**



**Vue 2 : Essieu Porteur et Dispositif de Guidage**

Zone à concevoir

### Paramétrage

$B(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  : Base liée au rail

$B_1(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  : Base liée au MI1

$\gamma = (\vec{x}, \vec{x}_1) = (\vec{y}, \vec{y}_1)$  : Rotation du MI1 autour de l'axe vertical

$O_1$  : Centre de l'essieu 1

$O_1'$  : Projection orthogonale de  $O_1$  sur l'axe du rail

$\overline{O_1'O_1} = \delta \vec{y}$  : Déplacement latéral de l'essieu 1 par rapport au rail

$A_1, B_1$  : Centres des roues ;  $\overline{B_1A_1} = L \vec{y}_1$

$A'_1, B'_1$  : Points de contacts Roues / Sol à la verticale de  $A_1$  et  $B_1$  ;  
 $\overline{A'_1A_1} = \overline{B'_1B_1} = R \vec{z}_1$

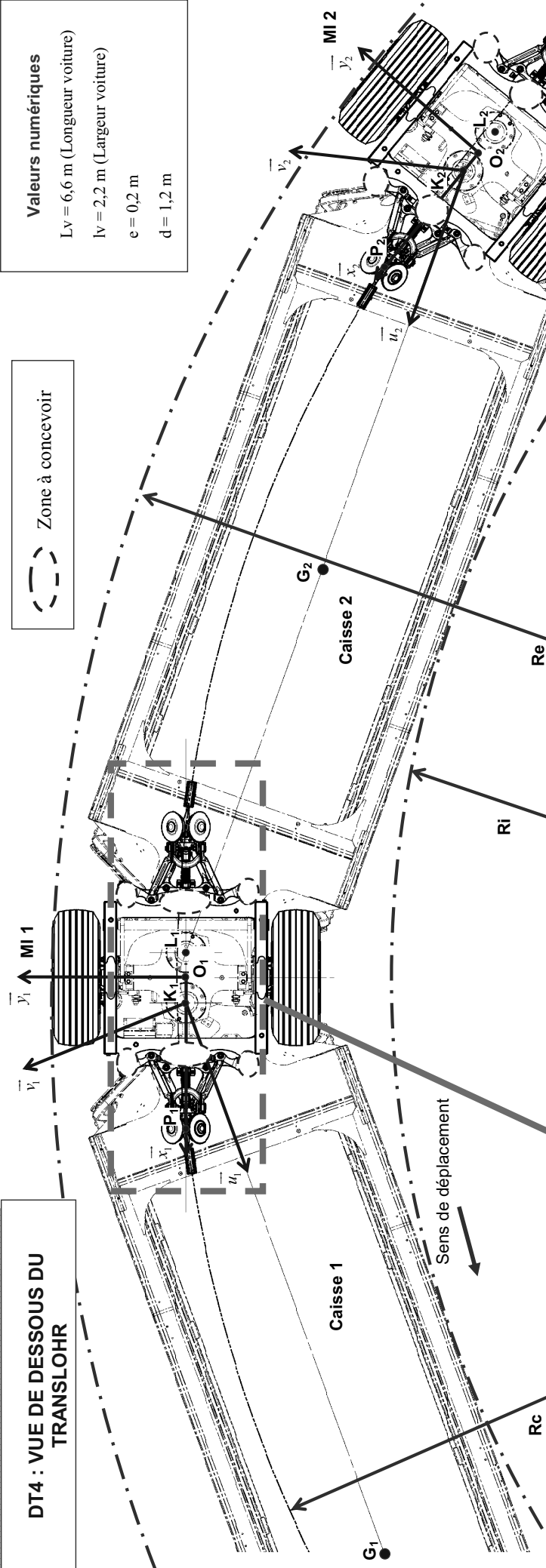
$P_1$  : Centre de la liaison Galets / Rail (ramené dans le plan  $(O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$ );  
 $\overline{O_1P_1} = d \vec{x}_1$

$V$  : Vitesse de déplacement du centre  $O_1$  de l'essieu

### Valeurs numériques

L	1,75 m
R	0,53 m
d	1,2 m
V	70 km/h

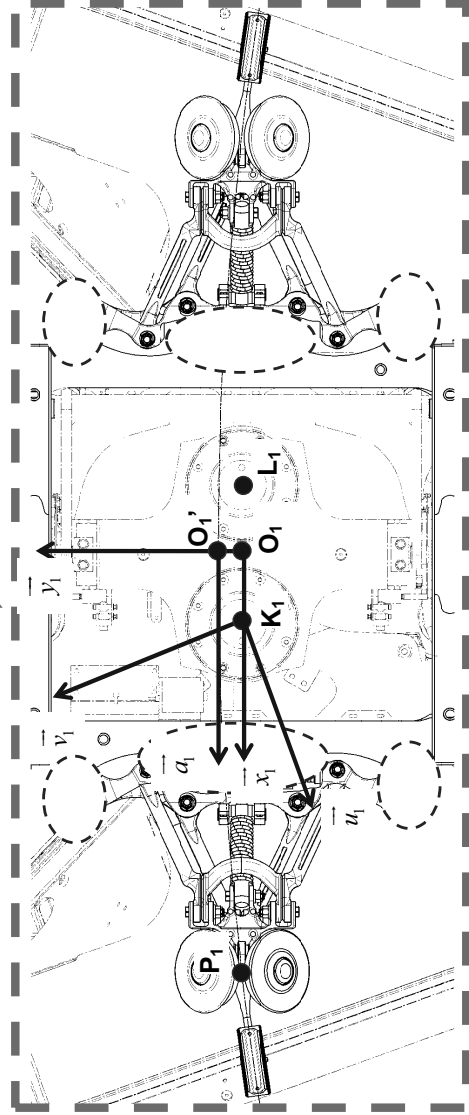
**DT4 : VUE DE DESSOUS DU TRANSLOHR**



Zone à concevoir

**Valeurs numériques**  
 $L_V = 6,6$  m (Longueur voiture)  
 $l_v = 2,2$  m (Largeur voiture)  
 $e = 0,2$  m  
 $d = 1,2$  m

**Vue 1 : Vue de dessous et paramétrage du Translohr**

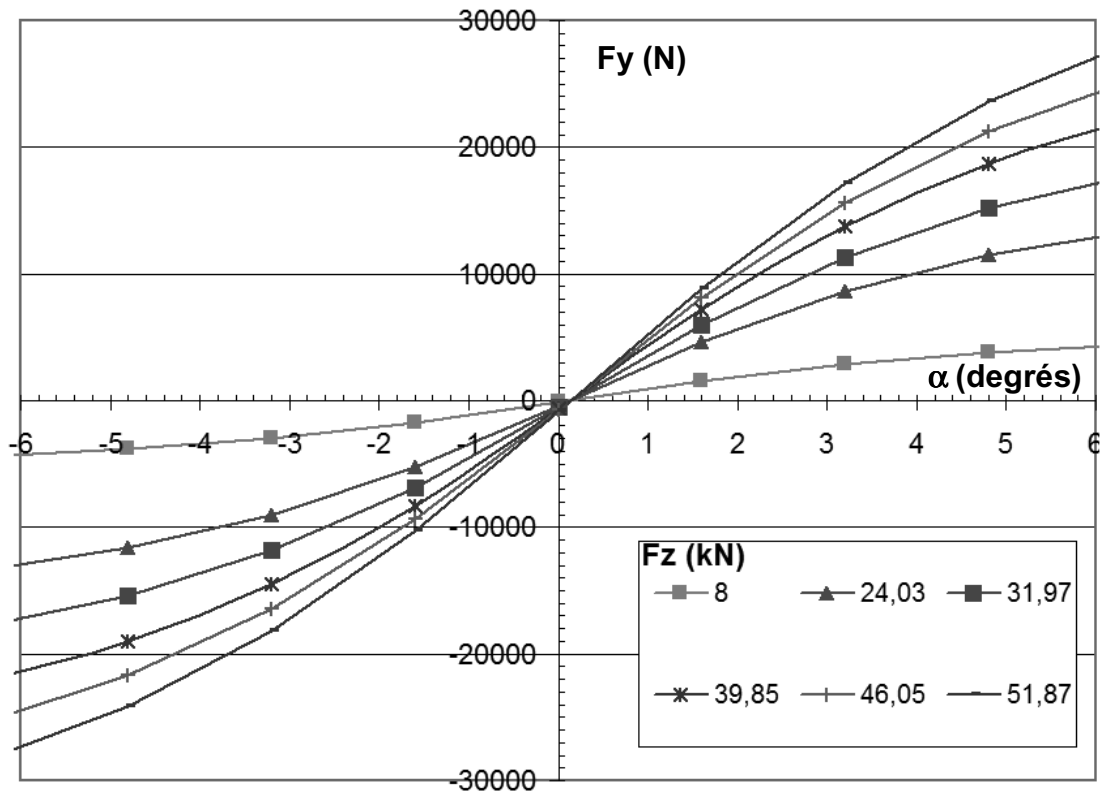


**Vue 2 : Zoom sur un Module Intermédiaire pour  $\gamma_i = 0$**

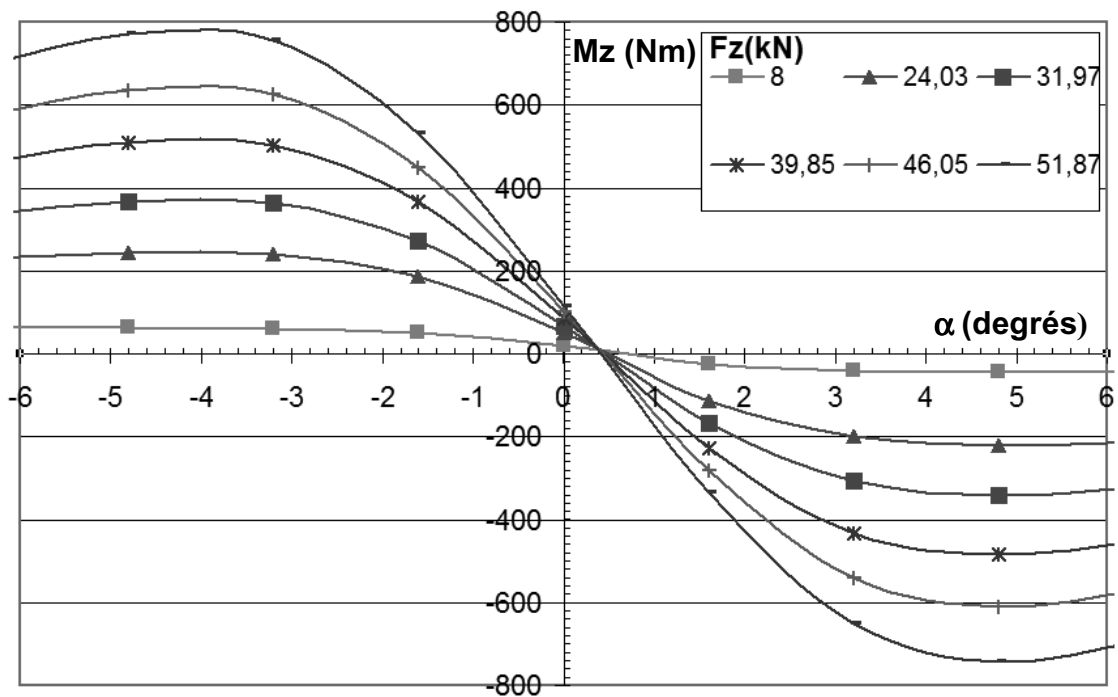
**Paramétrage**

- $O_i$  : Centre de l'essieu  $i$
- $O_i'$  : Projection orthogonale de  $O_i$  sur l'axe du rail (Cf Vue 2)
- $BR_i(a_i, b_i, z)$  : Base locale liée au rail au point  $O_i'$  (Cf Vue 2),  $a_i$  est tangent au rail en  $O_i'$ .  
 En ligne droite,  $BR_i(a_i, b_i, z)$  est identique à  $B(x_i, y_i, z)$  (Cf DT3).
- $B_i(x_i, y_i, z)$  : Base liée au  $MI i$  (Avec  $i \in [1, 3]$  pour une Rame ST4)
- $\gamma_i = (\alpha_i, \chi_i)$  : Rotation du  $MI i$  autour de l'axe vertical par rapport au rail
- $\vec{O}_i' \vec{O}_i = \delta_i \vec{b}_i$  : Déplacement latéral de l'essieu  $i$  par rapport au rail
- $BC_k(u_k, v_k, z)$  : Base liée à la caisse  $k$  (Avec  $k \in [1, 4]$  pour une Rame ST4)
- $P_i$  : Centre de la liaison galets / rail ;  $\vec{O}_i \vec{P}_i = d \vec{x}_i$
- $K_i$  et  $L_i$  : Centres des liaisons  $MI /$  Caissons ;  $\vec{O}_i \vec{K}_i = e \vec{x}_i$ ,  $\vec{O}_i \vec{L}_i = -e \vec{x}_i$ ,  $\vec{K}_{i+1} \vec{L}_i = L_V u_{i+1}$
- $\beta_k = (\alpha_k, u_k) = (\beta_k, v_k)$  : Rotation d'une Caisse  $k$  autour de l'axe vertical par rapport au rail

# DT5 : MODELE DE PACEJKA

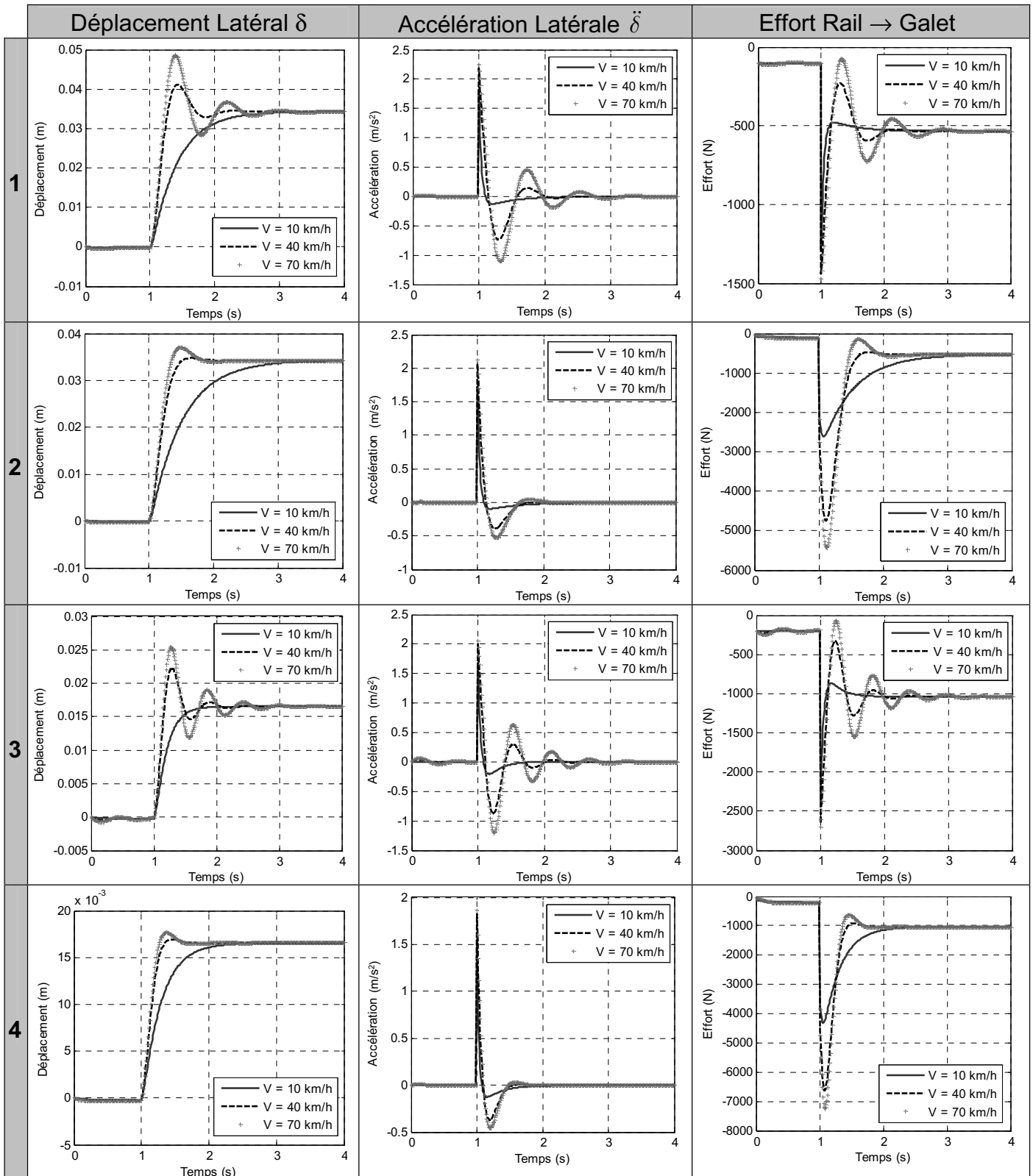


Courbe 1 (Liant  $\alpha$ ,  $F_y$  et  $F_z$ )



Courbe 2 (Liant  $M_z$ ,  $\alpha$  et  $F_z$ )

# DT6 : RESULTATS DE SIMULATIONS



**1** :  $d = 1,2 \text{ m}$ ;  $f_v = 0 \text{ Nm/(rd/s)}$

**3** :  $d = 0,6 \text{ m}$ ;  $f_v = 0 \text{ Nm/(rd/s)}$

**2** :  $d = 1,2 \text{ m}$ ;  $f_v = 25000 \text{ Nm/(rd/s)}$

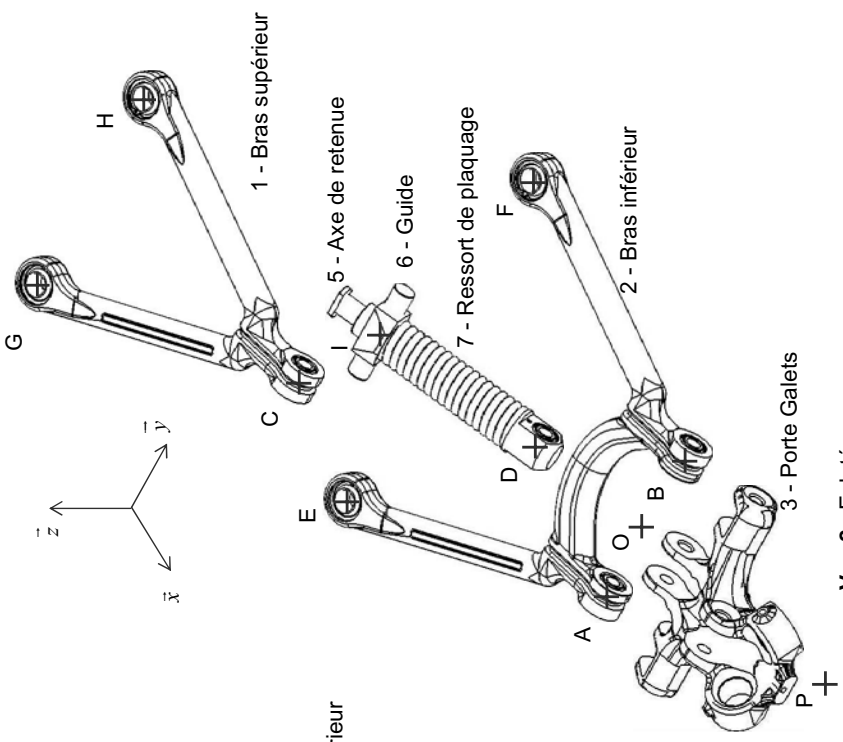
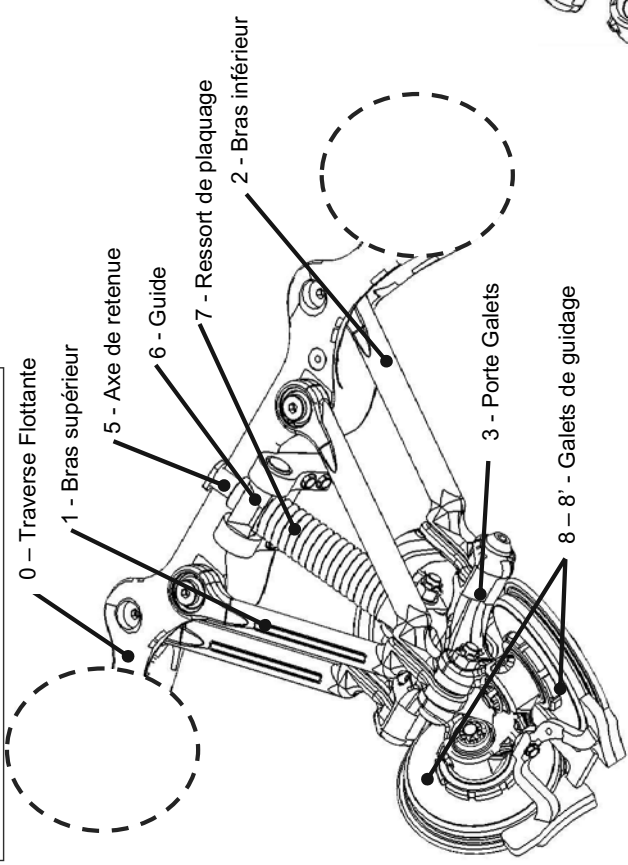
**4** :  $d = 0,6 \text{ m}$ ;  $f_v = 25000 \text{ Nm/(rd/s)}$

**Remarque** :  $f_v = 0 \text{ Nm/(rd/s)}$  correspond à une configuration sans système antilacet



# DT7 : DISPOSITIF DE GUIDAGE

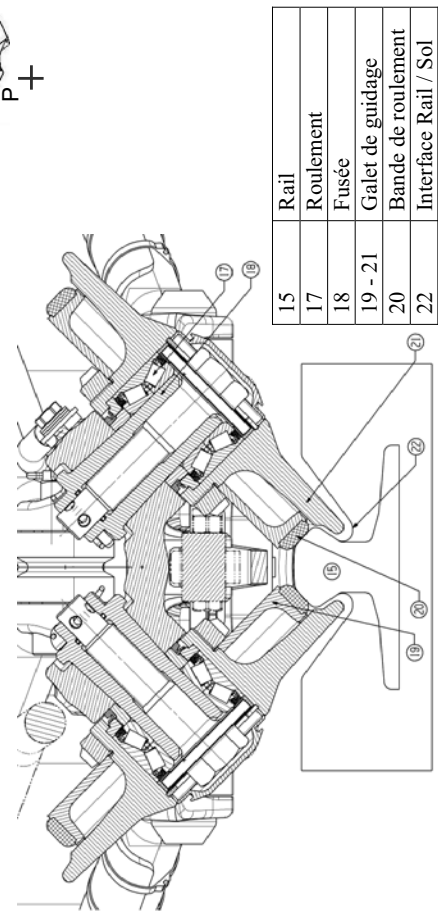
Zone à concevoir



## Coordonnées des points

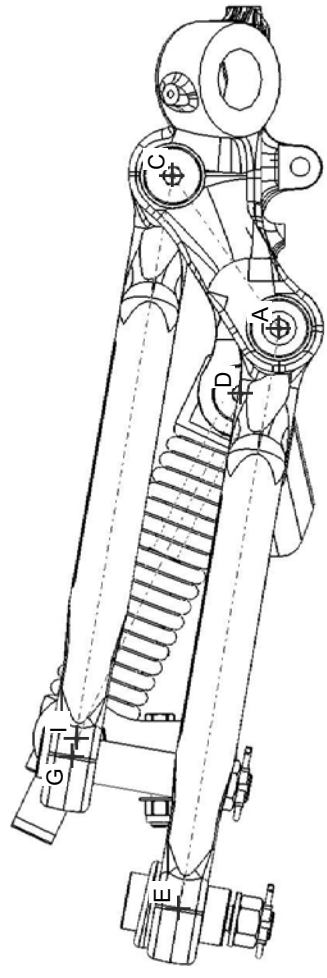
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
O	0	0	0
A	0	-116	0
B	0	116	0
C	104,6	0	73
D	-45,1	0	25,7
E	-399,2	-274,4	68,5
F	-399,2	274,4	68,5
G	-294,6	-158,4	141,5
H	-294,6	158,4	141,5
I	-282,1	0	138,4
P	170,7	0	-87,6

Vue 1 : Dispositif de guidage



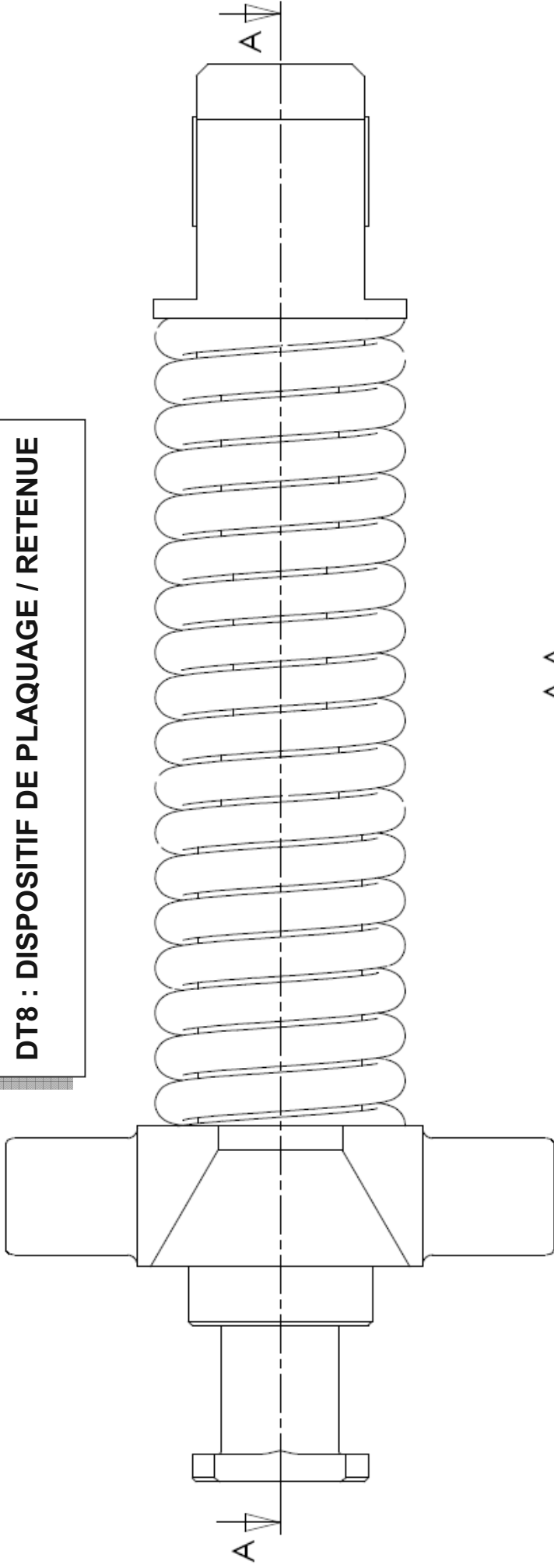
Vue 3 : Galets de guidage + Rail

Vue 2 : Eclaté

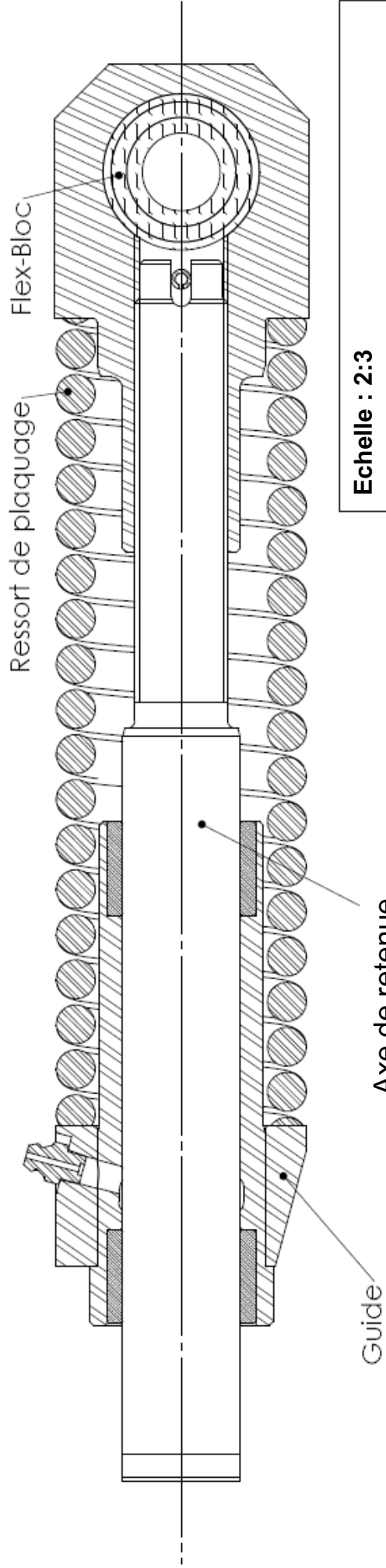


Vue 4 : Vue de profil

**DT8 : DISPOSITIF DE PLAQUAGE / RETENUE**

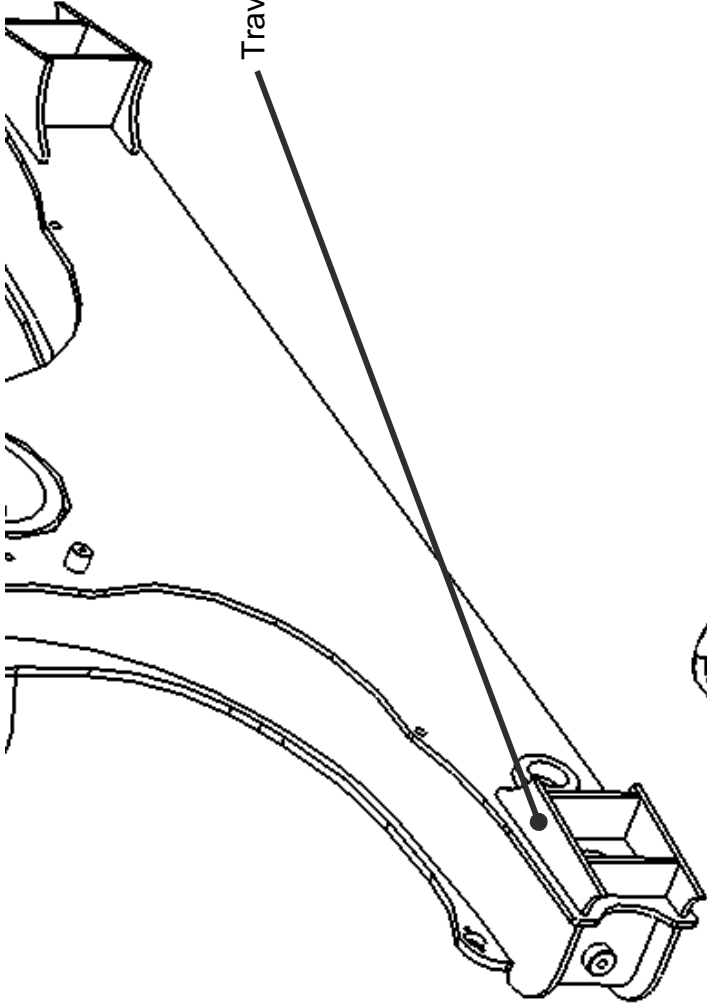


A-A

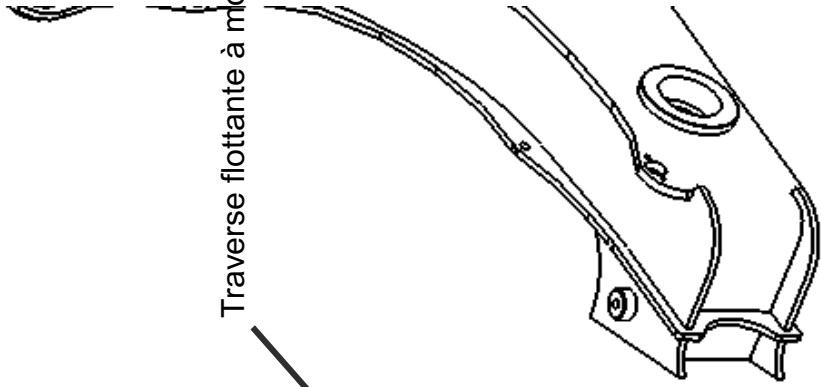


Echelle : 2:3

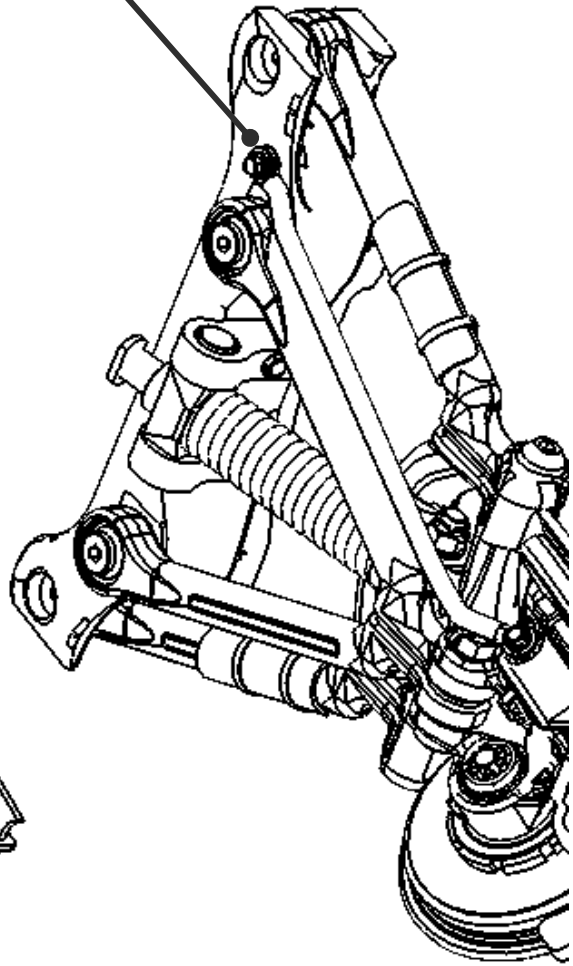
**DT9 : PERSPECTIVE CONCEPTION**



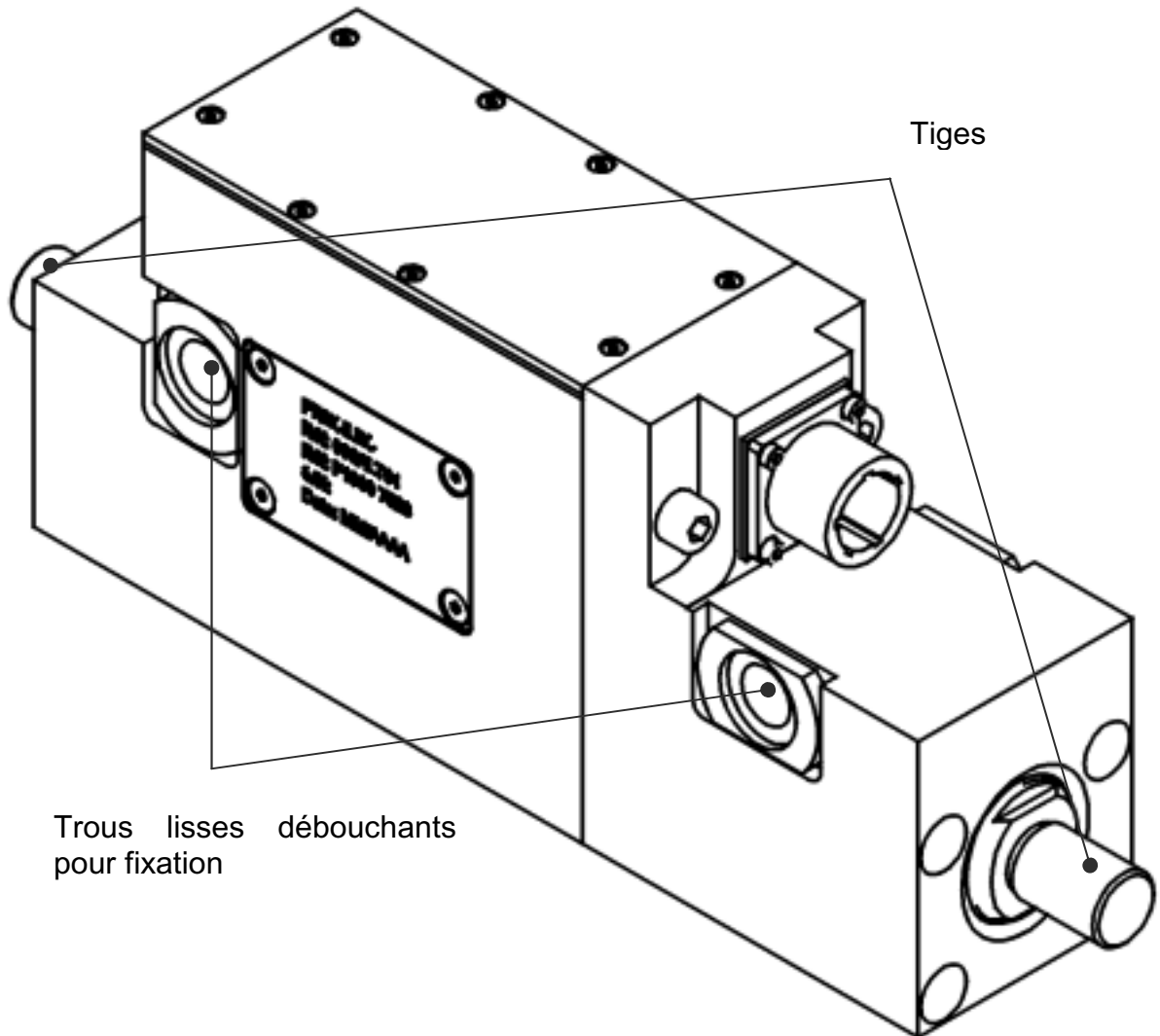
Traverse de l'essieu à modifier (Mécano-Soudée)



Traverse flottante à modifier (Moulée)



**DT10 : VERIN A 2 TIGES  
(DISPOSITIF DE VERROUILLAGE)**



# Dossier Réponse

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

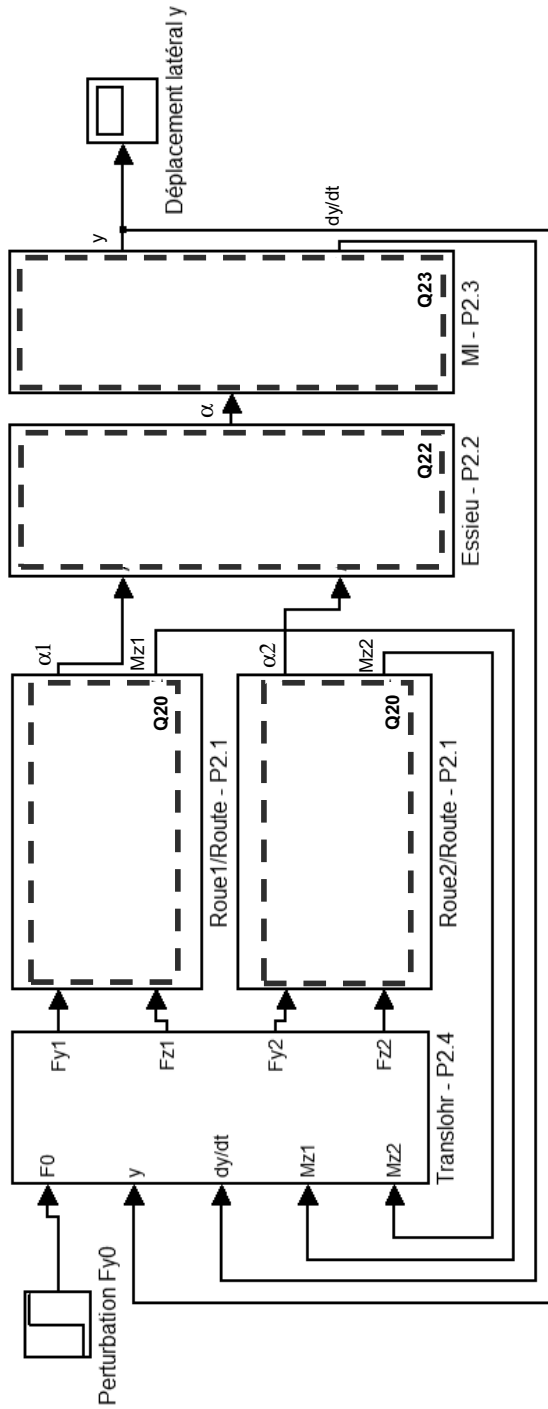
NOM : \_\_\_\_\_  
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)  
Prénoms : \_\_\_\_\_

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GMM 2

**DR1 : MODELE GLOBAL DU TRANSLOHR**



Da

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

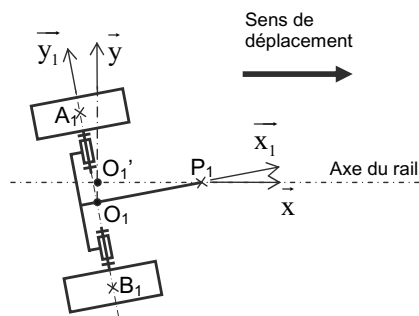
NOM : \_\_\_\_\_

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GMM 2

**DR2 : COMPORTEMENT CINEMATIQUE DU MI**



× I1/0 : CIR MI/Route

(Db)

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

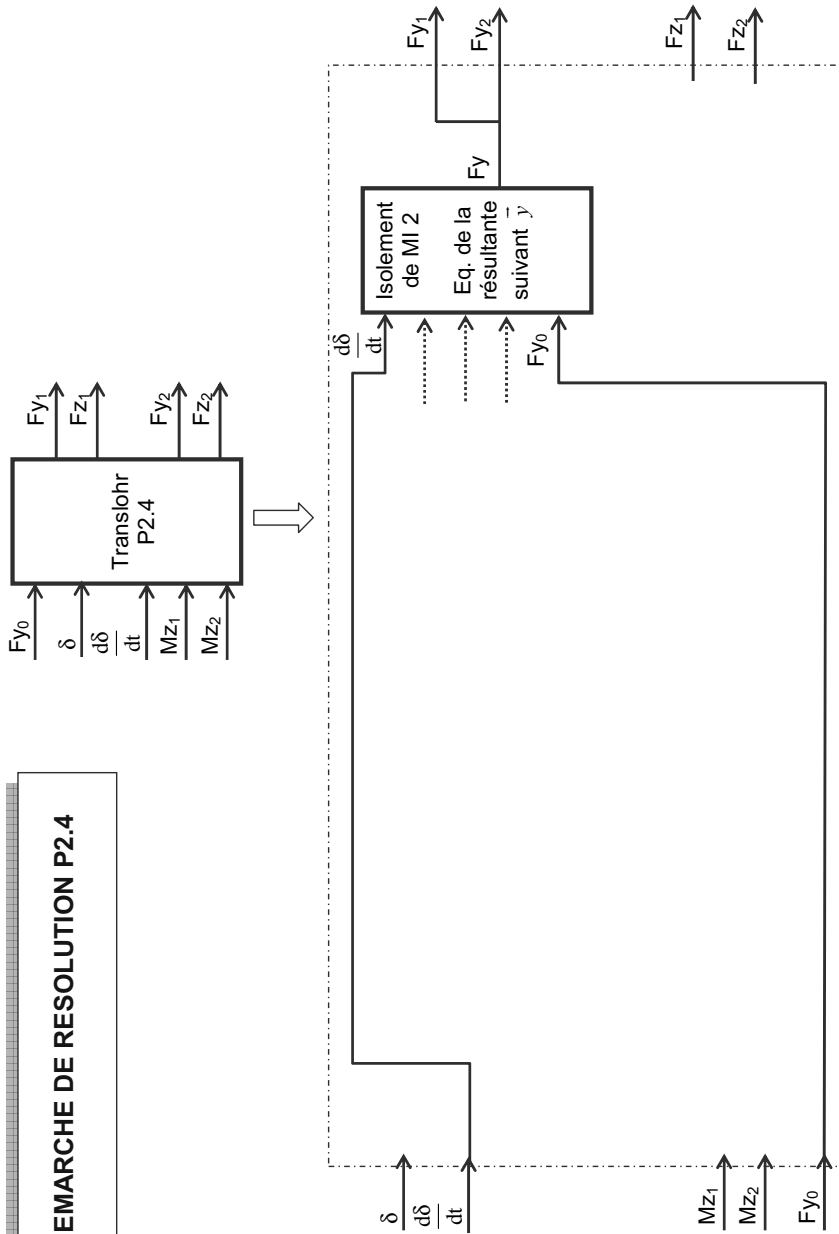
Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GMM 2



**DR3 : DEMARCHE DE RESOLUTION P2.4**

(Dc)



MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

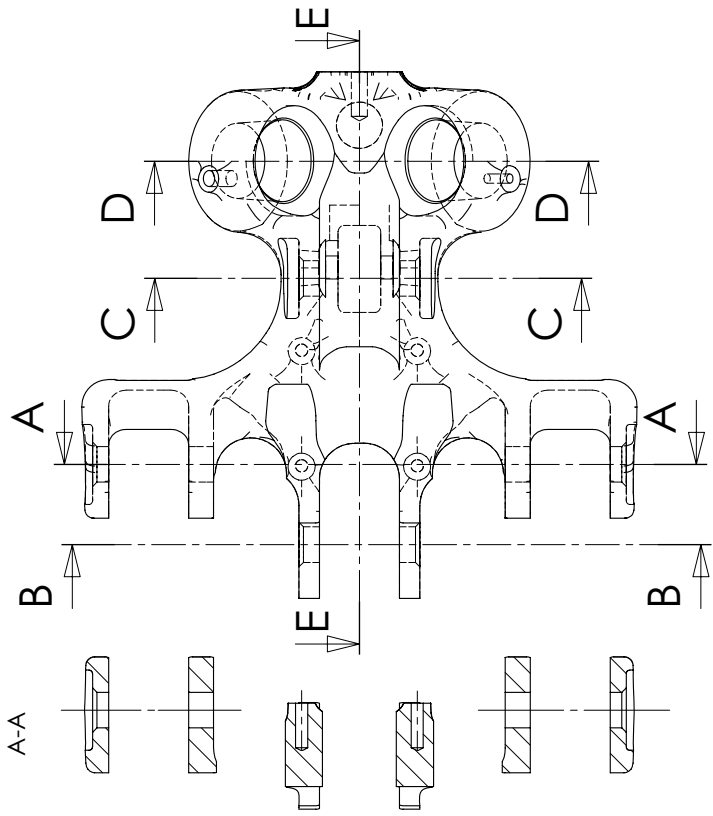
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GMM 2

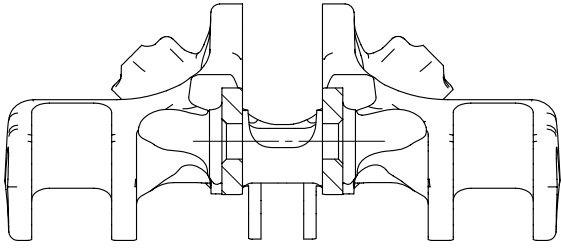
Propriétés Générales	
Masse Volumique	kg/m <sup>3</sup>
Prix	EUR/kg
Propriétés Mécaniques	
Module de Young	GPa
Module de cisaillement	GPa
Coefficient de Poisson	
Mesure de dureté Vickers	HV
Limite élastique	MPa
Résistance en traction	MPa
Résistance à la compression	MPa
Allongement	%
Limite de fatigue	MPa
Ténacité	MPa.m <sup>1/2</sup>
Coefficient d'amortissement	
Propriétés Thermiques	
Conductivité thermique	W/m.K
Coefficient de dilatation	μstrain/°C
Chaleur spécifique	J/kg.K
Température de fusion	°C
Température de transition vitreuse	°C
Température maximale d'utilisation	°C
Température minimale d'utilisation	°C

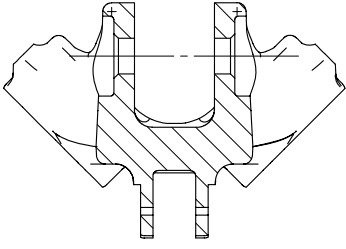
Propriétés Électriques	
Résistivité électrique	μhm.cm
Constante diélectrique	
Facteur de puissance	
Tension de claquage	1000000*V/m
Propriétés Optiques	
Indice de réfraction	
Propriétés Environnementales	
Energie nécessaire à la production	MJ/kg
Dioxyde de carbone	kg/kg
Recyclable	
Réutilisable	
Biodegradable	
Incinérable	
Entreposable dans une déchèterie	
Une ressource renouvelable ?	
Possibilités de traitement (échelle de 1 = impraticable à 5 = excellent)	
Aptitude à être moulé	
Formabilité	
Usinabilité	
Soudabilité	
Aptitude au soudage/brasage	
Durabilité	



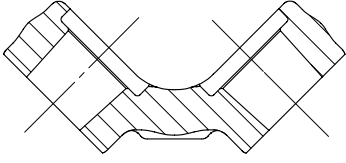
B-B



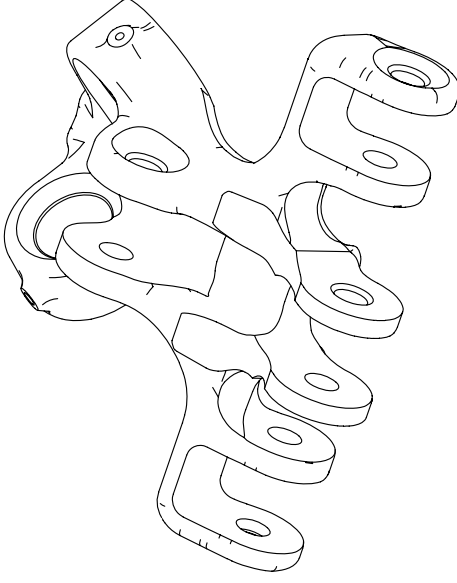
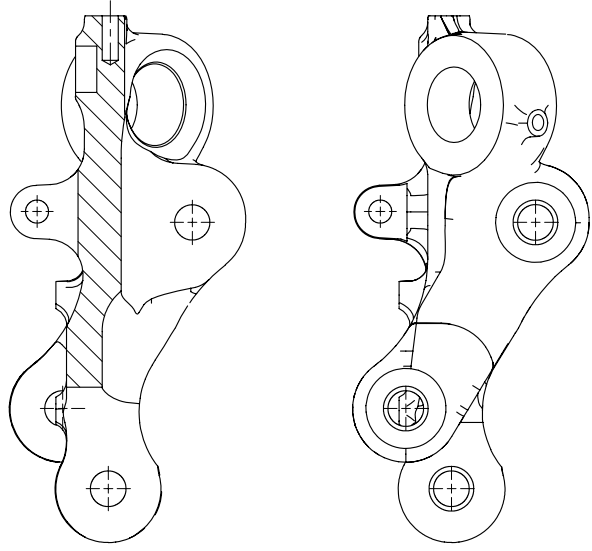
C-C



D-D



E-E



REVISIONI 0

De

# Document DR5

Porte Galets

A3

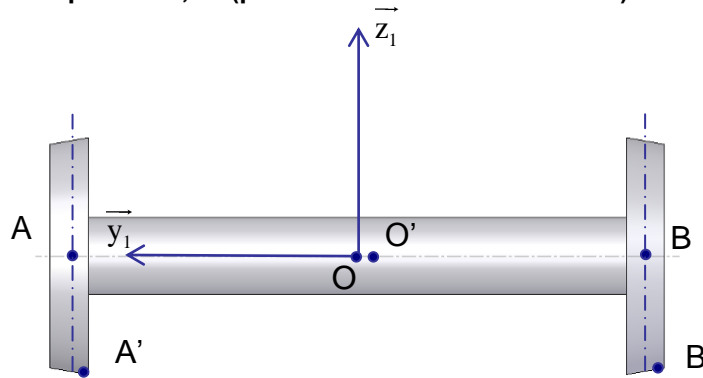
Echelle : 1:3

# Éléments de correction de l'épreuve d'admissibilité d'analyse et de conception des systèmes

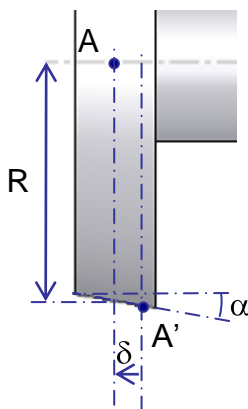
## Étude comparative : solution sur rails - solution sur pneus

Étude de la stabilité de guidage d'un essieu de train

- Q1** En vous inspirant de la vue 2 du document DT1, représenter en vue de face, l'essieu dans la configuration  $\gamma = 0$  et  $\delta > 0$ . Indiquer sur votre schéma la position des points A, B (centres de deux roues) et des points A', B' (points de contact Roues/Rails) définis sur le document DT1.



- Q2** Déterminer dans la configuration  $\gamma = 0$  et  $\delta \neq 0$ , dans la base  $B_1$ , les vecteurs  $\overrightarrow{A'A}$  et  $\overrightarrow{B'B}$  en fonction du déplacement latéral  $\delta$ , de l'angle de conicité des roues  $\alpha$  et du rayon R.



$$\overrightarrow{A'A} = \delta \overrightarrow{y_1} + (R + \delta \tan \alpha) \overrightarrow{z_1}$$

$$\overrightarrow{B'B} = \delta \overrightarrow{y_1} + (R - \delta \tan \alpha) \overrightarrow{z_1}$$

- Q3** Toujours dans la configuration  $\gamma = 0$  et  $\delta \neq 0$ , en supposant qu'il y a roulement sans glissement en A' et B', exprimer dans la base  $B_1$ ,  $\overrightarrow{V_{A \in 1/0}}$  et  $\overrightarrow{V_{B \in 1/0}}$  en fonction des vitesses de rotation  $\omega$  et  $\dot{\gamma}$  de l'essieu, du déplacement latéral  $\delta$  et des différents paramètres géométriques.

$$\overrightarrow{V_{A \in 1/0}} = \overrightarrow{V_{A' \in 1/0}} + \overrightarrow{AA'} \wedge \overrightarrow{\Omega_{1/0}} \quad \text{avec} \quad \overrightarrow{V_{A' \in 1/0}} = 0 \quad (\text{Roulement sans glissement})$$

$$\text{et} \quad \overrightarrow{\Omega_{1/0}} = \omega \overrightarrow{y_1} + \dot{\gamma} \overrightarrow{z_1} \quad (\text{cf remarque})$$

$$\text{d'où : } \overrightarrow{V_{A \in 1/0}} = (R + \delta \tan \alpha) \omega - \delta \dot{\gamma} \overrightarrow{x_1}$$

$$\text{de même : } \overrightarrow{V_{B \in 1/0}} = (R - \delta \tan \alpha) \omega - \delta \dot{\gamma} \overrightarrow{x_1}$$

**Remarque :** Les variations de l'angle de roulis (rotation autour de  $\vec{x}_1$ ) sont négligeables devant les variations de l'angle de rotation autour de l'axe vertical  $\gamma$ .

**Q4** À partir d'une relation liant  $\vec{V}_{A \in 1/0}$  à  $\vec{V}_{B \in 1/0}$  et des résultats précédents, déterminer une relation liant  $\delta$ ,  $\omega$ ,  $\dot{\gamma}$  et les différents paramètres géométriques.

$$\vec{V}_{A \in 1/0} = \vec{V}_{B \in 1/0} + \vec{AB} \wedge \vec{\Omega}_{1/0}$$

$$\vec{AB} \wedge \vec{\Omega}_{1/0} = -L\vec{y}_1 \wedge (\omega\vec{y}_1 + \dot{\gamma}\vec{z}_1) = -L\dot{\gamma}\vec{x}_1$$

On a donc :

$$(R + \delta \tan \alpha)\omega - \delta\dot{\gamma} = (R - \delta \tan \alpha)\omega - \delta\dot{\gamma} - L\dot{\gamma} \text{ d'où } 2\delta \tan \alpha \omega + L\dot{\gamma} = 0$$

**Q5** À partir de la vue 3 du document DT1, dans la configuration  $\gamma \neq 0$  et  $\delta \neq 0$ , déterminer l'expression de  $\dot{\delta} = \vec{V}_{O \in 1/0} \cdot \vec{y}$  en fonction de  $V$  et  $\gamma$ .

$$\dot{\delta} = \vec{V}_{O \in 1/0} \cdot \vec{y} = V\vec{x}_1 \cdot \vec{y} \quad \text{d'où} \quad \dot{\delta} = V \sin \gamma$$

**Q6** Montrer, en combinant les équations obtenues aux questions Q4 et Q5, que l'équation différentielle caractérisant l'évolution du déplacement latéral  $\delta$  de l'essieu est de la forme :

$$\frac{\ddot{\delta}}{\omega_0^2} + \delta = 0 \text{ avec } \omega_0 = 12,4 \text{ rad/s (avec les valeurs numériques du document DT1).}$$

$$\gamma \text{ petit donc } \sin \gamma \approx \gamma. \text{ On a donc } \dot{\delta} \approx V\gamma \text{ d'où } \dot{\gamma} \approx \frac{\ddot{\delta}}{V}$$

$$\text{Dans l'équation de la question Q4, on a alors } 2\delta \tan \alpha \omega + L \frac{\ddot{\delta}}{V} = 0$$

$$\text{D'où } \frac{L}{2 \tan \alpha \omega V} \ddot{\delta} + \delta = 0 \text{ ou } \frac{LR}{2 \tan \alpha V^2} \ddot{\delta} + \delta = 0 \text{ (car } \omega = \frac{V}{R} \text{)}$$

$$\text{Par identification on a } \omega_0 = V \cdot \sqrt{\frac{2 \tan \alpha}{LR}}$$

On retrouve bien  $\omega_0 = 12,4 \text{ rad/s}$

**Q7** Conclure sur la pertinence du modèle proposé et sur l'auto-stabilité de l'essieu.

Le modèle ne prend pas en compte le frottement, dissipateur d'énergie, qui fait que l'amplitude des oscillations décroît.

L'auto-stabilité est obtenue car l'écart tend rapidement vers 0.

**Remarque :** Le modèle complet à utiliser est le modèle de Kalker. On montre que l'amortissement dépend fortement de  $V$  ce qui engendre une instabilité à partir d'une certaine vitesse.

**Q8** Quelles contraintes techniques cela impose t'il et quelles en sont les conséquences ?

Si on veut un plancher bas sur l'ensemble de la rame, cela suppose de désaccoupler les 2 roues. On perd alors l'équation définie à la question Q4 qui assurait l'auto-stabilité de l'essieu. Dans ce cas, la « stabilité » est assurée par les boudins latéraux des roues ce qui est éventuellement possible à basse vitesse pour un tramway mais impossible pour un train. Dans tous les cas, on perd la précision de guidage, et le frottement des boudins sur les rails conduit à une usure importante et des crissements problématiques en milieu urbain.

- Q9** Relativement à la solution classique sur rails, expliquer en quoi la solution proposée par Lohr permet d'abaisser le plancher à 25 cm du sol.

La solution proposée ne comporte pas d'essieu traversant. Ainsi, chaque roue a sa propre liaison pivot ce qui permet de faire passer le couloir passager au milieu, en dessous de l'axe des roues.

- Q10** À partir de la Vue 1 du document DT3, en utilisant une fermeture géométrique, déterminer la relation liant  $\gamma$  à  $\delta$ .

Dans le triangle  $(O'_1, O_1, P_1)$  on a :

$$\overrightarrow{O'_1 O_1} + \overrightarrow{O_1 P_1} + \overrightarrow{P_1 O'_1} = 0$$

$$\delta \vec{y} + d \vec{x}_1 + \overrightarrow{P_1 O'_1} = 0$$

En projection sur  $\vec{y}$ , on a :  $\delta + d \vec{x}_1 \cdot \vec{y} + 0 = 0$ , d'où  $\delta + d \sin \gamma = 0$

- Q11** En supposant qu'il y a roulement sans glissement en  $A'_1$  et  $B'_1$  (points de contact Roues/Sol) donner, sans faire de calculs, la direction de la vitesse du centre de l'essieu  $\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}$ . En déduire la relation liant  $\dot{\delta} = \overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}} \cdot \vec{y}$ ,  $V$  et  $\gamma$ . Évaluer qualitativement le domaine de validité de ce modèle.

S'il y a roulement sans glissement en  $A'_1$  et  $B'_1$  alors  $\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}$  a pour direction  $\vec{x}_1$ .

On a donc  $\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}} = V \vec{x}_1 = V \cos \gamma \vec{x} + V \sin \gamma \vec{y}$

On en déduit donc  $\dot{\delta} = \overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}} \cdot \vec{y} = V \sin \gamma$

Ce modèle est très simple (Roulement sans glissement) et décrit correctement le comportement à basse vitesse et lorsque le rail de guidage est quasi-rectiligne. Pour des vitesses plus élevées il faudra adopter le modèle de la partie 2.

- Q12** Déduire des 2 questions précédentes, l'équation différentielle caractérisant l'évolution du déplacement latéral  $\delta$  du module intermédiaire. Déterminer la solution de cette équation.

En combinant les équations obtenues aux questions Q10 et Q11, on obtient :  $\delta + \frac{d}{V} \dot{\delta} = 0$

La solution de cette équation différentielle du 1<sup>er</sup> ordre est :  $\delta = \delta_0 e^{-\frac{V}{d}t}$

- Q13** Quels sont les paramètres influant sur la stabilité du module intermédiaire et conclure sur l'auto-stabilité du module intermédiaire.

Le module intermédiaire est naturellement stable. La vitesse de convergence est influencée par  $V$  et  $d$ .

- si  $V$  augmente on a une convergence **plus rapide** ;
- si  $d$  augmente on a une convergence **plus lente**.

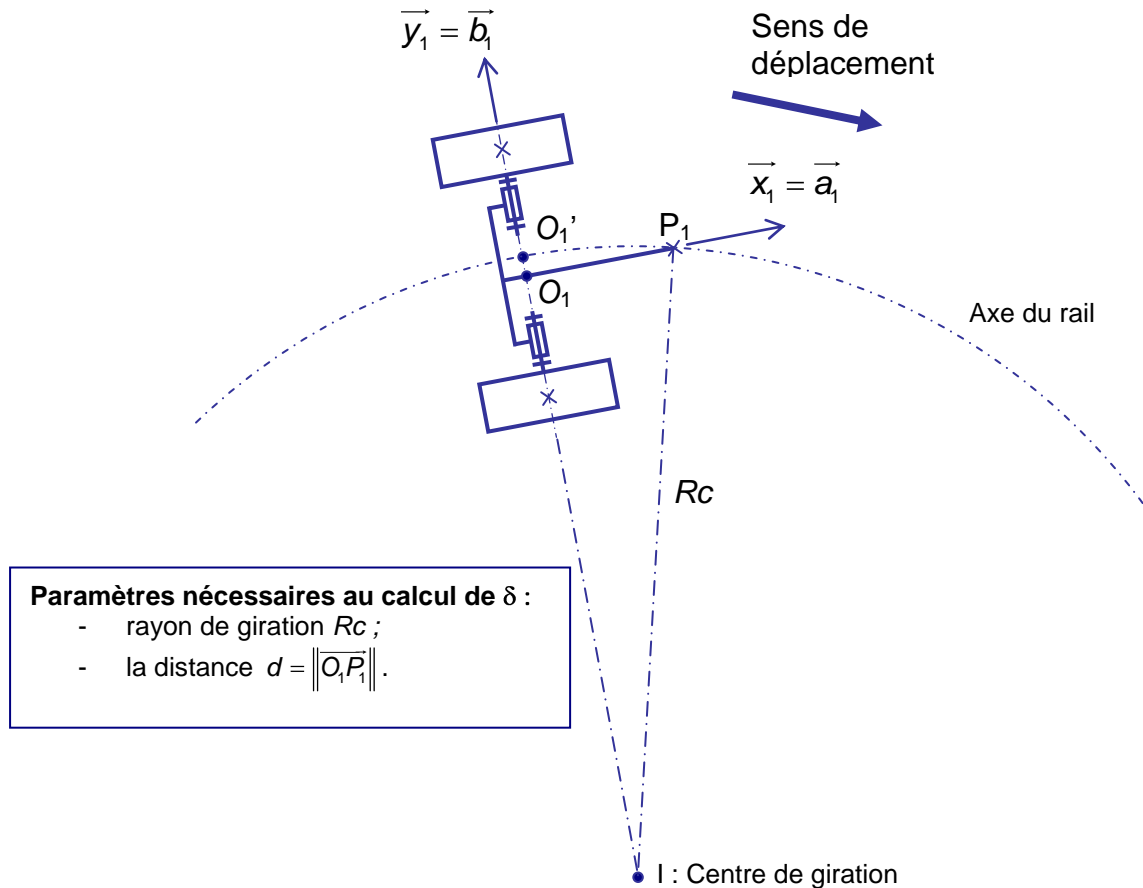
- Q14** Que se passe-t-il si le Translohr part accidentellement en marche arrière ? Quelle solution technique a prévu Lohr dans cette situation ?

Dans ce cas le système devient instable car le signe de la constante de temps est lié au signe de  $V$ .

Pour éviter une divergence catastrophique du système de guidage, en cas de marche arrière accidentelle, l'organe de guidage situé derrière vient se mettre en butée et ainsi limiter la divergence de l'essieu.

## Vérification du gabarit en courbe du Translohr

- Q15** Caractériser la position d'un module intermédiaire relativement au rail de guidage. Proposer un schéma en vue de dessus représentant le module intermédiaire en situation et faites apparaître les paramètres nécessaires au calcul du déport de voie  $|\delta|$ .



Si le module intermédiaire occupe une position stable sur la voie, alors **l'axe de l'essieu passe par le centre de giration**. En effet, la vitesse du point  $O_1$  lié au module intermédiaire doit être constamment parallèle à la tangente à l'axe du rail.

- Q16** En déduire l'expression du déport de voie  $|\delta|$  en fonction du rayon  $Rc$ .

Dans le triangle rectangle  $(O_1, P, I)$  on a :  $Rc^2 = d^2 + (Rc - |\delta|)^2$

$$\text{On a donc : } |\delta| = Rc - \sqrt{Rc^2 - d^2} \quad (1)$$

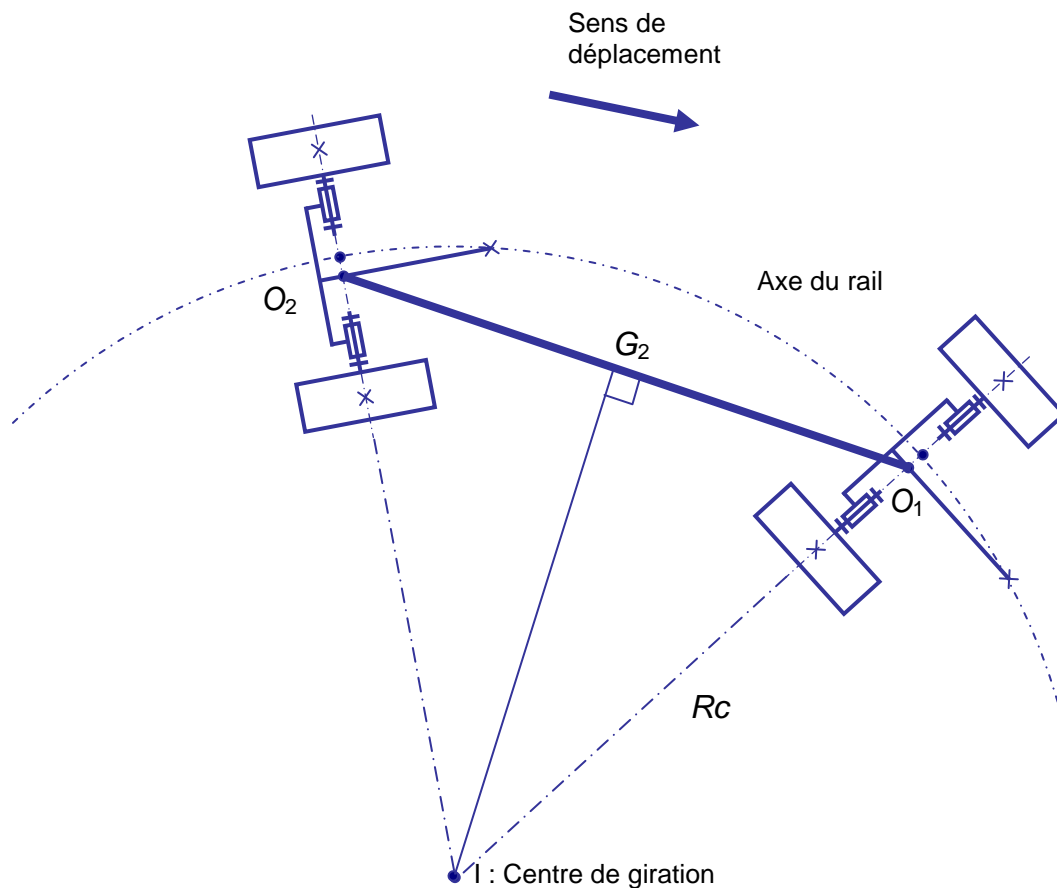
- Q17** Déterminer les rayons  $Ri$  et  $Re$  (cf document DT4) limitant le gabarit pour une voie en fonction de  $Rc$ ,  $\delta$  et des paramètres géométriques. On pourra supposer  $e \ll Lv$ .

À partir du paramétrage du document DT4 on déduit les relations suivantes :

$$\begin{cases} Ri = IG - \frac{lv}{2} \\ Re = Rc - |\delta| + \frac{lv}{2} \quad \left( \text{ou } Re = Rc + \delta + \frac{lv}{2} \text{ car } \delta < 0 \text{ dans ce cas} \right) \end{cases}$$

avec  $I$ , centre de giration et  $G$ , milieu d'une caisse.

Si  $e \ll Lv$ , on peut confondre les points  $L$ ,  $K$  et  $O$ . On obtient donc le modèle simplifié suivant :



On a donc :  $IG = \sqrt{OI^2 - \left(\frac{Lv}{2}\right)^2}$  avec  $OI = Rc - |\delta| = Rc + \delta$  (car  $\delta < 0$ )

$$\text{On obtient ainsi : } \begin{cases} Ri = \sqrt{Rc - |\delta|^2 - \left(\frac{Lv}{2}\right)^2} - \frac{lv}{2} = \sqrt{Rc + \delta^2 - \left(\frac{Lv}{2}\right)^2} - \frac{lv}{2} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} Re = Rc - |\delta| + \frac{lv}{2} = Rc + \delta + \frac{lv}{2} \end{cases} \quad (3)$$

**Q18** Pour un rayon de giration  $Rc$  de 10,5 m de la voie intérieure, déterminer le gabarit global en voie double et comparer aux 5,4 m annoncés. En cas de non respect des 5,4 m, proposer des compromis compatibles avec le milieu urbain.

**Données :**  $Rc = 10,5$  m     $Lv = 6,6$  m     $lv = 2,2$  m     $d = 1,2$  m

**Pour la voie intérieure :**

D'après la formule (1) de la question Q16 :  $|\delta| = Rc - \sqrt{Rc^2 - d^2} = 10,5 - \sqrt{10,5^2 - 1,2^2} = 0,0688$  m

On en déduit :

$$\begin{cases} Ri = \sqrt{Rc - |\delta|^2 - \left(\frac{Lv}{2}\right)^2} - \frac{lv}{2} = \sqrt{10,5 - 0,0688^2 - \left(\frac{6,6}{2}\right)^2} - \frac{2,2}{2} = 8,795 \text{ m} \\ Re = Rc - |\delta| + \frac{lv}{2} = 10,5 - 0,0688 + \frac{2,2}{2} = 11,531 \text{ m} \end{cases}$$

**Pour la voie extérieure :**

On impose  $Ri_{\text{mini}} = 11,531$  m (Re de la voie 1 - distance nulle entre les deux voies)

$$\text{On a alors d'après (2) : } Rc - |\delta| = \sqrt{\left(Ri + \frac{IV}{2}\right)^2 + \left(\frac{LV}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(11,531 + \frac{2,2}{2}\right)^2 + \left(\frac{6,6}{2}\right)^2} = 13,055 \text{ m}$$

$$\text{(D'après (1) : } Rc = \sqrt{Rc - |\delta|^2 + d^2} = \sqrt{13,055^2 + 1,2^2} = 13,110 \text{ m)}$$

$$\text{D'après (3), on obtient alors : } Re = Rc - |\delta| + \frac{IV}{2} = 13,055 + \frac{2,2}{2} = 14,155 \text{ m}$$

**Conclusion :**

La largeur minimale en voie double est donc de :  $14,155 - 8,795 = 5,36 \text{ m}$

Le gabarit global est donc bien inférieur à 5,40 m. Cependant la marge est quasi-nulle (4 cm). En cas de rayon de courbure de 10,5 m, il est préférable d'espacer localement les voies ou de mettre des feux pour éviter les croisements dans cette zone.



## Validation du comportement du Translohr

### Modélisation du contact pneu-route

- Q19** Estimer, à l'aide d'un modèle très simple et des données du tableau Figure 15, l'effort  $F_{y_{max}}$  supporté par chaque roue. En déduire, à partir de la Courbe 1 du document DT5, les valeurs extrêmes de l'angle de dérive du pneu  $\alpha$ .

Pour déterminer les valeurs extrêmes de  $\alpha$ , il nous faut  $F_{y_{max}}$ . En courbe, la vitesse maximale du translohr doit être telle que l'accélération latérale ne dépasse pas  $1 \text{ m/s}^2$  ( $\|\overline{a_{max}}\| = 1 \text{ m/s}^2$ ).

Si on isole l'ensemble (un module intermédiaire + deux demi-caisses), on a d'après le PFD :

$$Ma_{max} = F_{y_1} + F_{y_2} \text{ avec } M, \text{ la masse d'un module intermédiaire et de deux demi-caisses.}$$

Si on suppose que les efforts  $F_y$  sont identiques sur les 2 roues du module intermédiaire on a alors :

$$Ma_{max} = F_{y_1} + F_{y_2} = 2F_{y_{max}} \text{ d'où } F_{y_{max}} = \frac{Ma_{max}}{2} = \frac{6500 + 1758 \times 1}{2} = 4129 \text{ N}$$

D'après la Courbe 1 du document DT5, pour  $F_y = 4129 \text{ N}$  et  $F_z = 40000 \text{ N}$  on a  $\alpha$  voisin de  $1^\circ$ .

$\alpha$  évolue donc dans l'intervalle :  $[-1^\circ, 1^\circ]$

- Q20** En justifiant vos hypothèses, déduire les relations  $\alpha = f(F_y)$  et  $M_z = f(\alpha)$ . Compléter le document réponse DR1 en inscrivant les relations obtenues dans le cadre correspondant.

Pour  $\alpha \in [-1^\circ, 1^\circ]$ , on peut approximer les courbes du document DT5 par des droites. On pose :

$$\alpha = C_\alpha \cdot F_y \text{ et } M_z = C_{Mz}(\alpha - \alpha_0) \text{ avec } \alpha_0 = 0,4^\circ$$

Pour  $\alpha = 1^\circ$  et  $F_z = 39,85 \text{ kN}$  on a  $F_y = 4500 \text{ N}$ . On en déduit :

$$C_\alpha = \frac{1}{4500} = 2,22 \times 10^{-4} \text{ }^\circ/\text{N} = 3,87 \times 10^{-6} \text{ rad/N}$$

Pour  $\alpha = 0^\circ$  et  $F_z = 39,85 \text{ kN}$  on a  $M_z = 90 \text{ Nm}$ . On en déduit :

$$C_{Mz} = \frac{90}{-0,4} = -225 \text{ Nm/}^\circ = -12892 \text{ Nm/rad}$$

### Comportement cinématique d'un essieu

- Q21** Tracer sur le document réponse DR2 la direction de la vitesse du centre de la roue  $A_1$ , la direction de la vitesse du centre de la roue  $B_1$  et la direction de la vitesse  $\overline{V_{O_1 \in 1/0}}$ . Placer les angles de dérive  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  liés respectivement aux roues  $A_1$  et  $B_1$ .

(Cf DR2)

- Q22** Placer  $\alpha$  sur le document réponse DR2. Compléter le document réponse DR1 en inscrivant la relation obtenue dans le cadre correspondant. Critiquer le modèle retenu.

(Cf DR1 et DR2)

En toute rigueur,  $\alpha \neq \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$ . Cependant, comme nous l'avons vu dans la partie 2.1 les angles de dérive restent faibles. D'autre part, le rayon de giration du Translohr étant relativement grand devant la distance  $AB$  les vitesses en  $A$  et  $B$  sont relativement parallèles. En conséquence, en première approximation, le modèle adopté semble légitime.

### Modélisation du suivi de trajectoire

**Q23** À partir du paramétrage défini sur le document DT3, et de la direction de  $\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}$  déterminer la relation liant  $\dot{\delta} = \overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}} \cdot \overrightarrow{y}$ ,  $V$ ,  $\gamma$  et  $\alpha$ .

$$\dot{\delta} = \overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}} \cdot \overrightarrow{y} = V \cos(\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}, \overrightarrow{y})$$

$$\text{Or } (\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}, \overrightarrow{y}) = (\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}, \overrightarrow{x_1}) + (\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}) + (\overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{y}) = \alpha + \frac{\pi}{2} - \gamma$$

$$\text{On a donc } \dot{\delta} = -V \sin(\alpha - \gamma)$$

**Q24** En utilisant la relation déterminée à la question Q10, déterminer l'équation différentielle du premier ordre caractérisant l'évolution du déplacement latéral  $\delta$  du module intermédiaire en fonction de la vitesse  $V$ , de la distance  $d$  et de l'angle de dérive globale  $\alpha$ . Compléter le document réponse DR1 en inscrivant la relation obtenue dans le cadre correspondant.

$$\text{D'après la question Q10 : } \delta + d \sin \gamma = 0$$

Les angles  $\alpha$  et  $\gamma$  restent petit, on a donc :

$$\gamma = -\frac{\delta}{d} \text{ et } \dot{\delta} = -V(\alpha - \gamma) \text{ d'où } \dot{\delta} = -V\alpha - \frac{\delta}{d} \text{ et donc } \dot{\delta} + \frac{V}{d}\delta = -V\alpha$$

### Modélisation dynamique du Translohr

**Q25** Pour une vitesse de vent  $v$  de 120 km/h, calculer l'effort latéral  $Fy_0$  s'appliquant par caisse ( $Fy_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot Cx$ ).

$$\text{AN : } Fy_0 = \frac{1}{2} 1,295 \times \left( 120 \times \frac{1000}{3600} \right)^2 \times 21 \times 1 = 15100 \text{ N}$$

### Approche simplifiée

**Q26** En utilisant les données de la Figure 15, le paramétrage du document DT3, déterminer l'équation dynamique reliant  $\ddot{\delta}_2$ ,  $Fy$ , et  $Fy_0$ . En combinant cette équation aux équations obtenues précédemment, déterminer l'équation différentielle régissant l'évolution du déplacement latéral de l'essieu  $\delta_2$  soumis à une perturbation  $Fy_0$  (échelon).

On isole le MI2 de masse ( $M_c + M_m$ )

Bilan des actions :

- $Fy_0$  ;
- $T_{\text{rail/galets}} (Fyg = 0)$  ;
- $T_{\text{route/roue1}}$  ;
- $T_{\text{route/roue2}}$ .

PFD : Équation de la résultante suivant  $\bar{y}$

$$Mc + Mm \ddot{\delta} = 2Fy \cos \gamma + Fyg + Fy_0$$

Or  $\cos \gamma \approx 1$ ,  $Fyg = 0$  et  $Fy = C_{Fy} \cdot \alpha$  d'où :

$$Mc + Mm \ddot{\delta} = 2C_{Fy} \cdot \alpha + Fy_0$$

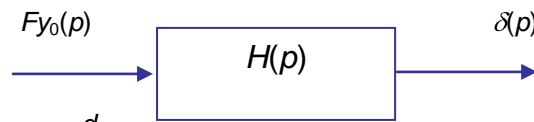
D'après la question Q24 :  $\dot{\delta} + \frac{V}{d} \delta = -V\alpha$

$$\text{On a donc : } Mc + Mm \ddot{\delta} = -\frac{2C_{Fy}}{V} \cdot \left( \dot{\delta} + \frac{V}{d} \delta \right) + Fy_0$$

$$\text{Ainsi : } Mc + Mm \ddot{\delta} + \frac{2C_{Fy}}{V} \dot{\delta} + \frac{2C_{Fy}}{d} \delta = Fy_0$$

**Q27** Mettre cette équation sous forme canonique et déterminer la pulsation propre  $\omega_0$  et l'amortissement  $\xi$ . Conclure sur l'incidence des différents paramètres sur le comportement dynamique du Translohr. À ce stade de l'étude, quelles préconisations techniques qualitatives pouvez vous faire afin d'améliorer le comportement du Translohr ?

Le système peut se modéliser sous la forme suivante :



$$\text{Avec : } H(p) = \frac{\frac{d}{2C_{Fy}}}{\frac{d}{2C_{Fy}} p^2 + \frac{d}{V} p + 1}$$

$$\text{Par identification : } \begin{cases} \omega_0 = \sqrt{\frac{2C_{Fy}}{d Mc + Mm}} \\ \xi = \frac{1}{2} \frac{d}{V} \sqrt{\frac{2C_{Fy}}{d Mc + Mm}} \end{cases}$$

*Incidence des différents paramètres :*

- augmente lorsque d augmente ;
- diminue lorsque V et M augmentent.
- $\frac{1}{C_{Fy}}$  représente « une raideur » de pneu ;
- $\xi$  diminue lorsque  $\frac{1}{C_{Fy}}$  augmente

**Préconisations :** On veut augmenter  $\xi$  afin de limiter les oscillations. Pour cela, il faut :

- augmenter d ;
- diminuer la raideur des pneus ;
- limiter la vitesse et la masse.

*Approche complète pour simulation numérique*

**Q28** En supposant  $\beta_2, \gamma_2, \beta_3$  petit (cf. document DT4 représentant le Translohr en vue de dessous), à l'aide de fermetures géométriques, déterminer les relations  $\gamma_2 = f(\delta_2)$ ,  $\beta_2 = f(\delta_2)$  et  $\beta_3 = g(\delta_2)$ .

Fermeture géométrique ( $O_2'$ ,  $O_2$ ,  $P_2$ )

$$\overline{O_2 O_2} + \overline{O_2 P_2} + \overline{P_2 O_2} = 0$$

$$\delta_2 \vec{y} + d \vec{x}_2 + \overline{P_2 O_2} = 0$$

En projection sur  $\vec{y}$  :  $\delta_2 + d \sin \gamma_2 = 0$

Comme  $\gamma_2$  est petit, nous avons :  $\gamma_2 = -\frac{\delta_2}{d}$

Fermeture géométrique ( $O_2'$ ,  $O_2$ ,  $K_2$ ,  $L_1$ )

$$\overline{O_2 O_2} + \overline{O_2 K_2} + \overline{K_2 L_1} + \overline{L_1 O_2} = 0$$

$$\delta_2 \vec{y} + e \vec{x}_2 + L_v \vec{u}_2 + \overline{L_1 O_2} = 0$$

En projection sur  $\vec{y}$  :  $\delta_2 + e \sin \gamma_2 + L_v \sin \beta_2 = 0$

Comme  $\beta_2$  est petit, en remplaçant  $\gamma_2$  nous avons :  $\delta_2 - \frac{e}{d} \delta_2 + L_v \beta_2 = 0$

$$\text{D'où : } \beta_2 = -\frac{1}{L_v} \left[ 1 - \frac{e}{d} \right] \delta_2$$

Fermeture géométrique ( $O_2'$ ,  $O_2$ ,  $L_2$ ,  $K_3$ )

$$\overline{O_2 O_2} + \overline{O_2 L_2} + \overline{L_2 K_3} + \overline{K_3 O_2} = \vec{0}$$

$$\delta_2 \vec{y} - e \vec{x}_2 - L_v \vec{u}_3 + \overline{K_3 O_2} = \vec{0}$$

En projection sur  $\vec{y}$  :  $\delta_2 - e \sin \gamma_2 - L_v \sin \beta_3 = 0$

Comme  $\beta_3$  est petit, en remplaçant  $\gamma_2$  nous avons :  $\delta_2 + \frac{e}{d} \delta_2 - L_v \beta_3 = 0$

$$\text{D'où : } \beta_3 = \frac{1}{L_v} \left[ 1 + \frac{e}{d} \right] \delta_2$$

**Q29** Sans faire aucun calcul, proposer une démarche de résolution permettant de déterminer les actions de la route sur les roues en fonction des variables d'entrée définies Figure 14. Pour chaque isolement on prendra soin de définir l'ensemble isolé, le bilan des actions mécaniques extérieures, l'équation à utiliser et les variables obtenues à l'issue de l'isolement.

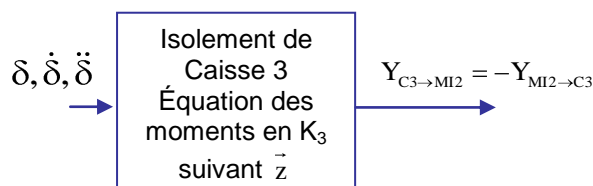
On peut traiter le problème comme un problème plan

On isole la Caisse 3

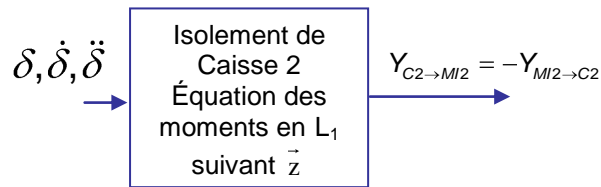
BAME :

- action du MI3 sur la Caisse 3 :  $T_{MI3 \rightarrow C3}$
- action du MI2 sur la Caisse 3 :  $T_{MI2 \rightarrow C3}$
- action du Poids

Le théorème du moment dynamique en  $K_3$  en projection sur  $\vec{z}$  nous donne la composante  $Y_{MI2 \rightarrow C3}$  en fonction de  $\ddot{\beta}_3, \beta_3, \gamma_2, \dot{\beta}_3, \dot{\gamma}_2$  et donc, en utilisant la question précédente, de  $\delta_2 = \delta$ .



De même, on isole la Caisse 2

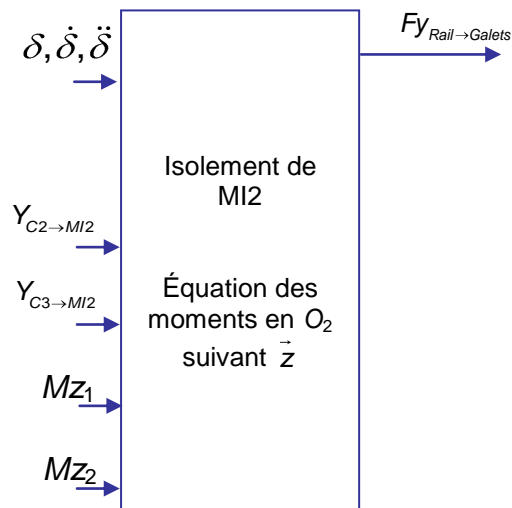


On isole le MI 2

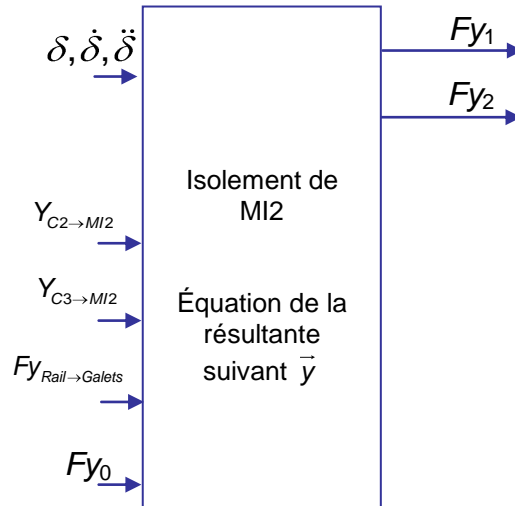
BAME :

- action de la caisse 2 sur MI2 :  $T_{C2 \rightarrow MI2}$
- action de la caisse 3 sur MI2 :  $T_{C3 \rightarrow MI2}$
- action de la pesanteur
- action de la route sur la roue 1 :  $T_{Route \rightarrow Roue1}$
- action de la route sur la roue 2 :  $T_{Route \rightarrow Roue2}$
- action du rail sur les galets de guidage :  $T_{Rail \rightarrow Galets}$
- action de la perturbation  $Fy_0$

Le théorème du moment dynamique en  $O_2$  en projection sur  $\vec{z}$  donne :



Le théorème de la résultante dynamique en projection sur  $\vec{y}$  donne :

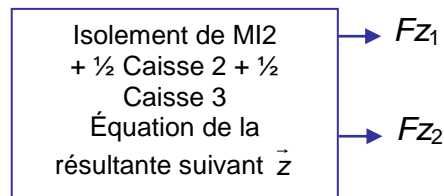


On isole l'ensemble MI 2 +  $\frac{1}{2}$  Caisse 2 +  $\frac{1}{2}$  Caisse 3

BAME :

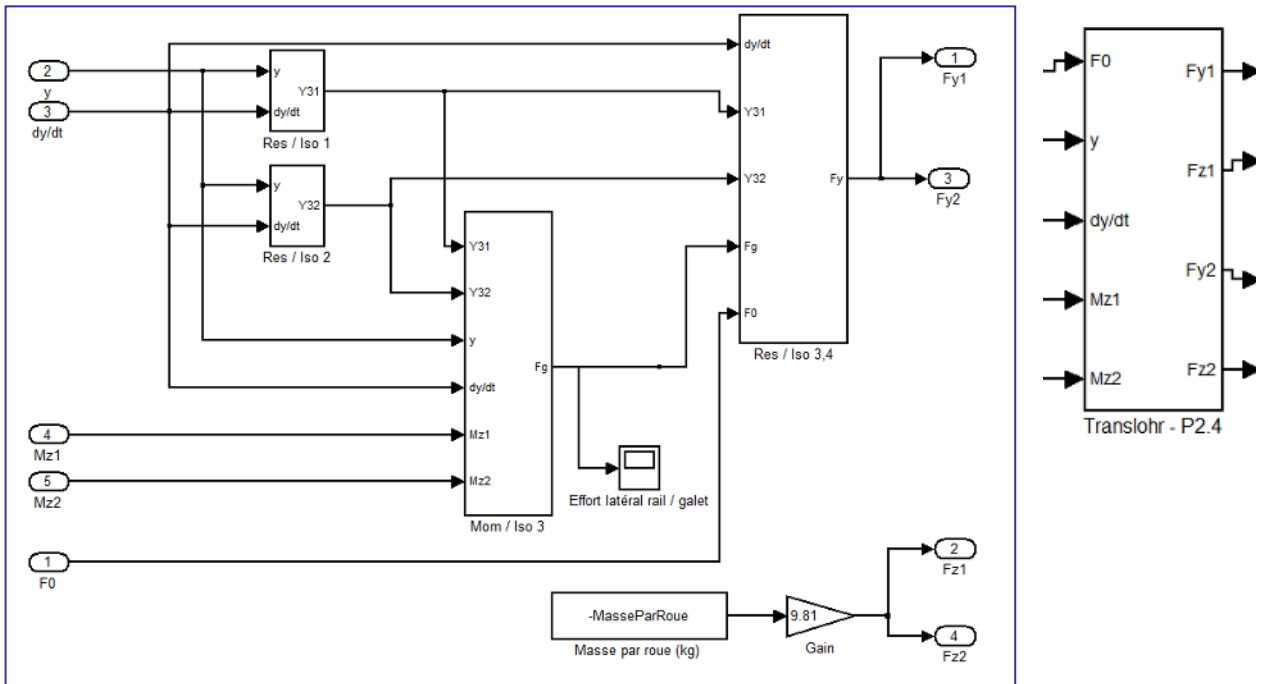
- action de la pesanteur ;
- action de la route sur la roue 1 :  $T_{Route \rightarrow Roue1}$  ;
- action de la route sur la roue 2 :  $T_{Route \rightarrow Roue2}$  ;
- action du rail sur les galets de guidage :  $T_{Rail \rightarrow Galets}$  ;
- action de la perturbation  $F_{y_0}$

Le théorème de la résultante dynamique en projection sur  $\vec{z}$  donne :



**Q30** Compléter le document réponse DR3 représentant graphiquement les équations issues de votre démarche. Chaque bloc de ce document doit représenter une équation conformément à l'exemple donné.

(Cf DR3) Pour information, voici le modèle utilisé pour la simulation donnée sur le document DT6 :



*Exploitation et analyse des résultats*

**Q31** Analyser les résultats de simulations et proposer une analyse comparative conduisant à des préconisations techniques concernant la distance  $d$  et la présence ou non d'un système antilacet.

*Analyse des effets de la distance  $d$*

Même si l'augmentation de  $d$  se traduit par un meilleur amortissement,  $d$  a une incidence modérée sur les effets dynamiques (cf. (courbes 1 et 3) et (courbes 2 et 4)).

En revanche, diminuer  $d$  conduit à augmenter de manière significative les efforts du rail sur les galets (cf. (courbes 1 et 3) et (courbes 2 et 4)).

**Préconisation :  $d = 1,2$  m est préférable** (moins d'oscillations et moins d'efforts)

*Analyse du système antilacet*

L'antilacet diminue fortement la durée durant laquelle il y a oscillation (cf. (courbes 1 et 2) et (courbes 3 et 4)). Cependant, l'antilacet ne réduit pas l'amplitude de l'accélération initiale, qui est la plus ressentie par les passagers. De plus, l'antilacet augmente les efforts de guidage.

**Préconisation : Il n'est pas nécessaire d'implanter un antilacet.**

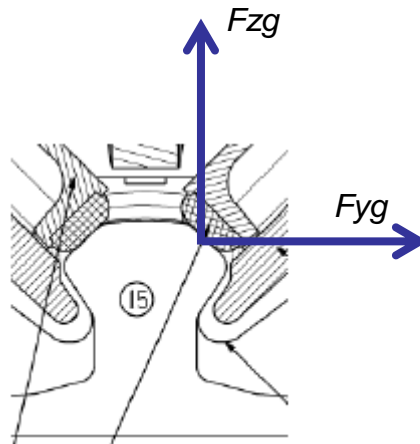
## Définition du système de guidage

Détermination du ressort de plaquage

**Q32** À partir de la Vue 3 du document DT7, déterminer la charge verticale minimale d'un galet sur le rail  $F_{zg}$  associée à la charge latérale normale de pilotage  $F_{yg}$ .

L'axe du galet étant incliné de  $45^\circ$ , pour obtenir une charge latérale normale de pilotage  $F_{yg} = 140$  daN, on doit avoir :

$$F_{zg} = F_{yg} = 140 \text{ daN}$$



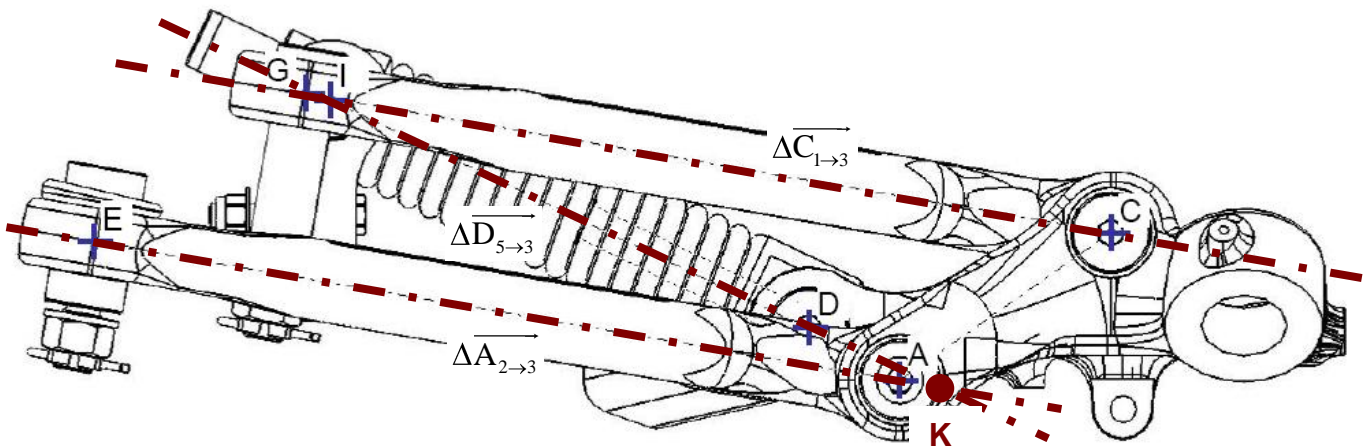
**Q33** En justifiant clairement la méthode utilisée, à partir de  $F_{zg}$ , déterminer l'effort minimal que doit fournir le ressort de plaquage (Cf documents DT7 et DT8).

Le problème peut être assimilé à un problème plan.

La résolution peut se faire de manière graphique ou analytique.

**Résolution graphique :** (à partir de la vue 4 du document DT7)

### Construction 1



Vue 4 : Vue de profil

P  
+

Les pièces 1 et 2 et l'ensemble (5 + 6 + 7) sont, chacun d'entre eux, soumis à 2 glisseurs. On peut donc tracer :

$\Delta C_{1 \rightarrow 3}$ ,  $\Delta D_{5 \rightarrow 3}$  et  $\Delta A_{2 \rightarrow 3}$  (cf. construction 1)



On isole l'ensemble (3 + Galets)

BAME :

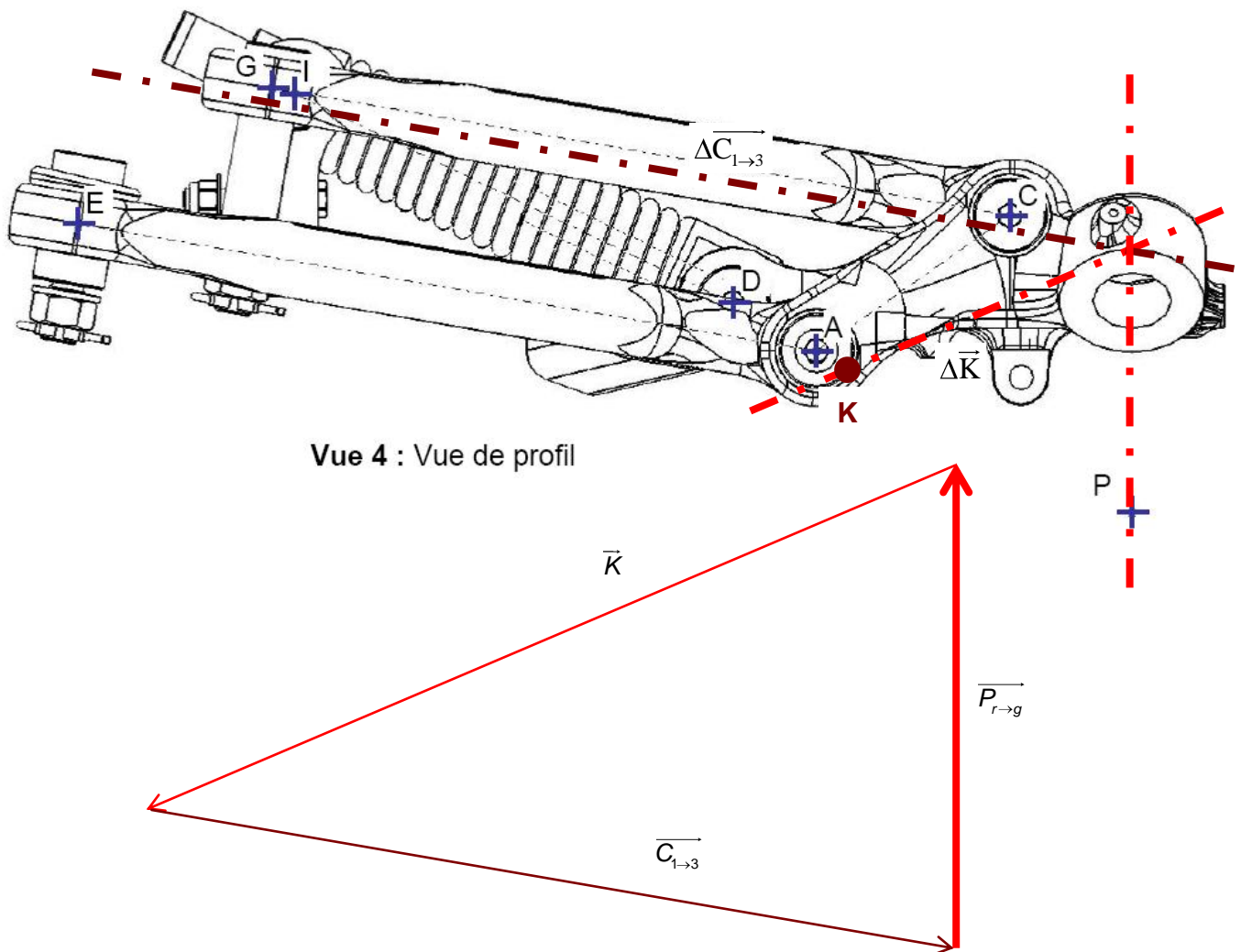
- $\overrightarrow{P_{r \rightarrow g}} = 140 \vec{z}$  (daN) en P
- $\overrightarrow{C_{1 \rightarrow 3}}$ , direction et point d'application connus ;
- $\overrightarrow{D_{5 \rightarrow 3}}$ , direction et point d'application connus ;
- $\overrightarrow{A_{2 \rightarrow 3}}$  direction et point d'application connus.

Soit  $\overrightarrow{K} = \overrightarrow{A_{2 \rightarrow 3}} + \overrightarrow{D_{5 \rightarrow 3}}$  appliqué en K ( $K = \Delta \overrightarrow{A_{2 \rightarrow 3}} \cap \Delta \overrightarrow{D_{5 \rightarrow 3}}$ , cf. construction 1)

(3 + galets) est donc soumis à trois glisseurs :  $\overrightarrow{P_{r \rightarrow g}}$ ,  $\overrightarrow{C_{1 \rightarrow 3}}$  et  $\overrightarrow{K} = \overrightarrow{A_{2 \rightarrow 3}} + \overrightarrow{D_{5 \rightarrow 3}}$

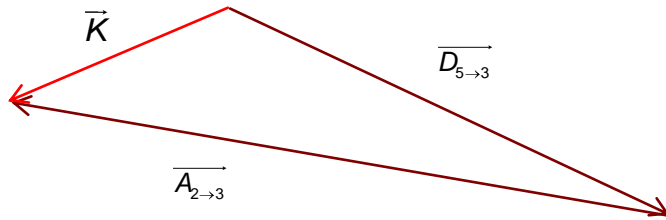
On peut donc déterminer  $\overrightarrow{K} = \overrightarrow{A_{2 \rightarrow 3}} + \overrightarrow{D_{5 \rightarrow 3}}$  (cf. Construction 2)

**Construction 2 (20 daN  $\Leftrightarrow$  1 cm)**



Connaissant  $\overrightarrow{K}, \Delta \overrightarrow{A_{2 \rightarrow 3}}, \Delta \overrightarrow{D_{5 \rightarrow 3}}$ , on peut en déduire  $\overrightarrow{D_{5 \rightarrow 3}}$  (cf. Construction 3)

### Construction 3 (80 daN ⇔ 1 cm)



Le ressort de plaquage doit donc fournir un effort minimal d'environ **512 daN (6,4 cm)**.

#### Résolution analytique :

Dans le plan  $(O, \vec{z}, \vec{x})$ , les pièces 1 et 2 et l'ensemble (5 + 6 + 7) sont, chacun d'entre eux, soumis à 2 glisseurs. On peut donc poser :

$$\vec{C}_{1 \rightarrow 3} = X_{13} \vec{x}_1 \quad \text{avec} \quad \vec{x}_1 = \frac{\vec{GC}}{\|\vec{GC}\|} = \frac{399,2\vec{x} - 68,5\vec{z}}{405,0}$$

$$\vec{A}_{2 \rightarrow 3} = X_{23} \vec{x}_2 \quad \text{avec} \quad \vec{x}_2 = \frac{\vec{EA}}{\|\vec{EA}\|} = \vec{x}_1 \quad (\text{les bras 1 et 2 sont parallèles})$$

$$\vec{D}_{7 \rightarrow 3} = X_{73} \vec{x}_7 \quad \text{avec} \quad \vec{x}_7 = \frac{\vec{ID}}{\|\vec{ID}\|} = \frac{237\vec{x} - 112,7\vec{z}}{262,4}$$

On isole l'ensemble (3 + Galets)

BAME :

- $\vec{P}_{r \rightarrow g} = 140 \vec{z}$  (daN) en P
- $\vec{C}_{1 \rightarrow 3}$
- $\vec{D}_{5 \rightarrow 3}$
- $\vec{A}_{2 \rightarrow 3}$

PFS : (équation de la résultante)

$$X_{73} \vec{x}_7 + (X_{13} + X_{23}) \vec{x}_1 + 140 \vec{z} = \vec{0}$$

En projection sur  $\vec{z}_1$ , on a  $X_{73} \vec{x}_7 \cdot \vec{z}_1 + 140 \vec{z} \cdot \vec{z}_1 = 0$  d'où  $X_{73} = -\frac{140 \vec{z} \cdot \vec{z}_1}{\vec{x}_7 \cdot \vec{z}_1}$

$$\vec{x}_1 = \frac{\vec{GC}}{\|\vec{GC}\|} = \frac{399,2\vec{x} - 68,5\vec{z}}{405,0} \quad \text{donc} \quad \vec{z}_1 = \frac{\vec{GC}}{\|\vec{GC}\|} = \frac{68,5\vec{x} + 399,2\vec{z}}{405,0}$$

$$\text{D'où} \quad X_{73} = -\frac{140 \times 399,2 / 405}{(237 \times 68,5 - 112,2 \times 399,2) / (262,4 \times 405)} = 513,5 \text{ daN}$$

Dimensionnement de l'axe de retenue 5 (Cf DT7 et DT8)

**Q34** Entourer sur le document DR4 les critères intervenant dans le choix du matériau de l'axe de retenue. Pour chaque critère retenu, entourer la ou les limites à renseigner (Mini, Maxi ou les deux). Justifier sur votre copie le choix de ces critères et indiquer au besoin des critères supplémentaires à considérer.

(Cf DR4)

Critère d'optimisation : **le prix**

La pièce est une **pièce de sécurité**, on doit donc imposer **la limite élastique** et la **ténacité**.

Pour éviter l'apparition de **jeu dans les liaisons** on doit avoir une **dureté** minimale.

Le matériau doit être recyclable (Considérations écologiques).

La pièce est usinée dans la masse (Forme simple + sécurité) et doit donc offrir une bonne usinabilité.

#### **Critères supplémentaires**

La pièce est sous le châssis, elle doit donc résister à la corrosion.

On peut **éventuellement** chercher à minimiser le **frottement** dans les liaisons.

**Q35** Proposer un mode de réalisation, les traitements éventuels ainsi que les essais à réaliser pour valider le comportement du matériau retenu relativement aux fonctions de la pièce.

#### **Mode de réalisation**

On est **en petite série**, la pièce est une **pièce de sécurité** et la forme de la pièce est proche d'une **barre cylindrique**. Cette pièce est donc probablement **usinée dans la masse** car une ébauche estampée serait trop chère étant donné le faible nombre de pièces à fabriquer.

Traitements :

On peut augmenter **la dureté superficielle** au niveau du guidage par **une cémentation** et une **trempe** mais il est préférable d'effectuer **un chromage dur**. Ce traitement va permettre d'obtenir :

- une **dureté** de 65-70 HRc ;
- une résistance à l'usure ;
- une résistance à l'abrasion ;
- une **résistance à la corrosion** des agents chimiques ;
- un bas coefficient de frottement avec la pièce de guidage.

#### **Essais à réaliser**

La pièce étant une pièce de sécurité, il est important de vérifier la limite élastique annoncée. Pour cela on peut réaliser **un essai de traction** sur un échantillon du matériau.

Un **essai de dureté** peut éventuellement être pratiqué afin de vérifier la qualité du traitement de surface dans les zones de liaison.

**Q36** Calculer la limite élastique minimale du matériau de l'axe de retenue, en justifiant clairement la méthode utilisée.

Par une méthode identique à celle décrite à la question Q33, nous pouvons déterminer l'effort maximal en traction que doit supporter la pièce.

La force verticale d'arrachement par couple de galets en statique étant de 5 000 daN nous trouvons un effort à supporter de 18339 daN.

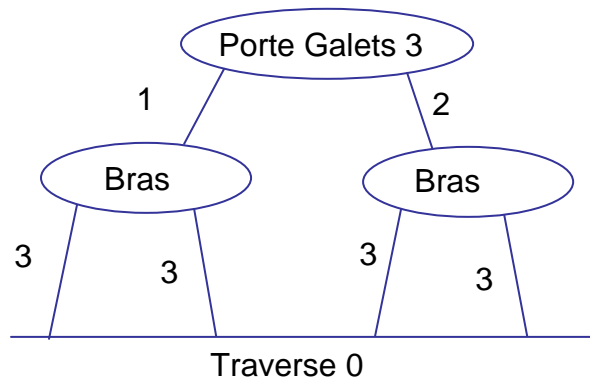
Le diamètre minimal de l'axe de retenue est de 22,5 mm (15 mm mesuré sur le plan  $\times 3/2$ ).

La limite élastique doit donc être supérieur à :  $\frac{183390}{\pi \frac{22,5^2}{4}} = 461 \text{ MPa}$

Spécifications du porte galets (Cf DT7)

**Q37** Calculer le degré d'hyperstatisme du mécanisme de guidage. En déduire les contraintes géométriques à imposer aux différentes pièces constituant le mécanisme.

Grphe des liaisons (Cinématique)



Hyperstatisme global

$$Ec = 6 \gamma = 6 \times 3 = 18 \text{ équations}$$

$$m = 1 \text{ (1 mobilité)}$$

$$lc = 3 + 3 + 3 + 3 + 2 + 1 = 15$$

$$h = (Ec - lc) + m = 18 - 15 + 1 = 4 \Rightarrow \text{Le système est hyperstatique d'ordre 4}$$

Étude de la boucle 0-2 :

$$h = (6 - 6) + 1 = 1$$

$\Rightarrow$  La boucle est hyperstatique d'ordre 1  $\Rightarrow$  **1 contrainte géométrique** sur les 2 pièces (**distance EF à imposer sur 0 et sur 2**)

Étude de la boucle 0-1 :

$$h = (6 - 6) + 1 = 1$$

$\Rightarrow$  La boucle est hyperstatique d'ordre 1  $\Rightarrow$  **1 contrainte géométrique** sur les 2 pièces (**distance GH à imposer sur 0 et sur 1**)

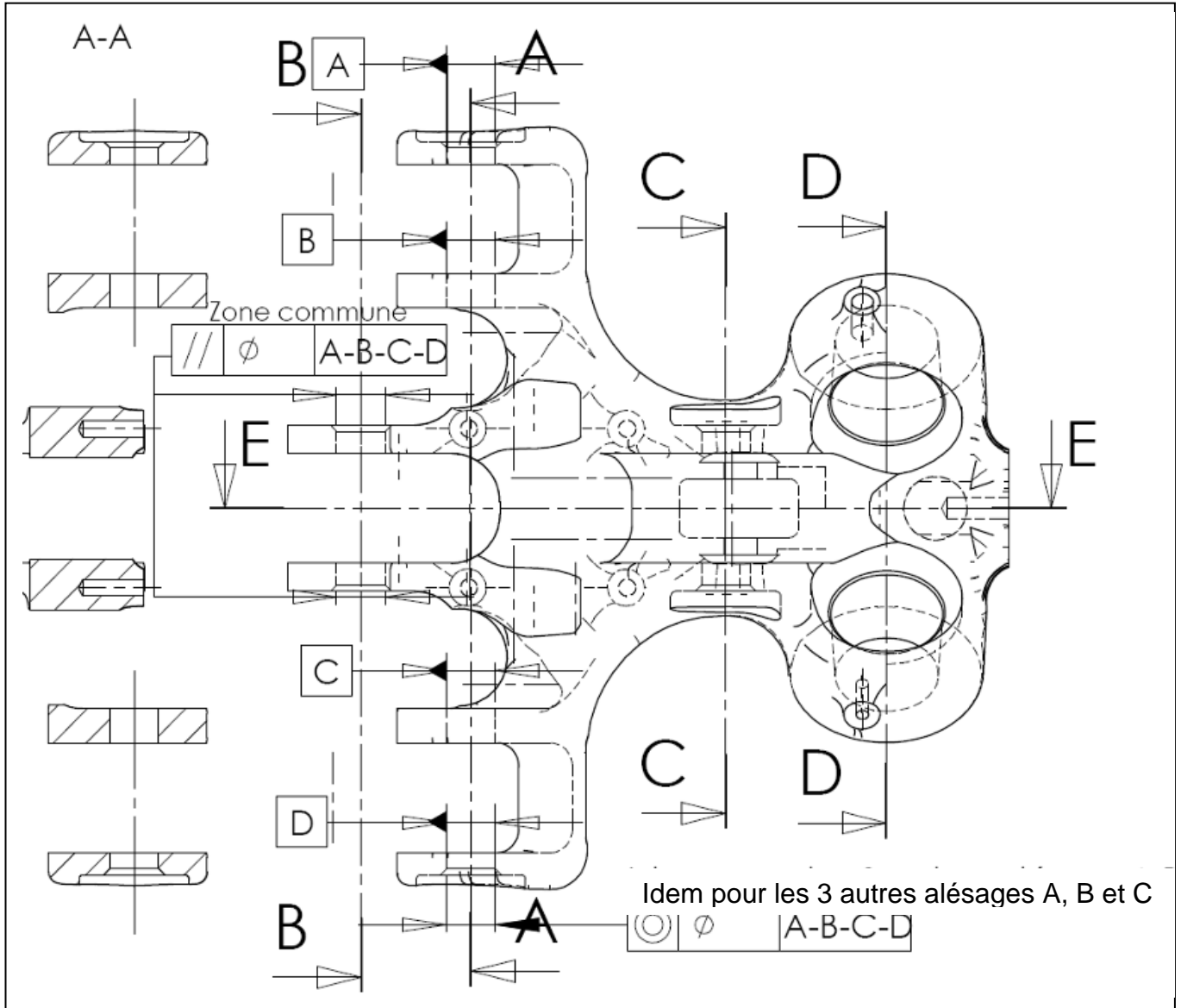
Positionnement de 3 :

Le système étant globalement hyperstatique d'ordre 4, il reste un hyperstatisme d'ordre 2 sur le positionnement de 3. On a donc **2 contraintes géométriques** à imposer sur chacune des pièces.

- sur 0 : *parallélisme entre EF et GH (suivant 2 axes) ;*

- sur 1 : parallélisme entre  $GH$  et  $(D, \vec{y})$  (suivant 2 axes) ;
- sur 2 : parallélisme entre  $EF$  et  $AB$  (suivant 2 axes) ;
- sur 3 : parallélisme entre  $AB$  et  $(D, \vec{y})$  (suivant 2 axes) ;

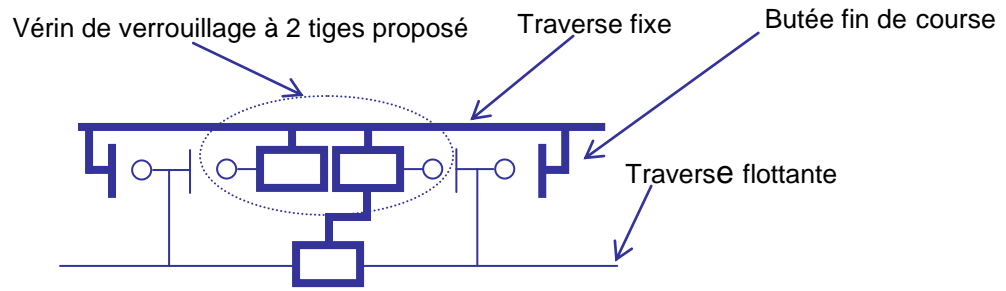
**Q38** Sur le document réponse DR5, porter les spécifications liées au positionnement du Porte Galets issues de l'analyse précédente (Les valeurs numériques des tolérances ne sont pas demandées).



*Conception du système de débrayage du système de guidage*

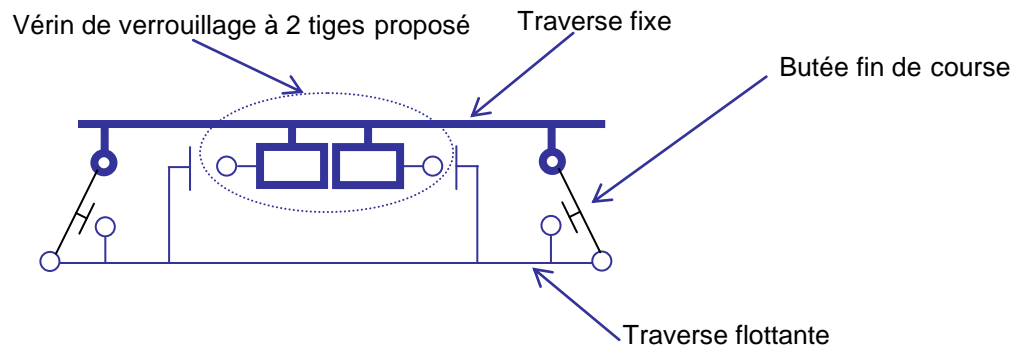
**Q39** Proposer sous forme de croquis, schémas légendés, deux propositions de solutions technologiques. Vous pouvez utiliser le vérin à 2 tiges proposé document DT10 ou tout autre système que vous décrirez précisément.

**Solution 1 : (basée sur une liaison glissière)**

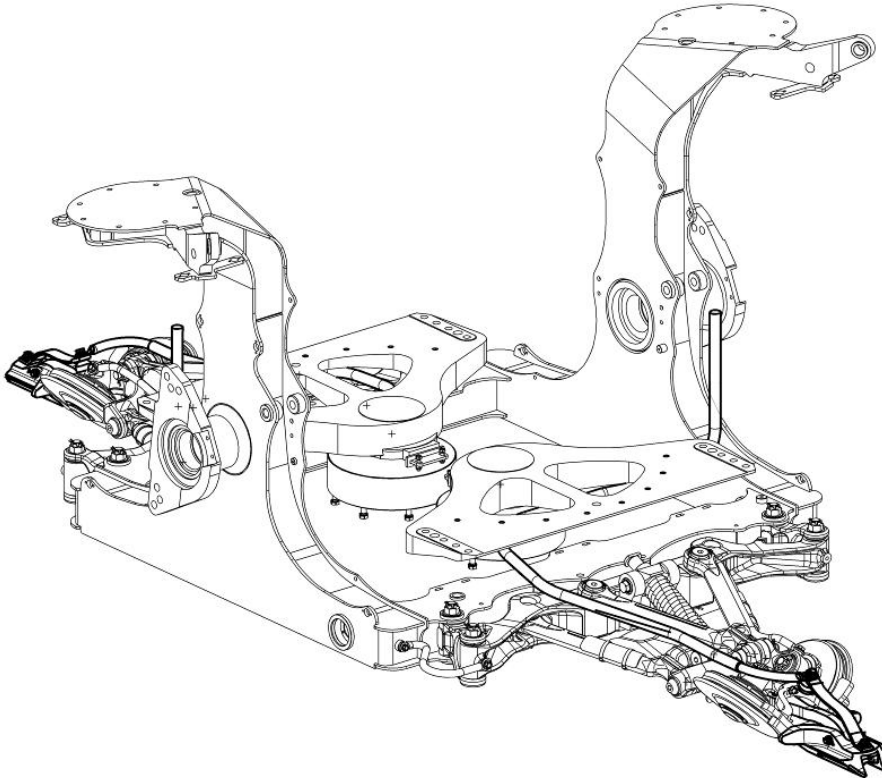
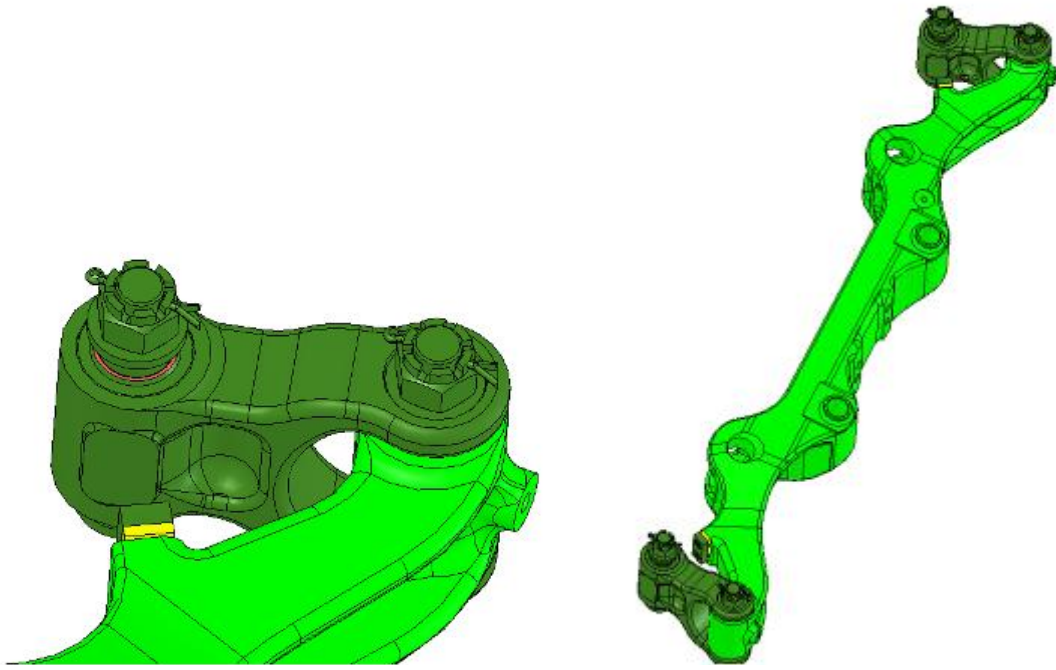


Cette solution comporte une liaison glissière entre la traverse fixe et la traverse flottante afin de permettre le débattement demandé.

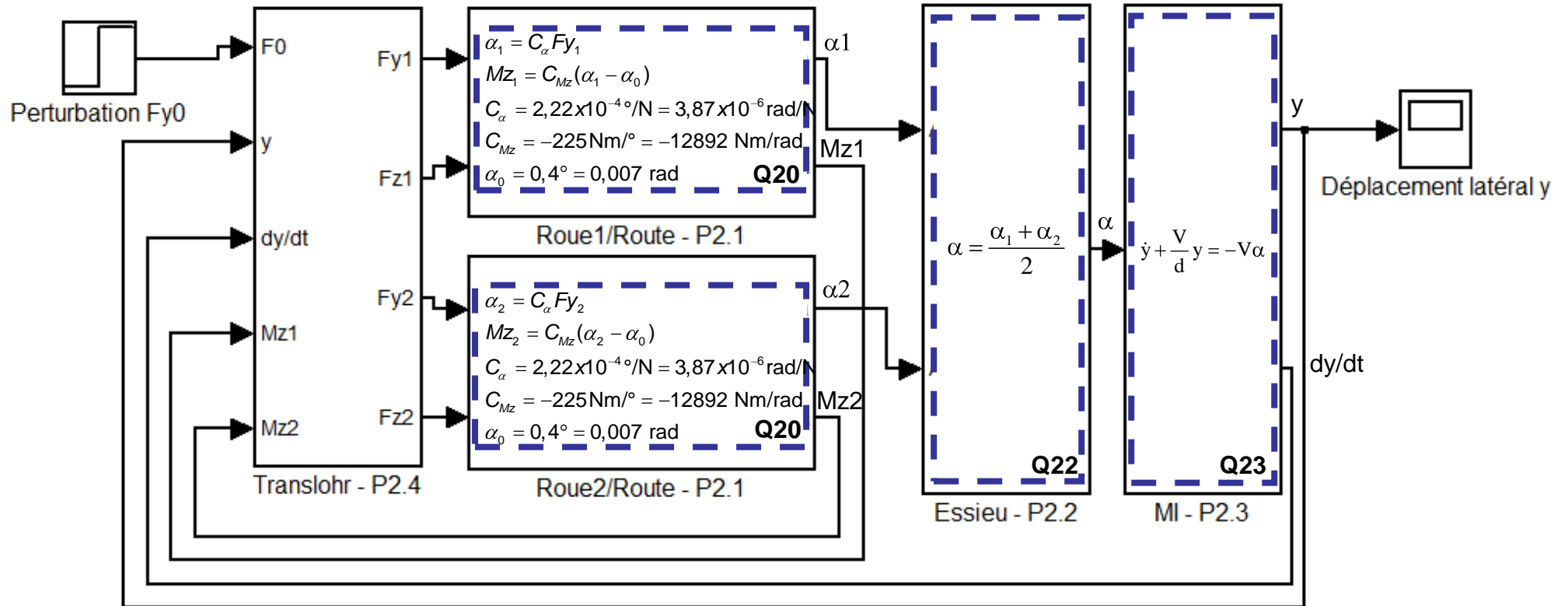
**Solution 2 : (basée un système 4 barres)**



Cette solution comporte deux bielles entre la traverse fixe et la traverse flottante afin de permettre le débattement demandé.



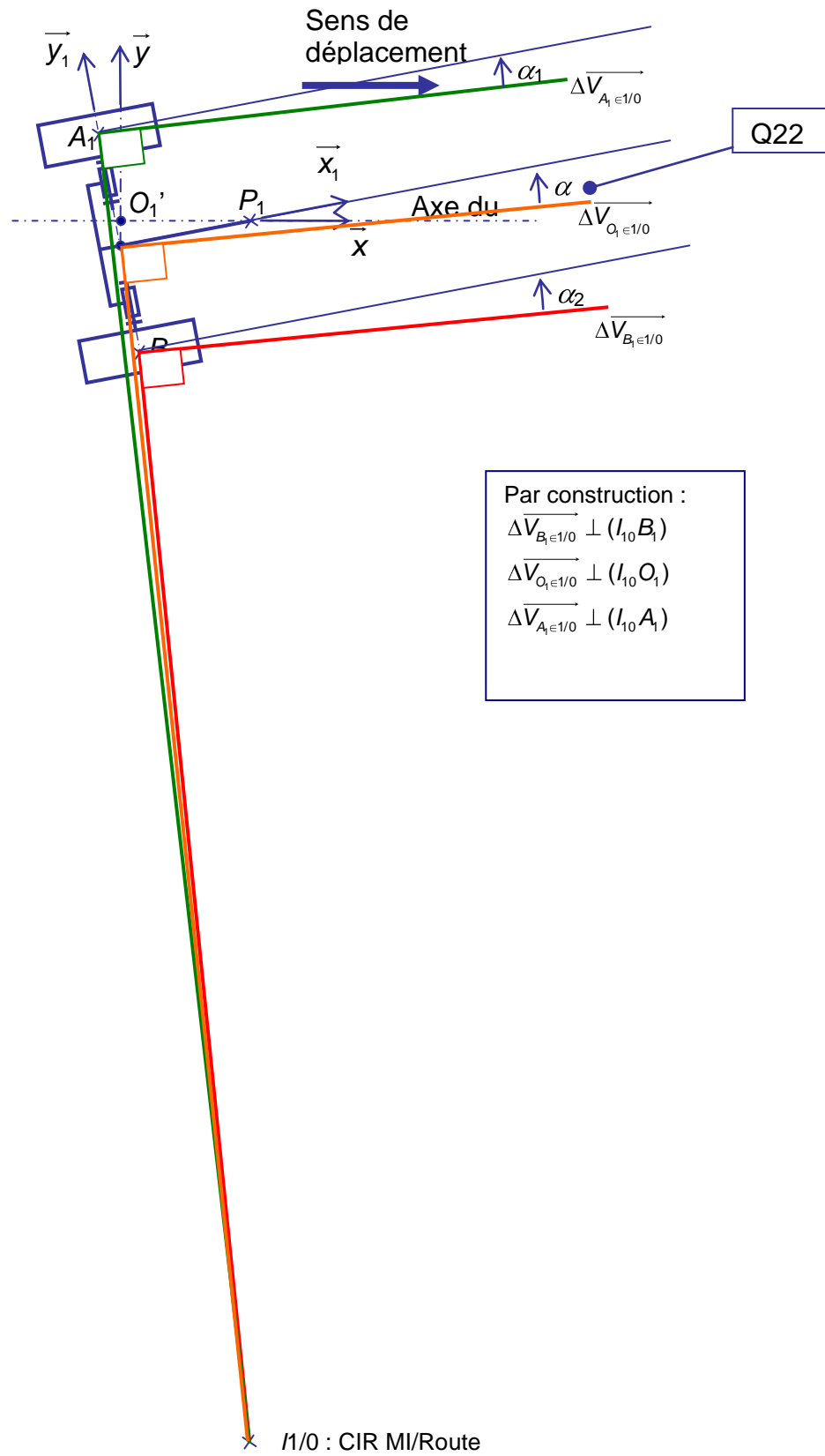
# DR1 : MODÈLE GLOBAL DU TRANSLOHR



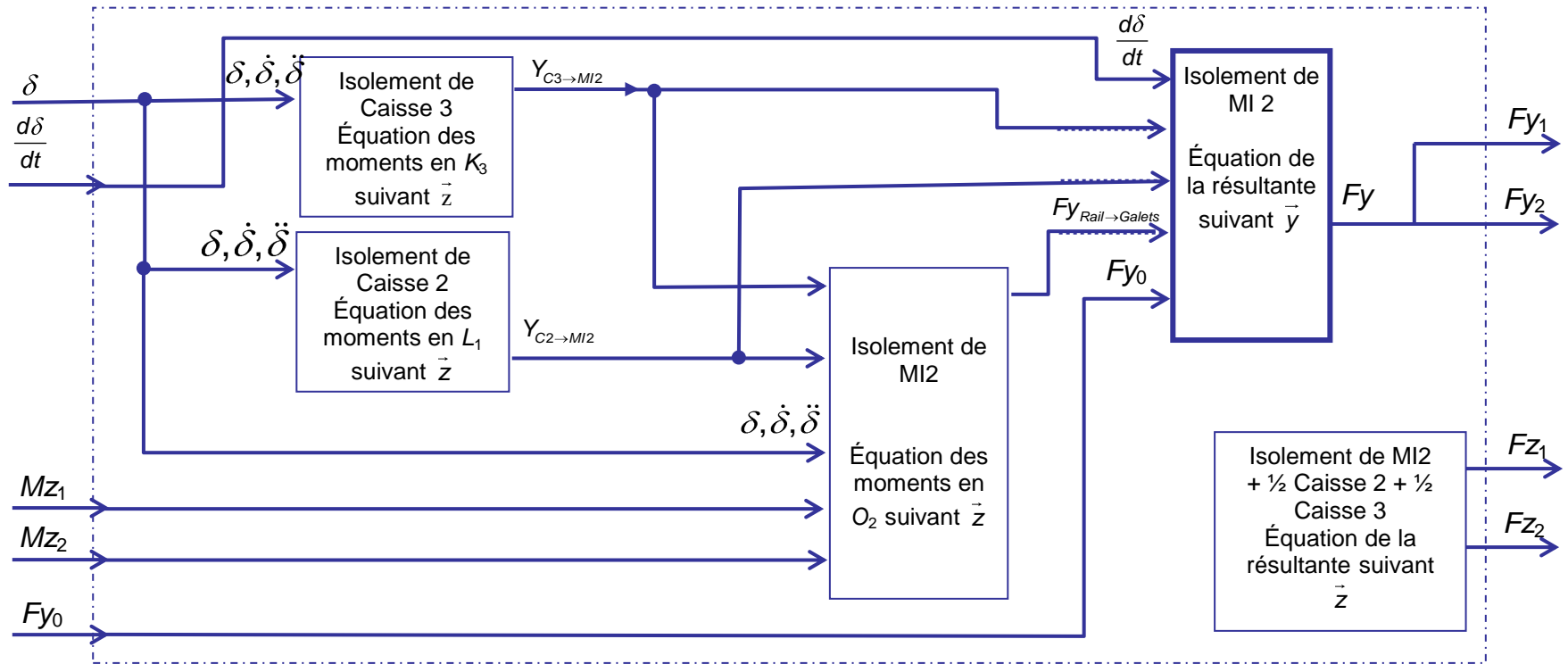
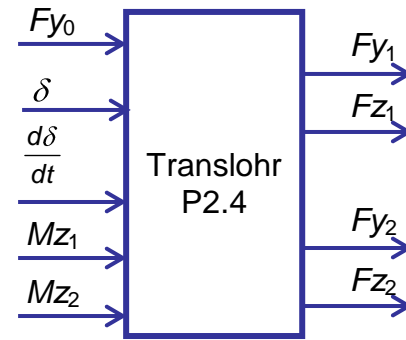


## DR2 : COMPORTEMENT CINÉMATIQUE DU MI

Q21 :



DR3 : DÉMARCHE DE RESOLUTION P2.4



# DR4 : CRITÈRES DE CHOIX DE MATÉRIAUX

## Propriétés Générales

	Minimum	Maximum	
Masse Volumique	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kg/m <sup>3</sup>
Prix	<input type="text"/>	<input type="text"/>	EUR/kg

## Propriétés Mécaniques

	Minimum	Maximum	
Module de Young	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Module de cisaillement	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Coefficient de Poisson	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Mesure de dureté Vickers	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HV
Limite élastique	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Résistance en traction	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Résistance à la compression	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Allongement	<input type="text"/>	<input type="text"/>	%
Limite de fatigue	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Ténacité	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa.m <sup>1/2</sup>
Coefficient d'amortissement	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

## Propriétés Thermiques

	Minimum	Maximum	
Conductivité thermique	<input type="text"/>	<input type="text"/>	W/m.K
Coefficient de dilatation	<input type="text"/>	<input type="text"/>	μstrain/°C
Chaleur spécifique	<input type="text"/>	<input type="text"/>	J/kg.K
Température de fusion	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Température de transition vitreuse	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Température maximale d'utilisation	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Température minimale d'utilisation	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C

## Propriétés Electriques

	Minimum	Maximum	
Résistivité électrique	<input type="text"/>	<input type="text"/>	μohm.cm
Constante diélectrique	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Facteur de puissance	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Tension de claquage	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1000000*V/m

## Propriétés Optiques

	Minimum	Maximum
Indice de réfraction	<input type="text"/>	<input type="text"/>

## Propriétés Environnementales

	Minimum	Maximum	
Energie nécessaire à la production	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MJ/kg
Dioxyde de carbone	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kg/kg
Recyclable	<input type="checkbox"/>		
Réutilisable	<input type="checkbox"/>		
Biodégradable	<input type="checkbox"/>		
Incinerabilité	<input type="checkbox"/>		
Entreposable dans une décharge	<input type="checkbox"/>		
Une ressource renouvelable ?	<input type="checkbox"/>		

## Possibilités de traitement (échelle de 1 = impraticable à 5 = excellent)

	Minimum	Maximum
Aptitude à être moulé	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Formabilité	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Usinabilité	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Soudabilité	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Aptitude au soudage/brasage	<input type="text"/>	<input type="text"/>

## Durabilité

### Critères supplémentaires :

- Résistance à la corrosion
- Frottement minimale avec les paliers



**Epreuve écrite d'admissibilité :**  
**ANALYSE ET CONCEPTION DES SYSTEMES**  
**- Rapport du jury -**

L'épreuve d'analyse et conception des systèmes, commune aux agrégations de mécanique et de génie mécanique, prenait appui sur un tramway monté sur pneumatiques, développé et réalisé par la société Lohr.

Cette épreuve, destinée à évaluer les connaissances des candidats dans les domaines de la mécanique du solide et de la construction, a été conçue de façon à ce que la difficulté soit graduelle, d'un niveau BTS à un niveau master.

L'objectif général consistait à mettre en évidence l'une des limites majeures d'une solution sur rails et de démontrer la faisabilité d'une solution sur pneumatiques.

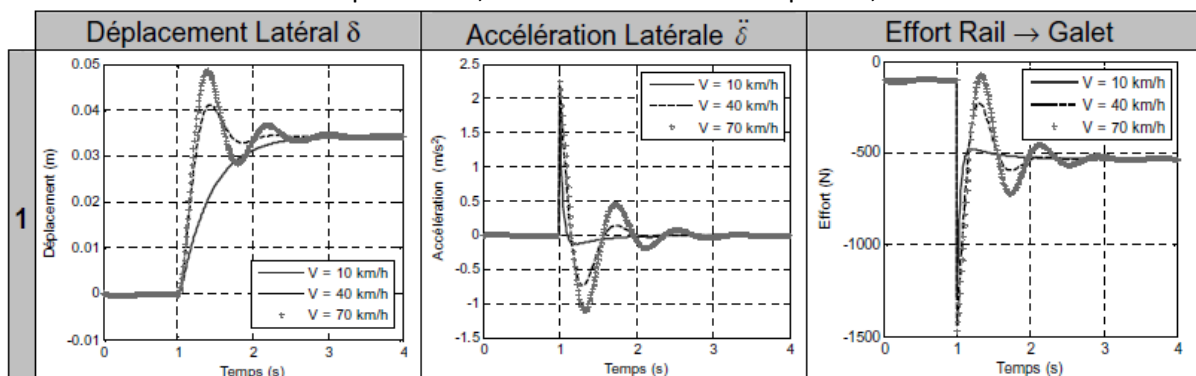
Les questions ont été rédigées à partir de problématiques auxquelles le constructeur a été confronté, parfois simplifiées afin de limiter la complexité des modèles correspondants.

La démarche adoptée est celle d'un bureau d'études. L'aspect purement mathématique de résolution d'une équation ou de systèmes d'équations plus ou moins complexes n'est donc pas demandé, étant traité par un ordinateur.

La démarche consiste à établir une modélisation du système étudié puis à effectuer sa mise en équations. Un outil de type schéma-blocs permet un tel travail de manière méthodique en identifiant, préalablement aux mises en équations proprement dites, les systèmes ou sous-systèmes qui nécessitent d'être successivement étudiés, les grandeurs dont la détermination s'avère nécessaire, et celles qui influent la détermination des précédentes. A l'issue de l'établissement des équations liant les grandeurs entrantes et sortantes, que celles-ci relèvent de la mécanique (cas de notre étude), de l'hydraulique, du génie électrique..., l'exploitation pourra se centrer sur :

⇒ Le calcul d'inconnues ;

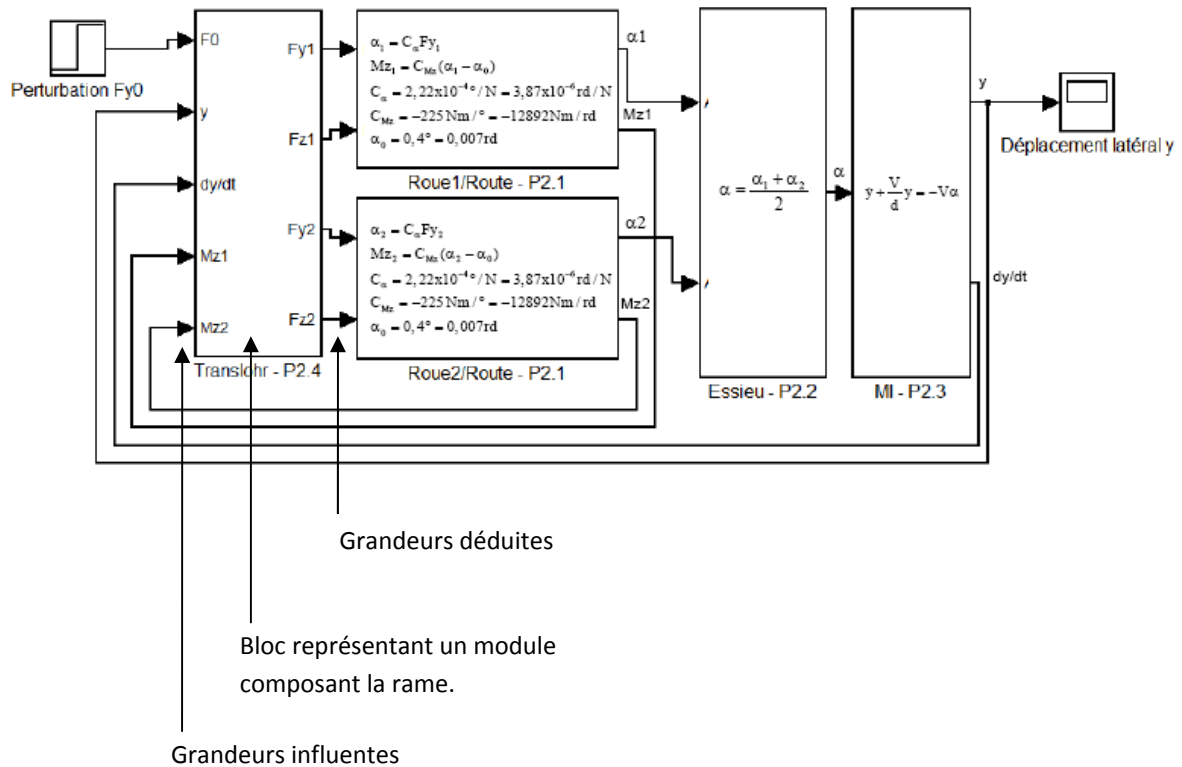
⇒ L'étude de l'influence d'un paramètre, voire la recherche d'un optimal ;



Extrait de DT6

⇒ La validation du modèle établi (ou la remise en cause de celui-ci) par confrontation avec des relevés de mesures.

Exemple de schéma blocs : l'objectif est l'étude du comportement dynamique de la rame sous l'effet d'une perturbation de type vent latéral.



Des résolutions simples, telles la solution d'une équation différentielle linéaire du premier ordre ou l'étude de l'équilibre d'un système soumis à l'action de trois forces ont néanmoins été demandées dans le sujet, l'utilisation d'outils de simulation, tel celui évoqué ci-dessus, ne se justifiant pas pour des calculs élémentaires.

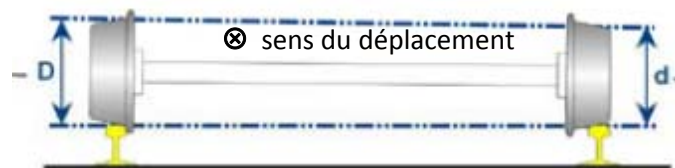
## Partie 1 Etude comparative : solution sur rails - solutions sur pneus

La solution sur rail est, dans le cas d'un essieu, stable. Cela peut se démontrer de façon élémentaire, sans calculs :

Comportement souhaité : l'essieu est centré par rapport aux rails. Aucun des boudins ne frotte contre les rails.



Lors d'un déport, par exemple vers la gauche, le diamètre de la roue gauche au niveau du contact avec le rail droit est supérieur au diamètre de la roue droite au niveau du contact avec le rail, du fait de la conicité des roues. Comme les deux roues sont assujetties à tourner à la même vitesse, cette différence de diamètre provoque un déplacement de l'essieu vers la droite, le ramenant vers la position médiane.



Cette approche simple, si elle est valable sur le principe, ne peut se suffire à elle-même. Les questions Q1 à Q6 permettent de confirmer ce comportement mais mettent en évidence la nécessité d'un amortissement (au sens de l'automatisme) permettant d'éviter des oscillations entretenues. Cet amortissement est en particulier dû au frottement des roues sur les rails. Une étude dynamique plus complexe est alors nécessaire pour analyser précisément le comportement. Elle est en particulier fondamentale dans le cas de trains roulant à grande vitesse pour lesquels les oscillations latérales peuvent être génératrices d'inconfort.

Dans le cas d'un plancher plat les deux roues ne peuvent plus être reliées et ne sont donc plus assujetties à tourner à la même vitesse. Une étude très simple, par exemple en traduisant la minimisation de l'énergie potentielle de pesanteur de la rame, montrerait en quelques lignes que l'un des boudins vient nécessairement en contact avec le rail, ce qui engendre usure et grincement. Une autre conséquence est la vitesse maximale tolérée, bien inférieure à celle du Translohr.

La durée de l'épreuve ne permettant pas une étude complète du comportement d'un tramway sur rail, seule une mise en évidence de ce problème de stabilité latérale est demandée, faisant l'objet des questions Q1 à Q8.

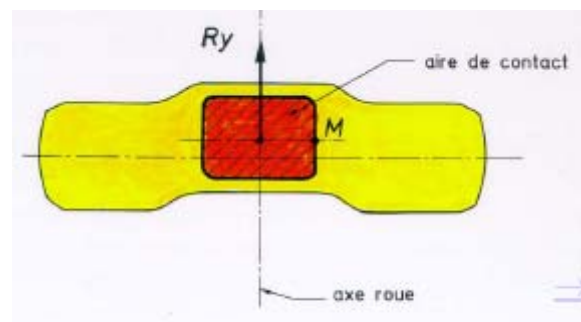
Ces questions, assez élémentaires, ont été traitées par la quasi totalité des candidats, et la plupart du temps avec succès, à l'exception de la question Q8 : peu de candidats ont compris la conséquence d'un désaccouplement des roues d'un même essieu.

La solution retenue par Lohr est une solution sur pneus.

Le pneumatique est un solide déformable au comportement complexe. Intéressons-nous à son comportement sous l'action d'une sollicitation latérale :

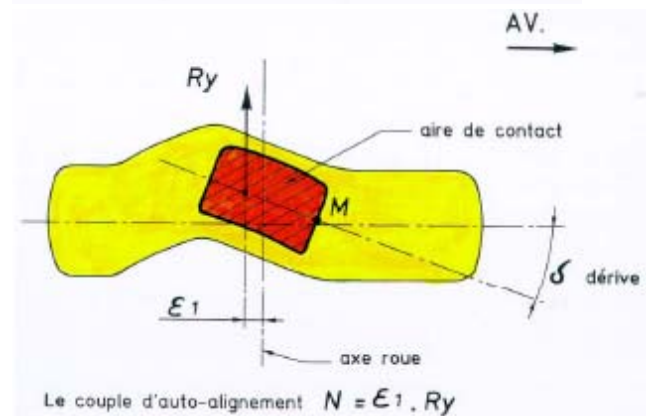
#### Comportement statique

Soumis à un effort latéral, le pneumatique se déforme. Apparaît fort logiquement un déplacement latéral.



#### Comportement dynamique

Lors d'un déplacement du véhicule, la partie arrière de la zone de contact du pneumatique avec le sol est plus déformée que la partie avant, qui vient d'entrer en contact avec le sol et était donc préalablement non déformée. La résultante des actions exercée par la chaussée sur le pneumatique n'est donc plus centrée. Apparaît alors un moment, appelé moment d'auto-alignement.



On se rapportera utilement à la littérature relative à la modélisation de la déformée d'un pneumatique ("*Dynamique des véhicules routiers*" de Charles Deutsch et "*Dynamique du véhicule – Modélisation des systèmes complexes*" de Jean-Pierre Brossard en particulier).

Le moment d'auto-alignement est à prendre en compte dans l'étude du comportement dynamique de la rame. C'est l'objet de la seconde partie du sujet.

Les questions Q9 à Q14 ont pour objet une étude purement cinématique du comportement du système de guidage imaginé par Lohr.

Celle-ci ont été traitées par une très grande partie des candidats, et plutôt correctement.



Le Translohr possède des caractéristiques propres intéressantes, telles :

- une vitesse maximale importante : 70 km/h
- une capacité de franchissement de pentes importantes : 13%
- un faible rayon de giration : 10,5 m

L'emprise à réserver sur la chaussée pour la circulation de ce tramway dépend du rayon de giration minimal, de la largeur des rames ainsi que du déport des modules composant la rame dû au choix du système de guidage.

Les questions Q15 à Q18 avaient pour objectif la détermination de cette emprise. Correspondant à des constructions géométriques, ces questions ont été plutôt bien traitées par les candidats qui les ont abordées (environ 40 %).

## **Partie 2 Validation du comportement du Translohr**

Cette partie avait pour objectif d'établir un modèle du Translohr exploitable numériquement, permettant de simuler et valider son comportement. Le comportement dynamique de la rame sous l'effet d'une perturbation de type vent latéral était en particulier analysé.

Chaque sous-partie permet de construire une partie du modèle global présenté sous la forme d'un schéma-blocs.

La première sous-partie était centrée sur la modélisation pneumatique-sol. En effet, un pneumatique étant déformable (indépendamment de la déformation latérale sous effort évoquée précédemment), son comportement est complexe et ne peut pas être modélisé par un simple roulement sans glissement dès lors qu'on cherche à obtenir un modèle réaliste.

Les questions Q19 à Q20 avaient pour objectif de modéliser la liaison pneumatique-sol en utilisant le modèle de Pacejka. Il s'agissait ici d'analyser le modèle proposé et de le linéariser au vu des conditions d'utilisation.

60 % des candidats ont abordé cette partie. Ces questions ont été bien traitées par 35 % d'entre eux.

Les seconde et troisième sous-parties reprenaient l'étude de la partie 1 relative au comportement cinématique du translohr, mais en remplaçant le modèle de roulement sans glissement par le modèle de Pacejka étudié précédemment.

Les questions Q21 à Q22 permettaient de visualiser graphiquement les vitesses des centres des roues en utilisant la notion d'angle de glissement.

80 % des candidats ont abordé cette partie et environ 40 % l'ont traitée correctement.

Concernant la mise en équation, objet des questions Q23 à Q24, 17 % des candidats l'ont réalisée intégralement et correctement.

La partie 2.4 était scindée en trois sous-parties.

La première permettait, à partir d'une étude dynamique très simplifiée, d'étudier l'incidence des différents paramètres sur le comportement du Translohr et d'en déduire des préconisations techniques permettant d'améliorer son comportement.

La seconde s'attachait à définir un modèle de comportement dynamique complet utilisable industriellement. Dans cette partie, seule la démarche était demandée afin d'éviter que les candidats ne se lancent dans des calculs longs et complexes.

Les questions Q25 à Q30 constituaient la partie difficile du sujet. 20 % des candidats les ont abordées. Deux candidats ont proposé un modèle réellement pertinent à la question Q29.

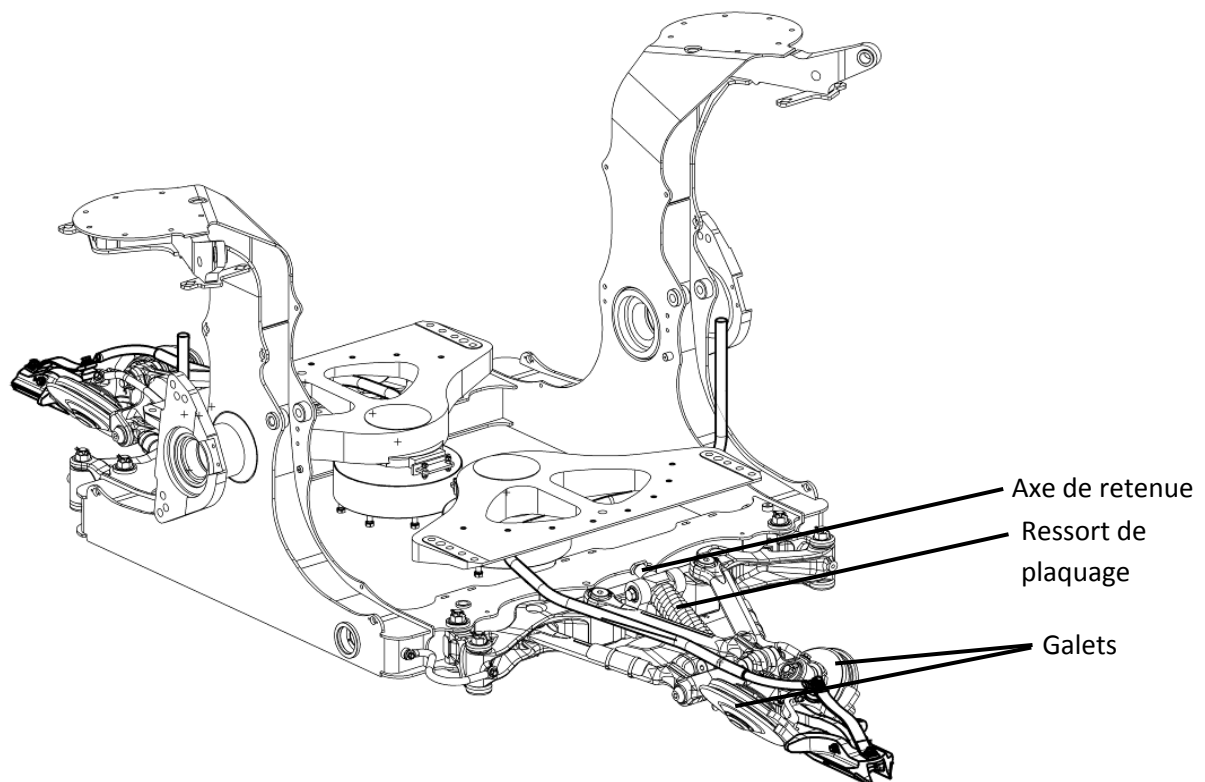
La dernière sous-partie consistait à analyser les résultats de simulation issus du modèle élaboré précédemment.

La plupart des candidats qui ont abordé la question Q31 (40% environ) l'ont traitée correctement. Le jury a particulièrement apprécié les réponses des candidats qui ont fait une critique détaillée et argumentée des simulations proposées.

### **Partie 3 Définition du système de guidage**

Le guidage d'un module intermédiaire MI est assuré par deux dispositifs de guidage disposés symétriquement par rapport à l'axe de l'essieu, assurant l'interface rail / essieu porteur. L'organe de guidage lié au rail est composé de deux galets à axes inclinés.

Les galets sont plaqués sur le rail grâce à un ressort. L'axe de retenue permet de limiter le débattement vertical du dispositif de guidage.



Le travail demandé dans cette partie consistait à définir et dimensionner certains éléments du dispositif de guidage. Il s'agissait en particulier de :

- dimensionner le ressort de plaquage ;
- dimensionner l'axe de retenue ;
- spécifier le porte galet ;
- concevoir le système de débrayage du système de guidage.

#### Détermination du ressort de plaquage

Il s'agissait ici de déterminer l'effort minimal que doit fournir le ressort de plaquage à partir des données du cahier des charges.

La plupart des candidats ont traité correctement la question Q32. En revanche seul 15% d'entre eux ont été capables de traiter un problème de statique plane simple, objet de la question Q33.

Même si aujourd'hui les outils de simulation permettent de s'affranchir des calculs lourds, il reste primordial d'être capable de conduire des calculs simples analytiquement ou graphiquement lorsque l'usage de la simulation ne s'impose pas.

#### Dimensionnement de l'axe de retenue

Cette partie, consistait à :

- définir les critères intervenant dans le choix du matériau de l'axe de retenue ;
- proposer un mode de réalisation, les traitements éventuels ainsi que les essais à réaliser ;
- calculer la limite élastique minimale.

La plupart des candidats ont traité correctement les questions Q34 et Q35 concernant les critères de choix de matériaux et les procédés. En revanche, comme pour la partie précédente, seuls 20% des candidats arrivent au bout du calcul de dimensionnement (Q36).

### **Spécifications du porte galets**

Dans cette partie, il s'agissait de calculer le degré d'hyperstatisme du mécanisme de guidage et d'en **déduire** les contraintes géométriques à imposer aux différentes pièces constituant le mécanisme.

La question Q37 sur le calcul du degré d'hyperstatisme a été abordée par la plupart des candidats mais beaucoup ne conduisent pas une analyse rigoureuse. De nombreuses conclusions s'avèrent, de ce fait être non pertinentes. D'autre part, un trop grand nombre de candidats tentent de coter la pièce sans analyse préalable et sans s'appuyer sur le calcul demandé alors que la cotation est le résultat d'une analyse rigoureuse et ne peut se faire "à l'instinct".

Enfin, beaucoup de candidats ne maîtrisent pas les rudiments propres à l'écriture d'une spécification géométrique.

### **Conception du mécanisme de débrayage du système de guidage**

Il s'agissait de proposer sous forme de croquis ou schémas légendés deux solutions technologiques du dispositif de verrouillage.

La question Q38 a été abordée par 45% des candidats. La plupart de ceux-ci ont proposé des solutions intéressantes.

## Résultats globaux

De très nombreux candidats ont abordé l'ensemble du sujet, ce qui mérite d'être souligné.

Le jury a apprécié : les qualités d'analyse de beaucoup d'entre eux vis à vis des résultats de simulations, des propositions de critères de choix de matériaux ainsi que des propositions de solutions techniques.

En revanche, beaucoup de candidats ne savent pas conduire un calcul de statique simple, ce que l'on peut regretter, de même que la grande difficulté à comprendre la méthodologie d'identification de la nécessité de telle ou telle spécification géométrique.

## Histogramme et statistiques

75 candidats ont composé cette épreuve.

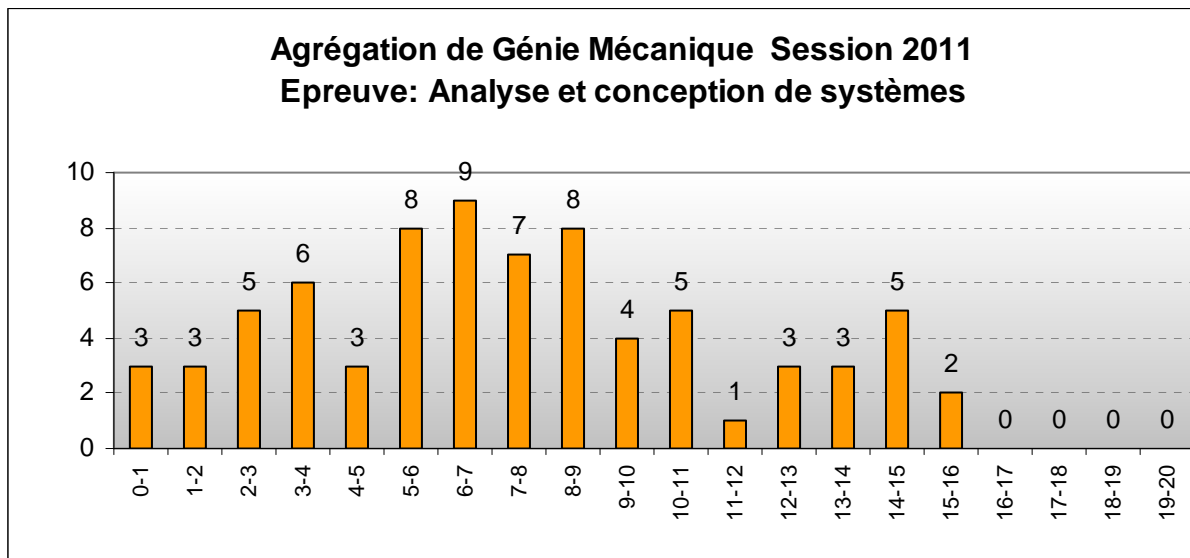
Moyenne : 7,5

Note mini : 0,4

Note maxi : 15,5

Ecart type : 4,0

La distribution des notes est la suivante :



SESSION 2011

---

AGRÉGATION  
CONCOURS EXTERNE

Sections : GÉNIE MÉCANIQUE / MÉCANIQUE

ÉPREUVE D'AUTOMATIQUE-INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Durée : 6 heures

---

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

# Robot de traite automatique Astronaut A3

## I. Contexte de l'étude

Aujourd'hui les défis que les producteurs laitiers doivent relever en terme de volume de production, de prix du lait, de respect des réglementations sur l'environnement, de mesures d'hygiène ou de « bonnes pratiques » envers les animaux ont induit des bouleversements dans la gestion des exploitations laitières.

Parallèlement à ces évolutions, les agriculteurs ont impulsé une dynamique nouvelle visant à améliorer leur condition de vie, à réduire la part des travaux pénibles et répétitifs et à ne plus être astreints aux traites quotidiennes. Cette volonté trouve sa justification dans le désir de disposer de plus de temps soit pour diversifier les activités de l'exploitation, soit pour profiter de plus de temps libre et ce tout en augmentant la production et la qualité des produits fournis.

Pour répondre à ces nouveaux besoins, des entreprises, dont l'entreprise Lely, ont développé des systèmes d'alimentation, de nettoyage, de pâturage automatiques et surtout de traite automatique, comme le robot de traite Astronaut A3, support de cette étude.

Une dizaine d'années après l'introduction du premier robot de traite, des études mettent en évidence une amélioration de la santé physique et psychique des producteurs laitiers, un gain de temps d'environ deux heures par jour pour un troupeau de 60 vaches laitières, temps mis à profit pour passer plus de temps en famille (84 %), pratiquer une activité de loisir (sport, culture, ...) (62%), développer une autre activité professionnelle (56%).

## II. Principe général de la traite automatique

Le principe de la traite automatique est de laisser à la vache la liberté de choisir le moment où elle souhaite être traitée et donc de circuler librement dans l'exploitation.

Lorsqu'elle le décide, la vache se présente devant la porte d'entrée du box de traite amorçant ainsi le processus de traite. À l'issue de la traite, la vache sort du box et peut, selon son choix, aller se reposer, s'alimenter ou rejoindre le reste du troupeau.

Le choix d'une traite automatique réalisée par un robot de traite présente un certain nombre d'avantages et d'inconvénients décrits ci-dessous :

- les inconvénients :
  - réforme de vaches dont les caractéristiques morphologiques sont incompatibles avec la connexion des gobelets aux trayons (voir figure 1 ci-contre) ou de vaches refusant la traite automatique ;

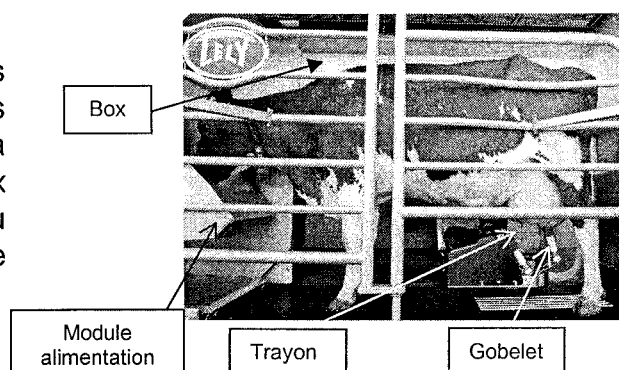


Figure 1. Vache en situation de traite

## Automatique et Informatique Industrielle

- problèmes inhérents à l'introduction du robot de traite (utilisation, maintenance, entretien, réapprovisionnement consommables, échecs connexions, pannes, ...) qui peuvent pénaliser la production laitière ;
  - animaux moins habitués à être manipulés ;
  - nécessité de maintenir une activité physique pour éviter les boiteries.
- les avantages
- augmentation de 10 à 15 % de la production laitière par vache du fait de la multiplication des traites par jour (quasiment trois contre seulement deux pour les traites manuelles) ;
  - amélioration de l'état général des vaches par réduction du nombre de mammites (inflammation des trayons de la vache) ;
  - animaux plus calmes du fait de la diminution des interactions de dominance inhérentes au confinement précédent les traites manuelles ;
  - réduction du coût global d'une traite dans les pays où la main d'œuvre n'est pas bon marché, solution économiquement viable pour les exploitations familiales.

L'apport d'un robot de traite vis-à-vis des contraintes des producteurs laitiers justifie le développement rapide actuel. Plusieurs acteurs industriels se partagent le marché des robots de traite dont l'entreprise Lely, qui est aujourd'hui le leader mondial avec son nouveau robot de traite Astronaut A3.

### III. Robot de traite Astronaut A3

#### 1. Présentation

Le robot de traite Astronaut A3 est un système de traite automatique assurant, d'une part, la traite des vaches et, d'autre part, l'alimentation et le contrôle de la qualité du lait.

La figure 2 présente le robot de traite Astronaut A3, support de notre étude.

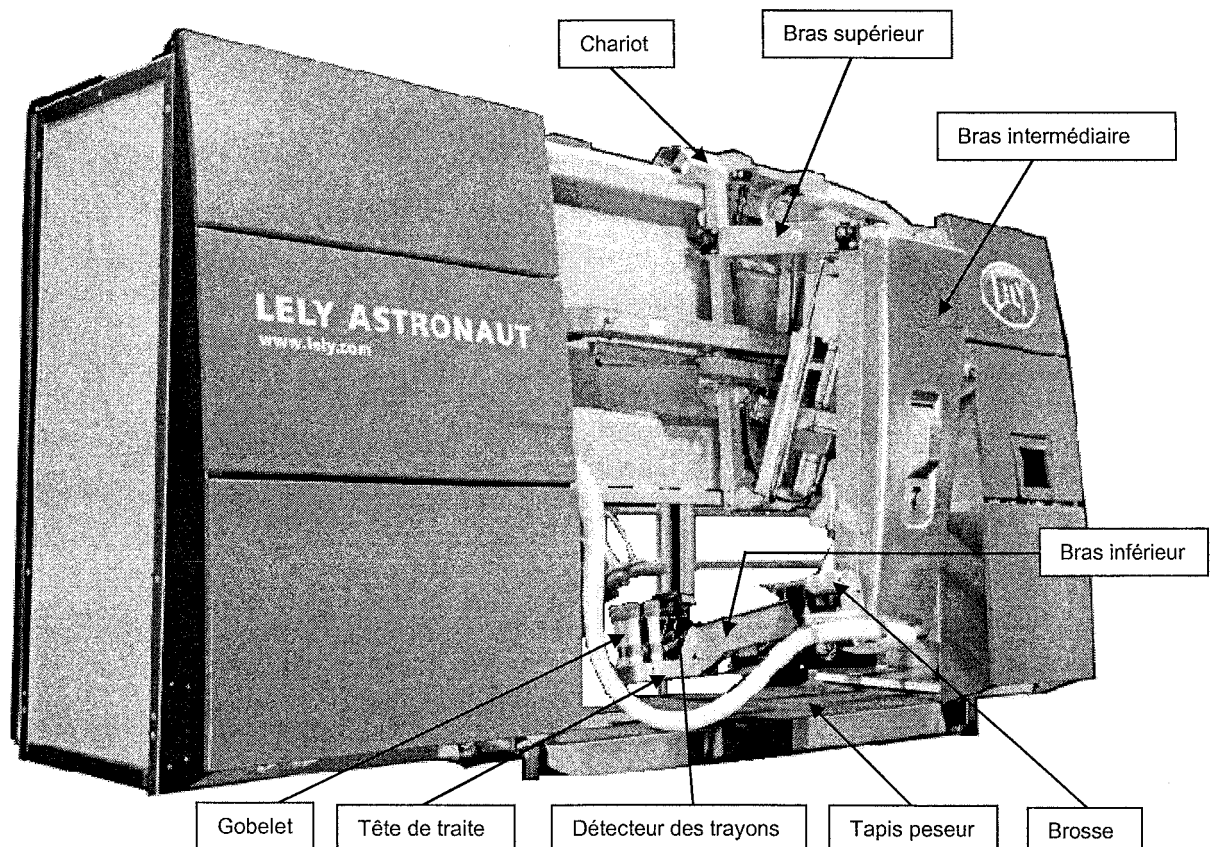


Figure 2. Robot de traite Astronaut A3



## 2. Structure générale

Le robot de traite Astronaut A3 est composé (voir figures 1 & 2) :

- d'un **box**, terme qui désigne la zone où est installée la vache lors d'une traite (voir figure 1 qui est la partie arrière du robot présenté figure 2). Il s'agit d'un cadre en métal équipé de deux portes, une d'entrée et une de sortie, d'une balance et d'un module d'alimentation ;
- du **bras du robot** qui assure le positionnement correct des gobelets pour leur branchement sur les trayons de la vache. Il possède trois parties élémentaires :
  - o le **chariot** qui relie le bras au box et permet des mouvements horizontaux du bras. Ce chariot est monté sur des galets qui réalisent la liaison glissière horizontale, un vérin pneumatique commande le déplacement de ce chariot. Le système de contrôle du bras est installé sur le chariot ;
  - o le **bras** qui se compose de quatre éléments :
    - le bras supérieur en liaison pivot d'axe horizontal par rapport au chariot. Deux vérins montés en parallèle entre le chariot et le bras supérieur assurent les déplacements du bras supérieur ;
    - le bras intermédiaire, lié au bras supérieur par une liaison pivot. Un vérin monté entre le bras intermédiaire et le chariot assure les déplacements du bras intermédiaire ;
    - le bras inférieur, en liaison complète avec le bras intermédiaire, qui porte le système de branchement aux trayons, le système pulsateur, le système de nettoyage (brosses) et la tête de traite ;
    - la tête de traite, constituée des gobelets et du système de détection des trayons qui détecte les positions des trayons de la vache par balayage laser 3D à triangulation. Ce système de détection indique au système de branchement aux trayons la position correcte à atteindre par les gobelets.
- d'une **interface** entre l'utilisateur et le robot sous forme d'un écran tactile, panneau de contrôle X link. Il affiche toutes les commandes et informations nécessaires au fonctionnement et à l'entretien du robot.

## 3. Analyse fonctionnelle partielle externe

L'environnement du robot de traite automatique Astronaut A3 est décrit par le diagramme des inter-acteurs suivant, proposé sous forme partielle (voir figure 3).

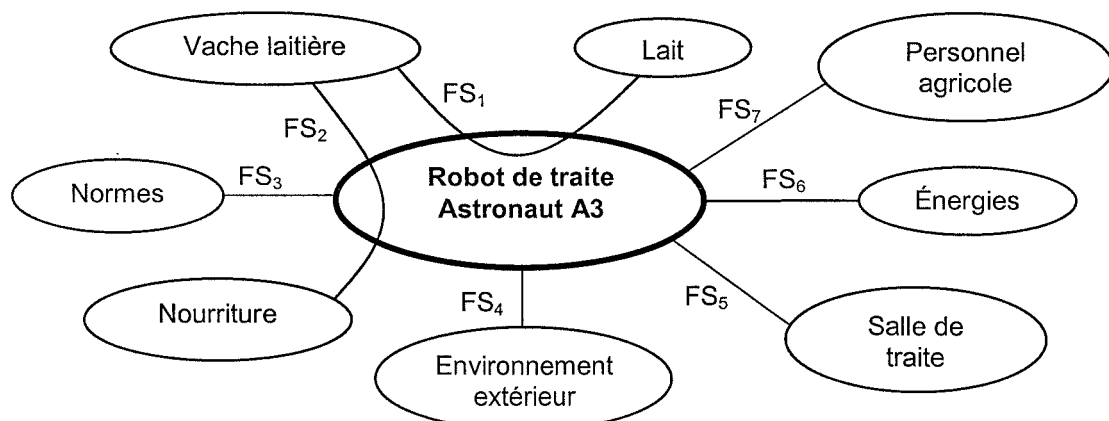


Figure 3. Diagramme partiel des inter-acteurs du bras à trois degrés de liberté

Les énoncés des fonctions de service identifiées sont les suivants :

<b>FS<sub>i</sub></b>	<b>Énoncé de la fonction de service</b>
FS <sub>1</sub>	Traire automatiquement une vache à sa demande
FS <sub>2</sub>	Distribuer automatiquement de la nourriture à la vache lors de la traite
FS <sub>3</sub>	Respecter les normes
FS <sub>4</sub>	Résister aux agressions de l'environnement extérieur (eau, boue, urine, ...)
FS <sub>5</sub>	S'adapter à la salle de traite
FS <sub>6</sub>	Être alimenté en énergies électrique et pneumatique
FS <sub>7</sub>	Permettre la communication avec le personnel agricole

Figure 4. Description des fonctions de service

#### **IV. Enjeux liés à l'implantation d'un robot de traite dans une exploitation**

La pertinence économique de l'installation d'un robot de traite automatique est directement liée, d'une part, au nombre de vaches pouvant être traitées en une journée par le robot et, donc au temps nécessaire à la réalisation d'une traite et, d'autre part, à la qualité du lait produit.

L'évaluation de la capacité de traite d'un robot Astronaut A3, préalable à toute installation d'un robot de traite dans une exploitation laitière, est proposée dans la partie I.

Deux problématiques fondamentales se dégagent alors :

- optimiser le temps nécessaire à la réalisation d'une traite ;
- assurer une production laitière abondante et de grande qualité.

L'optimisation du temps nécessaire à la réalisation d'une traite impose de remplir plusieurs fonctions telles que :

- assurer un positionnement rapide du bras du robot sous la vache ;
- garantir une connexion rapide des gobelets sur les trayons de la vache ;
- assurer une traite continue et complète indépendamment des interactions entre la vache et le robot de traite Astronaut A3.

La problématique liée à la connexion rapide des gobelets est abordée dans la partie II, celle dédiée à la réalisation d'une traite continue et complète indépendamment des interactions entre la vache et le robot de traite Astronaut A3 est abordée dans la partie III.

Pour garantir la réussite de l'installation d'un robot de traite, cette première problématique associée aux performances du bras du robot Astronaut A3 doit être couplée à une problématique dédiée à la productivité globale.

La production d'un lait de grande qualité et en quantité suffisante pour garantir la pérennité d'une exploitation impose un certain nombre de précautions :

- le nettoyage des trayons par brossage mécanique avant chaque traite, plus efficace que les simples pulvérisations d'eau afin de réduire les pathologies associées aux trayons des vaches ;
- la pulvérisation après chaque traite pour éliminer tout risque d'infection ;
- le rejet des premiers jets de lait produit par chaque trayon afin d'améliorer la qualité du lait ;
- la surveillance de la qualité du lait en continu par des mesures de conductivité et de couleur, cette surveillance permet aussi d'adapter la durée de la traite à chaque trayon.

Cette problématique dédiée à la préservation de la qualité du lait est abordée dans la partie II consacrée à la modélisation du fonctionnement propre aux opérations de connexion des gobelets et de gestions respectives des durées de traite et définition des débits de lait du robot Astronaut A3.

## Travail demandé

1. Le sujet comporte quatre parties indépendantes, elles-mêmes, constituées de nombreuses questions qui peuvent être traitées séparément.

**La première partie** s'intéresse à la validation de l'implantation d'un robot de traite Astronaut A3 dans une exploitation agricole laitière et à la caractérisation des actions préliminaires nécessaires à la réalisation d'une traite.

**La deuxième partie** est dédiée à la modélisation du fonctionnement propre aux opérations de connexion des gobelets, de gestions des durées de traite et de circulation du lait par le robot Astronaut A3.

**La troisième partie** est consacrée à la problématique dédiée à la réalisation d'une traite continue et complète indépendamment des interactions entre la vache et le robot de traite Astronaut A3.

**La quatrième partie** est consacrée à une synthèse de l'étude menée sur le robot de traite Astronaut A3.

2. Tous les développements de calculs seront réalisés sous forme littérale avant de passer à l'application numérique. Les résultats seront encadrés sur la copie.

## PREMIÈRE PARTIE

### Validation de l'implantation et des mesures préliminaires à toute traite

Objectif : valider l'implantation d'un robot Astronaut A3 dans une exploitation agricole et caractériser les grandeurs préliminaires à la mise en œuvre d'une traite.

**Question 1 : Établir un diagramme de type FAST décrivant les fonctions des différents composants du robot Astronaut A3. Vous vous limiterez à trois niveaux de fonctions.**

#### 1.1. Implantation du robot dans une exploitation laitière

Le robot de traite Astronaut A3 est conçu pour fonctionner 20 heures sur 24 heures. Avec ce mode opératoire, les vaches sont traitées en moyenne 2,5 fois / jour et la durée moyenne d'une traite est de 6 min.

Le fonctionnement du robot de traite Astronaut A3 du point de vue des vaches peut être décrit, à ce stade, comme une succession de traites et de nettoyages pendant lesquels le box n'est pas accessible. Ces nettoyages permettent de garantir l'hygiène de l'espace de traite et donc une grande qualité du lait.

Deux types de nettoyage sont réalisés :

- les nettoyages simples à l'eau chaude qui sont exécutés toutes les 5 traites. Ils durent 4 minutes pendant lesquelles seules les parties en contact avec le lait sont lavées ;
- les nettoyages complets qui sont exécutés toutes les 20 traites. Ils permettent le nettoyage de l'ensemble du robot avec des agents nettoyants. Ces opérations durent 10 minutes. Un nettoyage complet est effectué après les 20 heures de fonctionnement quel que soit le nombre de traites effectuées.

**Question 2 : Déterminer le nombre de traites que peut effectuer le robot sur une plage d'utilisation de 20 heures. En déduire la taille maximale du troupeau lors de l'implantation d'un robot Astronaut A3.**

Afin de ne pas surcharger le robot Astronaut A3 et limiter l'utilisation à une durée inférieure à 20 heures sur 24, la taille maximale du troupeau est fixée à 60 vaches par robot.

La plage de traite d'une vache s'étend tout au long de la période de lactation qui débute par le vêlage et dure environ 10 mois. La production moyenne sur une lactation est de 7 000 litres. Durant la période de lactation maximale, la production journalière maximale d'une vache peut atteindre 25 litres, soit 25 kg.

Pour des raisons physiologiques, la dépression pulsée appliquée aux trayons par le robot pour extraire le lait ne doit pas excéder 0,4 bar ce qui induit un débit maximal de lait de 3 l/min.

De façon simplifiée, le cycle de traite peut être décomposé selon les six étapes suivantes :

- arrivée de la vache et mesures préliminaires ;
- brossage et nettoyage des trayons ;
- mise en place des gobelets ;
- traite ;
- désinfection des trayons ;
- sortie de la vache.

En moyenne, l'entrée de la vache dans le box s'effectue en 30 secondes et sa sortie en 20 secondes. Le brossage et le nettoyage des trayons durent 40 secondes et la désinfection 10 secondes.

Le cahier des charges impose que la connexion des trayons soit réalisée en une minute maximum.

**Question 3 : À partir de la situation décrite ci-dessus, déterminer la durée de la phase de connexion des gobelets. Le cahier des charges de la société Lely est-il respecté ?**

## 1.2. Caractérisation des mesures préliminaires

À l'arrivée de la vache dans le box, le robot Astronaut A3 lit son code personnel enregistré dans son collier et télécharge les données concernant les dix traites précédentes :

- heure ;
- durée ;
- poids de lait obtenu ;
- caractéristiques du lait (couleur et conductivité) ;
- débit moyen de la traite.

Ces informations concernent aussi les caractéristiques physiques de la vache :

- poids ;
- position du centre de gravité ;
- position des trayons par rapport au centre de gravité ;
- quantité d'aliment absorbé et dosage.

Lors de son entrée dans le box, une série de mesures préliminaires est initiée afin de calculer la nouvelle position du centre de gravité de la vache. Cette information est alors transmise au robot qui en déduit les positions des trayons à atteindre.

Lors de la traite, la vache dans le box est placée sur un plateau peseur. Ce plateau repose sur trois capteurs de charge, 1 à l'avant :  $C_{p_{av}}$ , et deux à l'arrière :  $C_{p_{ard}}$  et  $C_{p_{arg}}$  (voir figure 5).

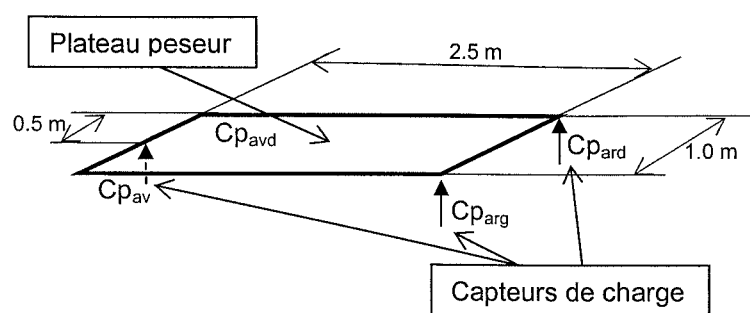


Figure 5. Structure du plateau peseur

À l'occasion de l'entrée d'une vache, le tapis peseur renvoie les mesures suivantes :

$$C_{P_{av}} = 264 \text{ daN}, C_{P_{ard}} = 108 \text{ daN}, C_{P_{arg}} = 228 \text{ daN}.$$

**Question 4 : Déterminer la position du centre de gravité de la vache en projection dans le plan du plateau.**

Dans un premier temps, le bras du robot place la tête de traite, support des gobelets et du système de détection des trayons (voir photo figure 6) sous la vache en avant de la mamelle.

Ce plateau est alors animé d'un mouvement vertical d'allers-retours pour la localisation des trayons. Chaque gobelet est ensuite placé sous le trayon correspondant (position approche). Un mouvement vertical permet alors au gobelet de se connecter.

La position de la tête de traite est définie par les coordonnées de son centre de gravité  $G_4$ .

Au début de la phase de localisation des trayons ce point doit se situer à 50 mm sous l'extrémité du trayon le plus bas et à 200 mm en avant des trayons avant dans leur plan médian.

Le passage de la position basse de détection à la position approche des trayons se fait uniquement par un déplacement horizontal.

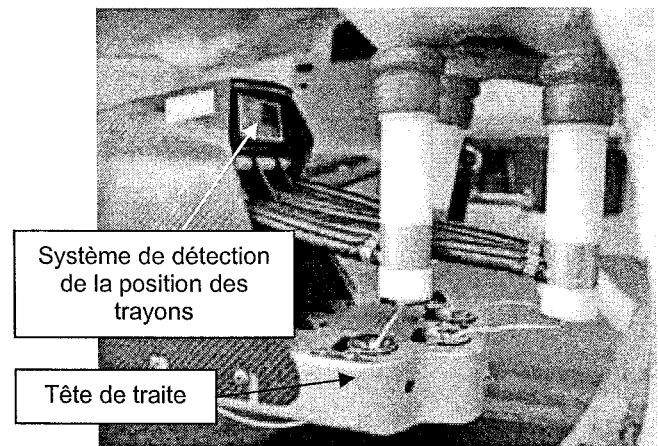


Figure 6. Plateau et gobelets en position de traite

Lorsque le bras est au repos, la position du point  $G_4$  est donnée par la figure 7. Le point  $G_4$  est à 300 mm du sol. Sur cette figure, les gobelets ( $Gob_{avd}$ ,  $Gob_{avg}$ ,  $Gob_{ard}$ ,  $Gob_{arg}$ ) sont représentés par rapport au point  $G_4$  lorsque la tête de traite est horizontale.

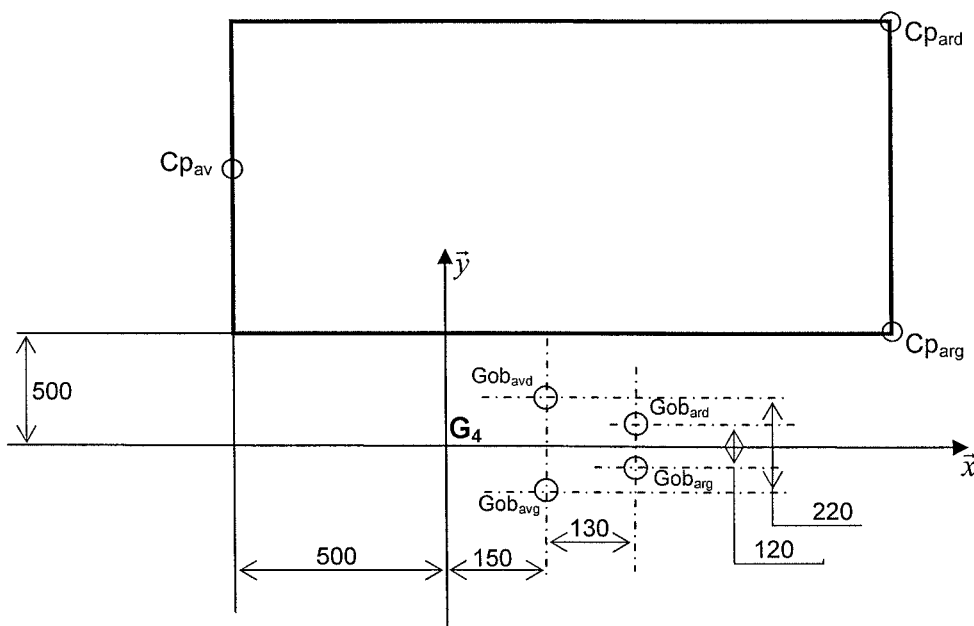


Figure 7. Position de la tête de traite et des gobelets

Les informations enregistrées à propos des quatre trayons ( $t_{avd}$ ,  $t_{avg}$ ,  $t_{ard}$ ,  $t_{arg}$ ) sont leurs coordonnées dans le plan horizontal par rapport au centre de gravité de la vache ainsi que la distance verticale de l'extrémité inférieure du trayon ( $h$ ) par rapport au sol (voir tableau figure 8).

À l'occasion de la traite d'une vache, les informations suivantes associées à la position de ses trayons sont téléchargées :

	$t_{avd}$	$t_{avg}$	$t_{ard}$	$t_{arg}$
x	200	200	350	350
y	80	-80	80	-80
h	410	400	420	400

Figure 8. Coordonnées des trayons

**Question 5 :** Déterminer les coordonnées de la position que doit prendre le point G4 par rapport à sa position repos pour placer la tête de traite dans la position de détection des trayons.

**Question 6 :** En supposant que les moyennes des positions des dix dernières mesures confirment les positions actuelles, déterminer les coordonnées des 4 positions que doit prendre le point G4 par rapport à sa position d'origine pour placer chaque gobelet sous le trayon correspondant. Les calculs seront détaillés, les résultats seront présentés sous forme de tableau.

Le système de détection de la position des trayons est effectué par un balayage laser 3D à triangulation.

**Question 7 :** Expliquer le principe de fonctionnement de ce type de capteur.

La structure du box qui reçoit la vache (poids maxi 750 kg) ne permet pas de déplacements transversaux significatifs contrairement aux déplacements longitudinaux. Ceci impose que le bras du robot suive les déplacements de la vache afin de garantir une traite complète, sans arrachement des gobelets.

Le cahier des charges impose que le robot réagisse pour tout déplacement longitudinal supérieur à 5 cm.

**Question 8 :** Quelle doit être la résolution des capteurs d'effort sur le tapis peseur ? Proposer différents types de capteurs pouvant convenir à cette mesure de charge sur le tapis peseur.

## DEUXIÈME PARTIE :

### Gestion d'une traite automatique avec le robot Astronaut A3

Objectif : modéliser le fonctionnement propre aux opérations de connexion des gobelets, de gestion des durées de traite et de circulation du lait par le robot Astronaut A3.

**2.1 Étude du cycle d'une traite** La vache se présente volontairement à l'entrée du box. L'ouverture de la porte d'entrée valide l'accessibilité du robot de traite. La vache peut donc pénétrer dans le box. Comme décrit dans la partie 1, la vache est placée sur un plateau peseur. Dès que le poids détecté dépasse les 250 kg, la porte du box est refermée. La vache est alors identifiée par son collier et les données la concernant sont téléchargées. À partir de ces informations, la traite est autorisée ou non. Dans le cas où l'intervalle entre deux traites est insuffisant, la porte de sortie s'ouvre libérant la vache. Dès sa sortie du box, les portes de sortie et d'entrée sont respectivement fermée et ouverte.

Si la traite est autorisée, la vache est alors pesée. Les données sont transmises au module de calcul qui détermine :

- la quantité et le dosage de la nourriture qui sera distribuée pendant la traite ;
- la position de la vache ;
- la position des trayons ;
- la position que devra prendre le bras du robot pour commencer les opérations de traite.

Le bras est alors positionné sous la vache pour effectuer le nettoyage des trayons à l'aide de brosses (figures 9 et 10).

Chaque trayon est nettoyé indépendamment. Pour cette opération, le robot place les brosses sous un trayon. Le bras est alors animé d'un mouvement de translation vertical alternatif. Simultanément un produit de nettoyage est pulvérisé.

Les brosses sont animées d'un mouvement de rotation inverse de telle sorte que le trayon passant entre les brosses soit attiré vers le bas.

Le nettoyage terminé, les brosses sont escamotées.

Le bras se met alors en position afin de permettre au système laser de détecter la position des trayons. Pendant ces premières phases les gobelets sont escamotés. Une fois l'acquisition de la position des trayons effectuée, les gobelets sont redressés en position verticale (gobelets rétractés) et l'accrochage des gobelets peut débuter. Cette phase sera décrite plus en détail par la suite.

La fin de la traite est différenciée pour chacun des quatre trayons qui sont respectivement liés à quatre quartiers contenant le lait de la vache. Les critères d'arrêt de la traite d'un quartier seront explicités par la suite.

Lorsque la traite est terminée sur les quatre quartiers, les gobelets sont escamotés afin de procéder au rinçage des trayons.

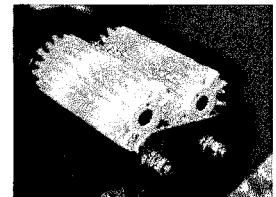


Figure 9. Brosses de nettoyage des trayons



Quartier

Figure 10. Opération de nettoyage des trayons



Automatique et Informatique Industrielle

Le rinçage terminé, le bras revient en position de rinçage des gobelets. Les gobelets, les canalisations et les brosses sont alors nettoyés puis le bras est placé en position d'attente.

Toutes les caractéristiques de la traite sont transmises à l'ordinateur pour mémorisation dans le dossier de la vache. La porte de sortie est ouverte. Les entrées et sorties associées au grafcet dédié au cycle de traite sont données dans le tableau de la figure 11.

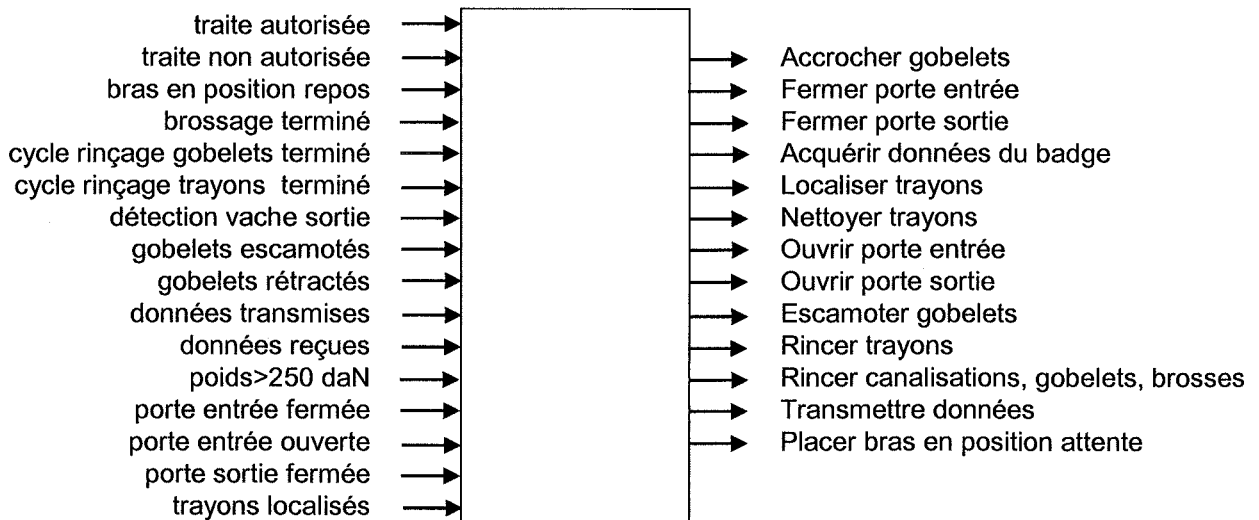


Figure 11. Tableau des entrées et sorties associés au grafcet dédié au cycle de traite

**Question 9 :** Construire, à partir du tableau définissant les entrées-sorties ci-dessus, un grafcet du point de vue « système » décrivant le cycle de traite. L'accrochage des gobelets sera associé à une macro-étape. Le temps d'un cycle doit être minimisé.

La validation d'une traite est obtenue lorsque la porte de sortie est refermée. Cette opération de fermeture ne doit en aucun cas être perturbée par une quelconque vache. L'utilisation de l'information transmise par le tapis peseur ou d'une temporisation liée à la vitesse de circulation de la vache ne peut garantir la condition de non interférence entre la porte de sortie et les vaches.

**Question 10 :** Proposer un système de contrôle de la sortie de la vache qui permettra de refermer la porte de sortie sans bloquer la vache, sans la coincer et sans que ce soit une autre vache qui déclenche ce capteur.

## 2.2 Étude de la connexion des gobelets

Après la localisation des trayons, le bras va connecter les gobelets aux trayons. Le cycle de connexion est le suivant :

- le bras place le premier gobelet à connecter sous le premier trayon (arrière droit, position  $p_1$ ). Simultanément au mouvement de translation du gobelet devant permettre sa connexion (Appg1), une aspiration par dépression est réalisée dans le gobelet (Aspg1, la pression indiquée est alors  $dp_1$ ). La connexion du gobelet est validée si la pression mesurée atteint le seuil de dépression ( $dp_2$ ). Si ce seuil n'est pas atteint lors de la fin de la course de montée du gobelet (indiqué par  $fcapp$ ), le bras se repositionne et recommence le mouvement vertical ;

Automatique et Informatique Industrielle

- afin de réduire le temps de connexion global, la connexion du gobelet 2 est réalisée sur le trayon 2 (arrière gauche :  $p_2$ ) avant qu'un débit de lait dans le gobelet 1 ne soit détecté ;
- à partir du trayon 2, le robot ne passe au trayon suivant que si le trayon précédent a donné un débit de lait ;
- si un trayon n'a pas donné de lait 10 secondes après avoir été connecté (ce qui est dû généralement à un repli du trayon dans le gobelet) l'aspiration est arrêtée, le gobelet est rétracté en position repos (Retg i) et une nouvelle tentative est effectuée ;
- les gobelets peuvent avoir trois positions sur le plateau :
  - les gobelets sont escamotés pour permettre le brossage, c'est leur position quand le bras est en attente ;
  - ils sont rétractés lorsqu'ils sont prêts à être connectés (position verticale sur le plateau : Retg i) ;
  - ils sont connectés aux trayons, ils restent reliés au plateau par un lien qu'un vérin tire pour les ramener sur le plateau en position rétractée.

La figure 13 représente l'expansion incomplète de la macro-étape M50 dédiée au branchement des gobelets et de la traite de la vache.

La figure 12 décrit la mnémonique des entrées et sorties de l'automate qui gère le robot.

Entrées		Sorties	
Gobelet i en position	pi	Mettre en position gobelet i	Mpg i
Pression d'aspiration gobelet non connecté	dp1	Déclencher aspiration gobelet i	Aspg i
Pression d'aspiration gobelet connecté	dp2	Approcher gobelet i	Appg i
Gobelet i en position repos	repg i	Rétracter gobelet i	Retg i
Alarme transmise	altrans	Signal d'alarme	Alarme
Nombre de tentatives de branchement	Ni	Aspiration pulsée pour traite trayon i	Apul i
Fin de course approche des trayons	fcapp		
Information débit du trayon i	deb i		

Figure 12. Tableau des entrées et sorties associées au grafcet dédié à la connexion des gobelets

Dans un premier temps, nous considérons le cycle de branchement des trayons en cours de réalisation. L'état de l'expansion de la macro-étape M50 est {54, 63, 72}.

**Question 11 : Expliquer avec précision les événements qui se sont déroulés depuis le début de la macro-étape M50. Indiquer clairement l'état actuel du système.**

À partir de cet état, 10 secondes se sont écoulées depuis le début de l'activation de l'étape 62.

**Question 12 : Indiquer alors les différentes évolutions possibles de l'expansion de la macro-étape M50 jusqu'à atteindre la situation {54, 64, 74, 82}. Préciser clairement les occurrences qui la font évoluer et les différentes situations atteintes. Cette situation {54, 64, 74, 82} est-elle stable ?**

Automatique et Informatique Industrielle

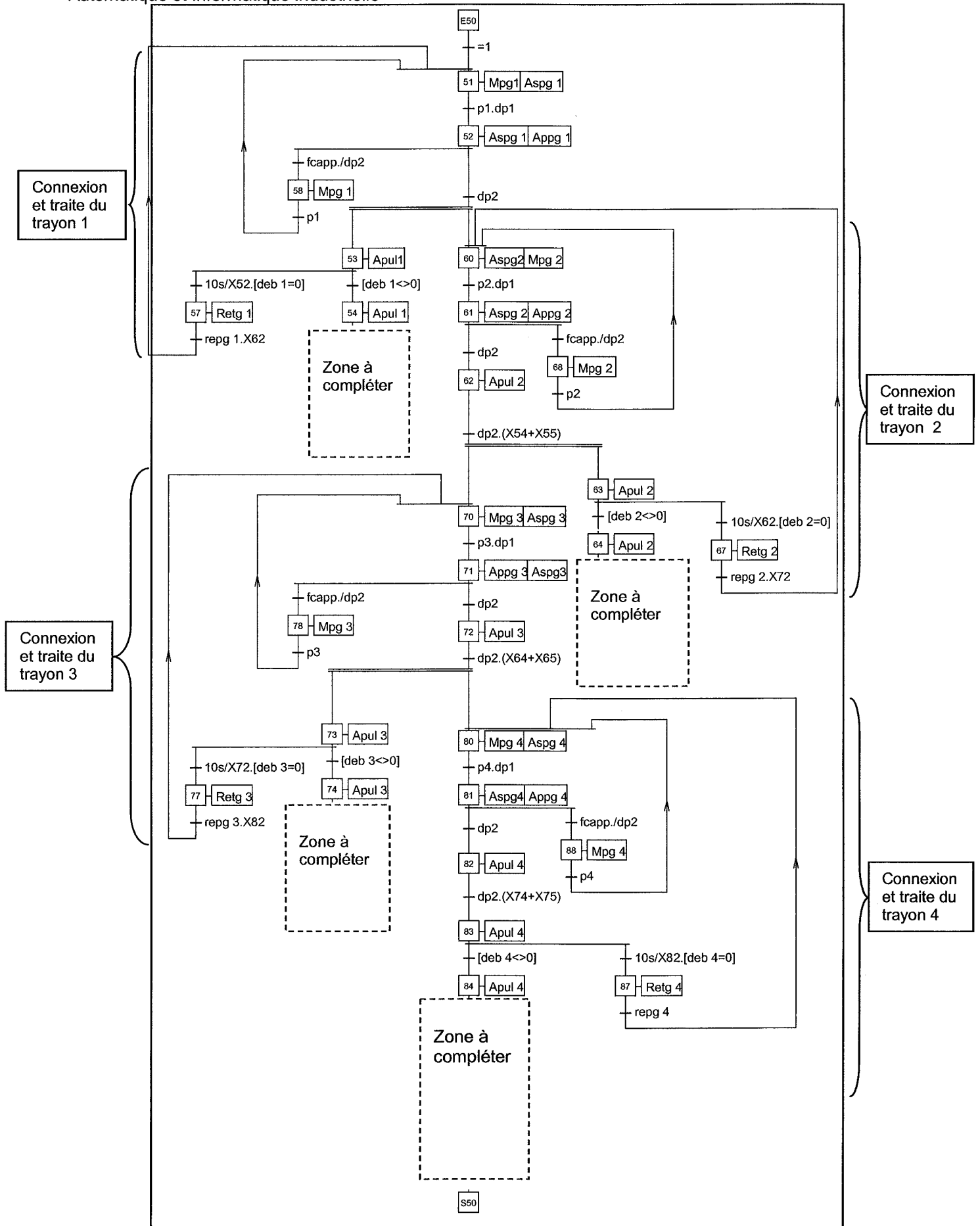


Figure 13. Expansion incomplète de la macro-étape M50

## 2.3. Étude de la fin de traite d'un quartier

### 2.3.1. Gestion de la fin de traite d'un trayon

La description du cycle de traite nécessite la modélisation des événements associés à la fin de la traite qui s'effectue de façon différenciée pour chacun des trayons.

La durée de la traite est essentiellement déterminée par la conductivité du lait récolté. Cette conductivité n'est pas la même pour chaque quartier et doit être testée pour chacun des trayons. Deux minutes après la détection d'un débit de lait, le conductimètre donne une conductivité moyenne du quartier associé au trayon  $i$ :  $C_{i\_moy}$ . Cette valeur est attribuée à une variable  $C_i$  qui est alors comparée à deux seuils de conductivité :

- un seuil maximum,  $C_{max}$  ;
- un seuil minimum,  $C_{min}$ .

Une forte conductivité du lait, définie par  $C_i > C_{max}$ , peut être un signe précurseur de l'inflammation du quartier (mammite). Dans ce cas, le quartier doit être vidé au maximum. Le lait est conservé mais la vache est mise sous surveillance (cette particularité n'est pas prise en compte dans notre étude).

Au contraire, une faible conductivité,  $C_i < C_{min}$ , indique une faible quantité de matière grasse conduisant à laisser plus de lait dans la mamelle. La traite de ce quartier est alors arrêtée si le débit instantané de lait devient égal au tiers du débit moyen.

Quand la conductivité est entre ces deux seuils,  $C_{min} < C_i < C_{max}$ , la traite s'arrête lorsque le débit instantané est égal au débit moyen divisé par 5.

Le débitmètre fournit une information permanente du débit instantané du trayon  $i$  :  $deb\ i$ , et du débit moyen :  $deb\ i\ moy$ .

Variable de conductivité du lait du trayon $i$	$C_i$
Information débit donnée par le débitmètre du trayon $i$	$deb\ i$
Conductivité moyenne mesurée du lait du trayon $i$	$C_{i\_moy}$
Débit moyen mesuré pour le trayon $i$	$deb\ i\ moy$
Indice de conductivité minimum	$C_{min}$
Indice de conductivité maximum	$C_{max}$

Figure 14. Tableau des variables de fin de traite

**Question 13 :** Élaborer le grafcet de gestion de la fin de traite du trayon 1 en n'utilisant que les variables et informations du tableau de la figure 14. Ce grafcet sera formé à partir de transitions source et puits. Les grafctes de fin de traite des autres trayons seront à l'image de celui du trayon 1. Préciser la numérotation adoptée pour les étapes dans chaque grafcet.

**Question 14 :** Compléter alors les 4 zones encadrées dans l'expansion de la macro-étape M50 de la figure 13. Préciser les choix de structure effectués.

### 2.3.2. Compteur des essais pour alarme

Dans la pratique, des variations de taille des trayons ou des mouvements d'excitation de la vache peuvent empêcher une connexion rapide des gobelets. Pour éviter l'inconfort de la vache, le nombre d'essais de connexion de chaque gobelet est limité à 5 tentatives. À l'issue de ces 5 essais, le système enverra une alarme et replacera le robot en situation d'arrêt d'urgence : bras dans la position d'attente et tous les gobelets déconnectés. La

Automatique et Informatique Industrielle

vache sera maintenue dans le box durant 5 minutes pendant lesquels l'agriculteur pourra intervenir. À l'issue de ce délai, la vache sera libérée. Le robot revient en attente d'une autre vache. L'agriculteur devra intervenir directement sur la vache qui n'a pas été traitée.

**Question 15 : Proposer un grafet de comptage utilisant une notation indicielle qui le rend valable pour tous les gobelets. Préciser la solution utilisée pour mettre le robot dans la situation arrêt d'urgence.**

### 2.3.3. Gestion de la circulation du lait

Une des problématiques, lors de l'implantation d'un robot de traite, est d'optimiser la production laitière. Lors de la traite, les premiers jets de lait ne sont pas de bonne qualité, ils sont donc évacués à l'égout.

La quantité de lait à éliminer pour garantir sa qualité est de 250 g par trayon. Cependant le temps nécessaire pour obtenir cette masse de lait à rejeter n'est pas identique pour chacun des trayons, interdisant l'utilisation d'une temporisation.

Afin de réduire au minimum les quantités de lait de bonne qualité rejetées, l'entreprise Lely a choisi d'utiliser l'information transmise par le débitmètre, qui détermine la masse de lait récupérée sur chaque trayon : variable  $m_i$ .

Par ailleurs, le lait produit par une vache malade ou en traitement est immédiatement évacué à l'égout.

La figure 15 donne la mnémonique et le grafet de la gestion de l'électrovanne déterminant la circulation du lait.

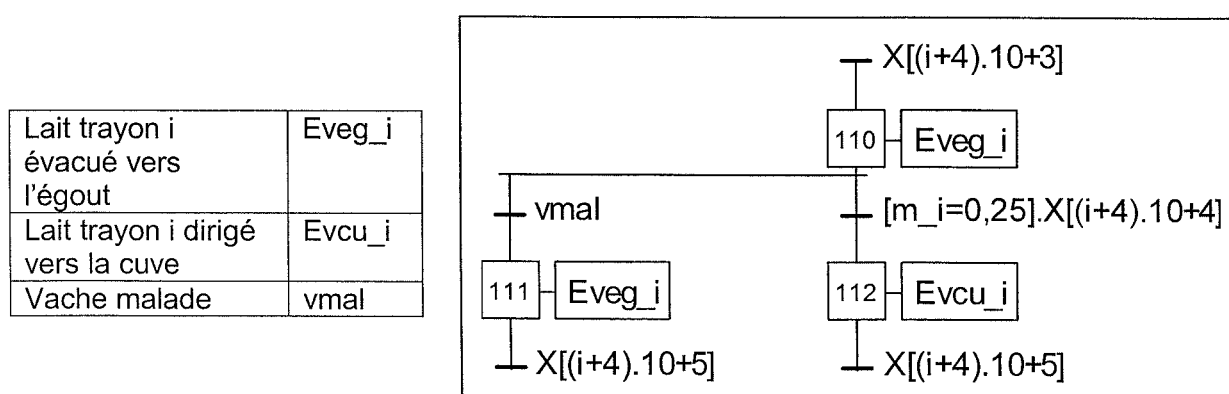
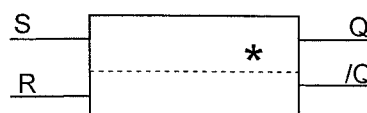


Figure 15. Grafet et mnémonique de la gestion de la circulation du lait

La commande du robot de traite est assurée par un automate programmable industriel. Elle pourrait être réalisée en logique câblée sur des circuits intégrés. Dans ce cas, il faudrait réaliser les logigrammes des différents grafet.

On rappelle le symbole d'une bascule RS (mémoire) avec mise à 1 prioritaire ci-dessous.

S commande la mise à 1, R la mise à 0.  
Q est l'état de la mémoire.



**Question 16 : Expliquer pourquoi il faut utiliser des bascules à enclenchement prioritaire pour décrire un grafet par logigramme.**

**Question 17 : Réaliser le logigramme du grafet de gestion de circulation du lait pour le trayon 1.**

## TROISIÈME PARTIE

### Synthèse d'une loi de commande

Objectif : synthétiser une loi de commande assurant l'asservissement et la régulation de la position du chariot 1 lors d'une traite et, ce quelles que soient les interactions entre la vache et le robot de traite Astronaut A3.

Cette partie se décompose en trois études devant permettre d'atteindre l'objectif décrit ci-dessus.

La caractérisation des performances du robot de traite Astronaut A3 impose l'élaboration d'un modèle de simulation afin de décrire le fonctionnement du robot Astronaut A3. Ce modèle de simulation est basé sur la construction d'un modèle de connaissance.

#### 3.1. Construction d'un modèle de connaissance

L'annexe 1 regroupe les documents décrivant la structure, le graphe des liaisons et des efforts, la modélisation cinématique, le paramétrage cinématique du bras du robot Astronaut A3.

L'établissement de ce modèle de connaissance nécessite, d'une part, la description du comportement dynamique du robot à l'aide d'équations différentielles décrivant les différents mouvements du bras du robot de traite Astronaut A3 et, d'autre part, l'écriture des relations liant les tensions d'alimentation des servo-distributeurs et les déplacements des tiges des différents vérins.

#### ***Expression des relations géométriques liant les paramètres géométriques associés au robot de traite Astronaut A3***

**Question 18 : Établir les relations géométriques liant le centre de gravité  $G_4$  de la tête de traite 4 défini par les coordonnées  $(x_{G4}, y_{G4}, z_{G4})$ , les paramètres géométriques  $x$ ,  $\theta_{21}$  et  $\theta_{32}$  et les longueurs  $L_2$ ,  $L_3$  et  $L_4$ .**

Lors d'une traite, le bras du robot de traite Astronaut A3 est dans une position particulière conduisant aux conditions décrites ci-dessous :

- les mouvements de la vache induisent des variations des angles  $\theta_{21}$  et  $\theta_{32}$  autour de cette position initiale faibles, permettant de faire l'approximation :

$$\begin{aligned} \cos \theta_{21} &\approx 1 & \cos \theta_{32} &\approx 1 \\ \sin \theta_{21} &\approx \theta_{21} & \sin \theta_{32} &\approx \theta_{32} \end{aligned}$$

- dans cette position, les angles  $\theta_{51}$  et  $\theta_{61}$  prennent respectivement les valeurs particulières  $\theta_{510}$  et  $\theta_{610}$ .

Hypothèses supplémentaires :

- la rotation des vérins 5 et 6 est négligée ;
- les vitesses de sortie de tige s'écrivent  $\vec{V}_{D50} = \dot{y}_5 \vec{y}_5$  et  $\vec{V}_{E60} = \dot{y}_6 \vec{y}_6$  ;
- les masses respectives  $m_5$  et  $m_6$  des vérins 5 et 6 sont considérées comme négligeables devant celle des pièces 1, 2, 3 et 4.

Automatique et Informatique Industrielle

**Question 19 :** Établir la relation géométrique permettant de définir la longueur  $L_5(t)$  en fonction des paramètres géométriques  $\theta_{21}$ ,  $\theta_{510}$  et des longueurs  $l_2$  et  $L_{50}$  où  $L_{50}$  correspond à la longueur  $L_5$  lorsque le robot de traite automatique Astronaut A3 est en position de traite initiale.

**Question 20 :** À partir des hypothèses définissant les conditions de traite, en déduire une relation entre la course des vérins 5, définie par  $y_5(t) = L_5 - L_{50}$ , la longueur  $l_2$  et l'angle  $\theta_{21}$ . Expliciter clairement la (ou les hypothèses) permettant d'écrire cette relation.

**Question 21 :** En déduire la relation entre la course du vérin 6, définie par  $y_6(t) = L_6 - L_{60}$ , la longueur  $l_3$  et l'angle  $\theta_{32}$  où  $L_{60}$  correspond à la longueur  $L_6$  lorsque le robot de traite automatique Astronaut A3 est en position de traite initiale.

### ***Équations différentielles décrivant le comportement dynamique du robot de traite Astronaut A3***

Les hypothèses, introduites ci-dessus, restent valables et sont complétées par l'hypothèse suivante :

**les vérins 1, 5 et 6 sont commandés séparément.**

**Question 22 :** Proposer une démarche de résolution permettant d'écrire les expressions des actions mécaniques  $F_{V_1/1}$ ,  $F_{V_5/2}$ ,  $F_{V_6/3}$  associées aux différents vérins 1, 5 et 6.

La méthode et les outils utilisés sont laissés à l'initiative du candidat qui veillera à préciser clairement les hypothèses, l'ensemble isolé, le principe et/ou le théorème à utiliser (avec éventuellement le point de calcul) et la direction de projection pour chacune des trois actions mécaniques à caractériser.

**Question 23 :** Écrire l'équation différentielle liant l'effort  $F_{V_1/1}(t)$  développé par le vérin  $V_1$ , la position de la tige du vérin 1,  $x(t)$  et ses dérivées successives, une perturbation extérieure  $F_p(t)$ , la masse équivalente  $M_{1Equ}$ , à définir en fonction de  $m_1, m_2, m_3$  et  $m_4$ , et le coefficient de frottement visqueux  $f_{10}$ .

**Question 24 :** Écrire l'équation différentielle liant l'effort  $F_{5/2}(t)$  développé par les vérins  $V_5$ , la course des vérins 5,  $y_5(t)$  et ses dérivées successives, la masse équivalente  $M_{5Equ}$  et le coefficient de frottement visqueux équivalent  $b_{5Equ}$  à définir en fonction des différents paramètres  $A_2, A_3, A_4, m_2, m_3, m_4, L_2, L_3, L_4, l_2$  et  $b_{21}$ .

Automatique et Informatique Industrielle

Quelles que soient les réponses obtenues aux questions précédentes, le système d'équations différentielles retenu pour la suite est le suivant :

$$\begin{cases} M_{1\text{Equ}} \ddot{x}(t) + f_{10} \dot{x}(t) = F_{V_{1/1}}(t) - F_p(t) \\ M_{5\text{Equ}} \ddot{y}_5(t) + b_{5\text{Equ}} \dot{y}_5(t) = F_{V_{5/2}}(t) + F_{0\ V_{5/2}} - \left( \left( \frac{m_2}{2} + m_3 + m_4 \right) L_2 - m_4 L_4 \right) \frac{g}{l_2} \\ M_{6\text{Equ}} \ddot{y}_6(t) + b_{6\text{Equ}} \dot{y}_6(t) = F_{V_{6/3}}(t) + F_{0\ V_{6/3}} + \frac{m_4 g L_4}{l_3} \end{cases}$$

**Question 25 :** Justifier, en précisant la démarche retenue, la nouvelle écriture du système d'équations différentielles décrivant le comportement dynamique du robot de traite :

$$\begin{cases} M_{1\text{Equ}} \ddot{x}(t) + f_{10} \dot{x}(t) = F_{V_{1/1}}(t) - F_p(t) \\ M_{5\text{Equ}} \ddot{y}_5(t) + b_{5\text{Equ}} \dot{y}_5(t) = F_{V_{5/2}}(t) \\ M_{6\text{Equ}} \ddot{y}_6(t) + b_{6\text{Equ}} \dot{y}_6(t) = F_{V_{6/3}}(t) \end{cases}$$

**Question 26 :** Après avoir explicité les transformées de Laplace des équations différentielles données précédemment, construire les schémas bloc associés aux trois équations différentielles.

### ***Modélisation du comportement des systèmes électropneumatiques***

Le système d'équations différentielles décrivant le comportement dynamique du robot de traite Astronaut A3 fait apparaître les efforts développés par les vérins 1, 5 et 6.

Les différents vérins implantés sur le robot de traite Astronaut A3 sont dotés d'un système électropneumatique dédié à la commande des vérins.

Afin d'obtenir un modèle complet liant les tensions d'alimentation des servo-distributeurs aux coordonnées de la tête de traite 4, il est nécessaire de modéliser le comportement de ces systèmes électropneumatiques.

Chacune des différentes chaînes électropneumatiques destinées à mouvoir le robot de traite Astronaut A3 est constituée (figure 16) :

- d'une alimentation en air comprimé commune qui délivre la pression  $P_s$  ;
- de deux servo-distributeurs ;
- d'un vérin pneumatique linéaire ;
- de capteurs ;
- d'une carte électronique.



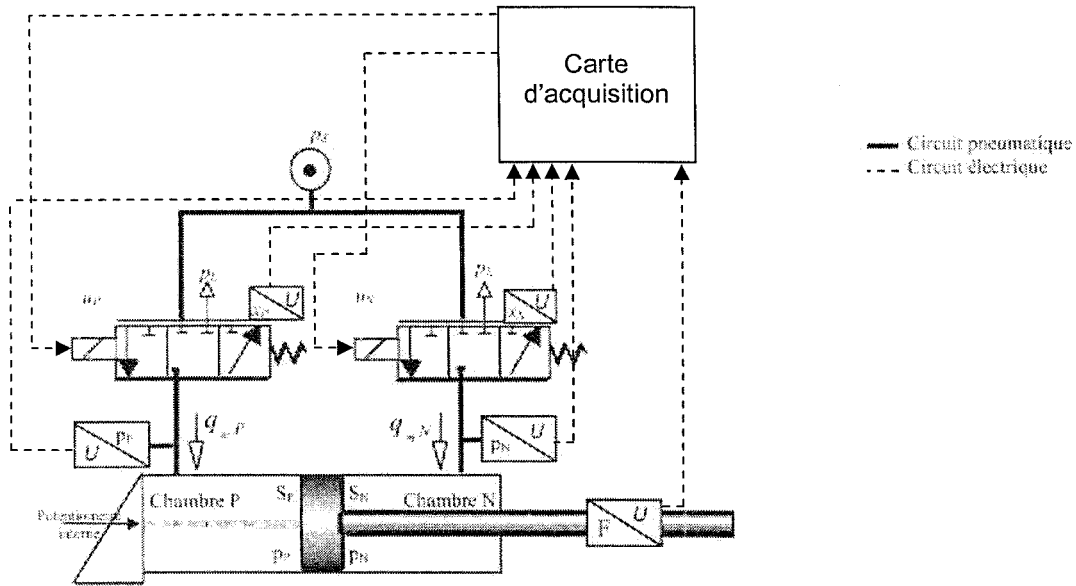


Figure 16. Description de la structure d'une des chaînes électropneumatiques

L'annexe 2 regroupe les informations permettant de définir les caractéristiques de chacun des éléments constituant la chaîne électropneumatique.

L'obtention du modèle de connaissance associé au système électropneumatique nécessite de modéliser le comportement :

- thermodynamique de chacune des chambres pneumatiques de volume variable ;
- électromécanique du servo-distributeur.

La figure 17 présente le modèle non linéaire décrivant le comportement du système électropneumatique sous forme d'un schéma bloc pour une évolution de la pression dans les chambres du vérin considérée comme polytropique.

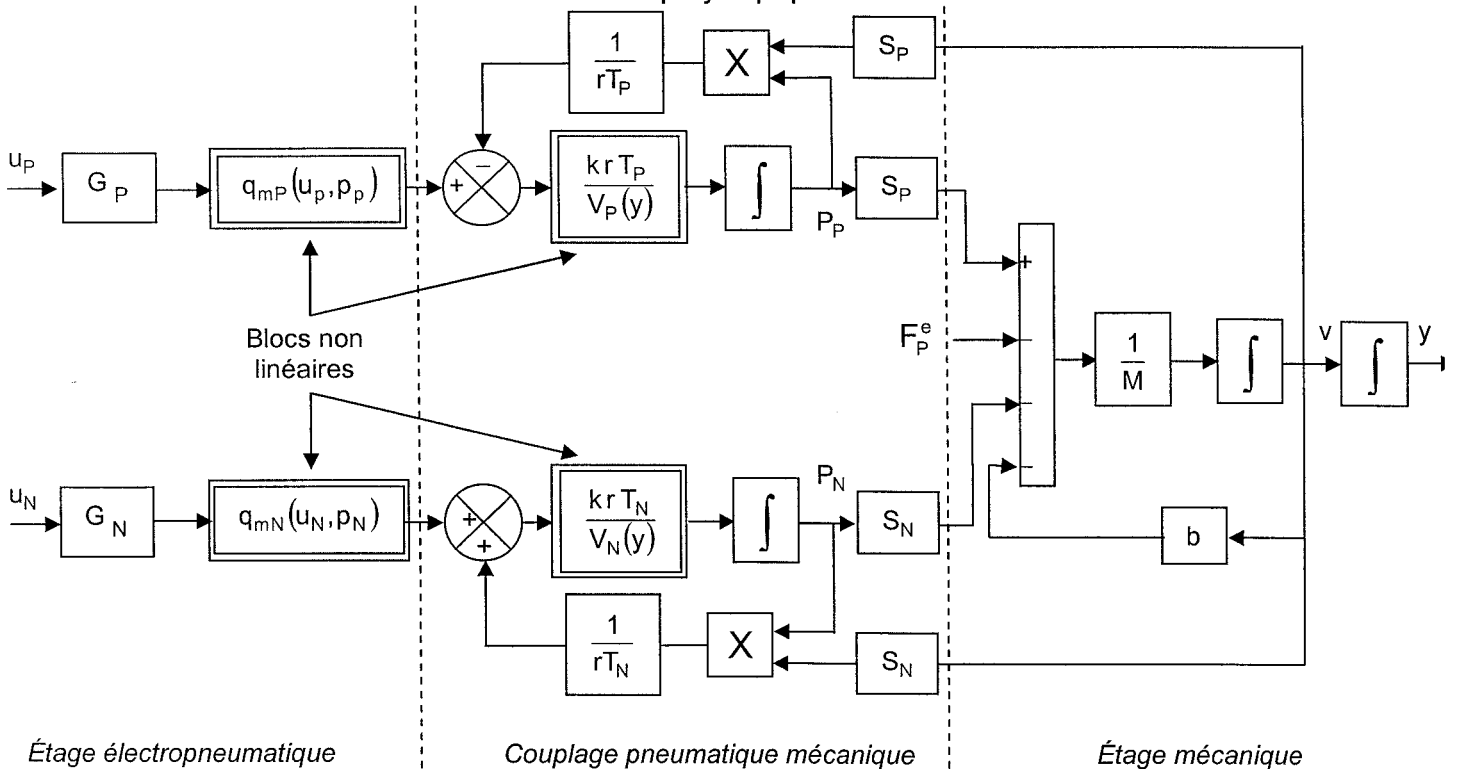


Figure 17. Schéma bloc décrivant le comportement non linéaire du système électropneumatique

Automatique et Informatique Industrielle

Le tableau de la figure 18 décrit les différentes variables et constantes introduites dans le schéma bloc de la figure 17 :

$r$	Constante des gaz parfaits
$k$	Coefficient polytropique, $k = 1,2$
$v$	Vitesse de déplacement de la tige de vérin
$i$	Indice définissant les chambres du vérin : P ou N
$p_i$	Pression dans la chambre $i$
$T_i$	Température dans la chambre $i$
$V_i(y)$	Volume de la chambre $i$ pour une position $y$ du vérin
$S_i$	Section du piston associée à la chambre $i$
$q_{mi}(u_i, p_i)$	Débit massique de compressibilité dans la chambre $i$
$M$	Masse en déplacement
$b$	Coefficient de frottement visqueux
$F_p^e$	Effort extérieur

Figure 18. Données liées au modèle non linéaire associé au système électropneumatique

La présence de comportements non linéaires tel que celui du débit massique en fonction de la tension de commande et de la pression dans la chambre ne permet pas, dans un premier temps, d'utiliser les outils de synthèse des lois de commande propres aux systèmes linéaires, continus et invariants.

Dans l'optique de synthétiser les lois de commande destinées à la commande du robot de traite Astronaut A3 à l'aide de ces outils, il est nécessaire de construire un modèle linéaire décrivant le comportement du système électropneumatique.

Hypothèses :

- la pression source est identique pour les deux servo-distributeurs ;
- les températures dans les deux chambres sont considérées comme égales à la température source  $T_s$  ;
- les dynamiques de positionnement des tiroirs des servo-distributeurs sont considérées comme négligeables devant la dynamique de positionnement du vérin ;
- les servo-distributeurs sont supposés identiques et symétriques. L'influence des différences de qualité d'usinage, des caractéristiques des électroaimants, des raideurs des ressorts est négligée ;
- les commandes appliquées aux servo-distributeurs P et N seront de signe opposé ;
- les frottements secs sont négligés.

Ces hypothèses permettent de simplifier le modèle complet mais ne permettent pas de rendre ce modèle linéaire.

Un modèle linéaire autour d'un point de fonctionnement est alors établi à l'aide de la méthode dite « du linéarisé tangent ». Cette méthode se décompose en deux étapes distinctes :

o **Première étape : détermination de l'état d'équilibre du système non linéaire étudié**

La position d'équilibre du système électropneumatique est alors déterminée et est définie par :

- $y^e$  : position du vérin à l'équilibre ;
- $u^e$  : tension associée ;

Automatique et Informatique Industrielle

- $p_P^e, p_N^e$  : pressions à l'équilibre dans les chambres P et N ;
- $v^e$  : vitesse à l'équilibre ( $v^e = 0$ ) ;
- $V_P(y^e), V_N(y^e)$  : volumes des chambres P et N pour  $y = y^e$  avec  $V_P(y^e) = V_N(y^e) = V(y^e)$ .

o **Seconde étape : écriture d'une approximation linéaire du modèle non linéaire**

Au voisinage de ce point d'équilibre, une approximation de l'évolution du système électropneumatique est effectuée en utilisant un développement en série de Taylor de la fonction non linéaire après le changement de variables :

$$\begin{cases} \delta p_P = p_P - p_P^e & : \text{variation de pression chambre P} \\ \delta p_N = p_N - p_N^e & : \text{variation de pression chambre N} \\ \delta v = v - v^e & : \text{variation de vitesse} \\ \delta y = y - y^e & : \text{variation de position} \\ \delta u = u - u^e & : \text{variation de tension} \end{cases}$$

Cette méthode aboutit à la construction du schéma bloc de la figure 19 où  $U(p)$ ,  $\Delta P_P(p)$ ,  $\Delta P_N(p)$ ,  $V_Y(p)$  et  $Y(p)$  représentent respectivement les transformées de Laplace des variables  $\delta u(t)$ ,  $\delta p_P(t)$ ,  $\delta p_N(t)$ ,  $\delta v(t)$  et  $\delta y(t)$  et où  $G_{ui}$  et  $C_{Pi}$  sont respectivement les coefficients de sensibilité du débit par rapport à la commande et les coefficients de sensibilité du débit par rapport à la pression pour la chambre i.

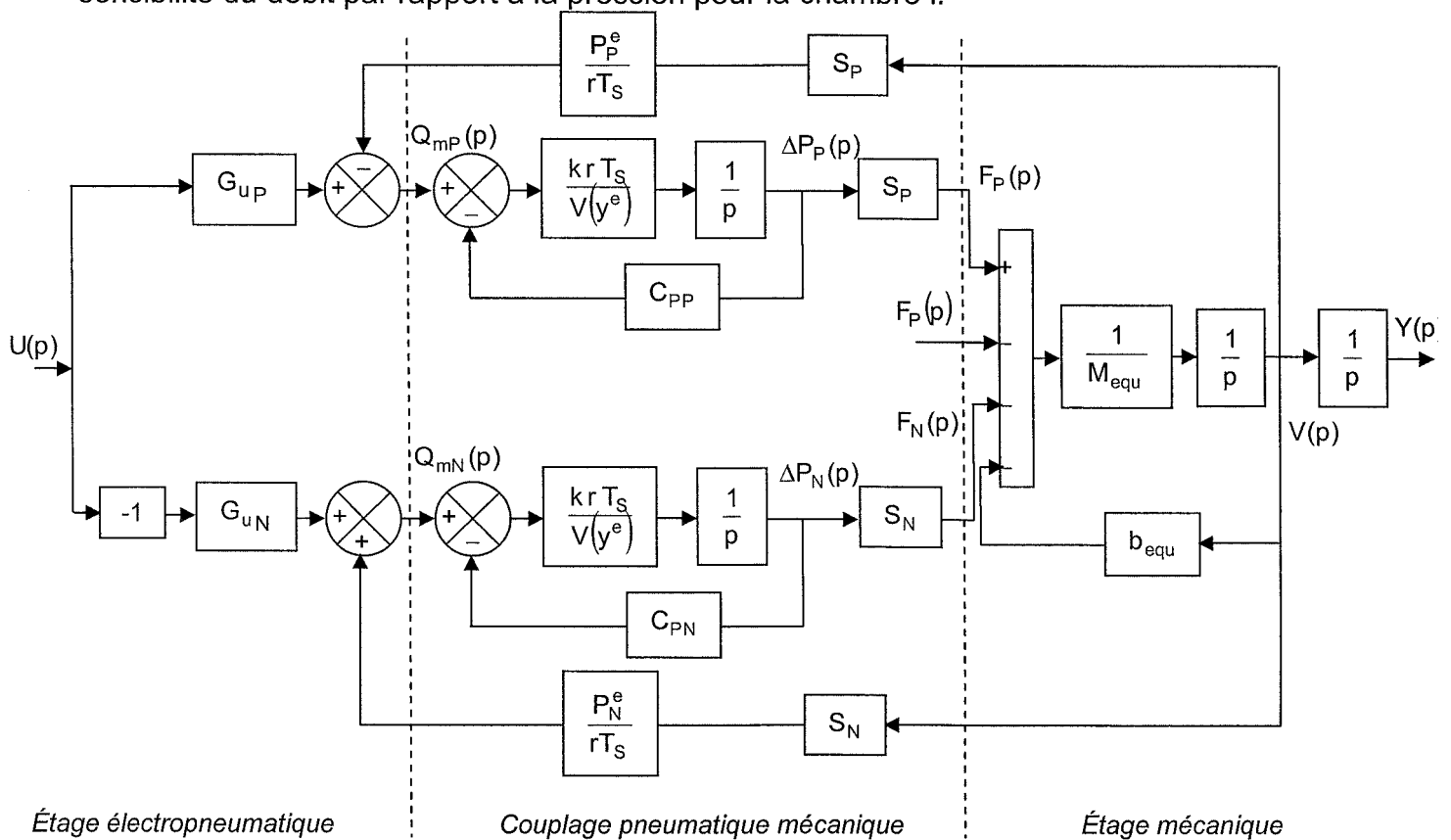


Figure 19. Schéma bloc associé au modèle linéaire décrivant le comportement du système électropneumatique

La fonction de transfert  $G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)}$  associée au schéma bloc de la figure 19 conduit à un modèle du troisième ordre.

Automatique et Informatique Industrielle

À ce stade de l'étude et, en première approximation, les hypothèses suivantes sont introduites :

Hypothèses :	Conséquences :
Le vérin est symétrique	$S_P = S_N = S$
Les frottements secs sont négligés	$P_P^e = P_N^e = P^e$
Les deux servo-distributeurs sont strictement identiques	$G_{uP} = G_{uN} = G_u, C_{PP} = C_{PN} = C_P$

**Question 27 :** Simplifier le schéma bloc donné figure 19 et écrire la fonction de transfert  $\frac{V(p)}{U(p)}$  pour  $F_p(p) = 0$  sous la forme  $\frac{K_u}{Ap^2 + Bp^2 + C}$  où les termes A, B, C et  $K_u$  seront explicités. En déduire la fonction de transfert  $\frac{Y(p)}{U(p)}$ .

**Question 28 :** Écrire la fonction de transfert  $P(p) = \frac{V(p)}{F_p(p)}$  pour  $U(p) = 0$  sous la forme  $\frac{1+Dp}{Ap^2 + Bp + C}$  où le terme D sera explicité. En déduire la fonction de transfert  $\frac{Y(p)}{F_p(p)}$ .

**Question 29 :** Montrer que le modèle complet associé à la chaîne de transmission dans la direction  $\vec{x}$  peut se mettre sous la forme du schéma fonctionnel donné figure 20 où les termes  $F_1(p)$ ,  $G_1(p)$  et  $H_1(p)$  seront explicités.

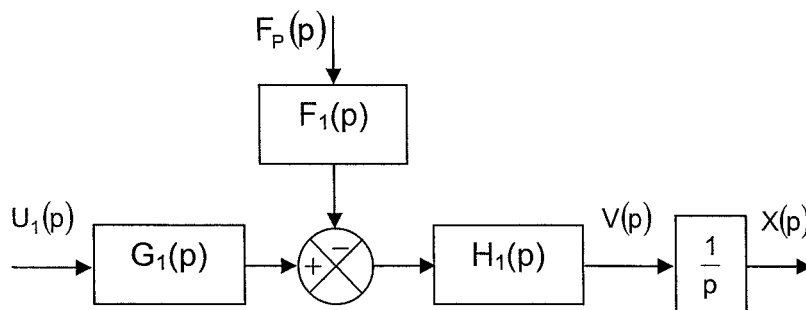


Figure 20. Schéma bloc associé au modèle de comportement dynamique du chariot 1

### 3.2. Choix d'une architecture de commande compatible avec les spécifications du cahier des charges

La suite de l'étude s'intéresse à la synthèse de la loi de commande destinée à la commande en asservissement et en régulation du chariot 1.

Cette étude se justifie par la nécessité, d'une part, d'asservir la position de la tête de traite 4 lors des déplacements de la vache dans le box, et, d'autre part, de rendre le fonctionnement du bras du robot de traite insensible aux perturbations extérieures.

Lors d'une traite, la vache dispose, du fait de la structure du box, d'une certaine liberté de mouvement selon la direction  $\vec{x}$ , ce qui induit qu'à chaque instant la position des trayons de la vache varie d'où la nécessité d'adapter la position de la tête de traite 4. De plus le positionnement de la tête de traite 4 sous la vache l'expose occasionnellement à des coups de patte générant des modifications de la position de la tête de traite 4.

**Question 30 :** À partir de l'analyse du processus de traite, justifier le fait qu'une commande en chaîne directe ne permette pas d'atteindre le niveau de performances attendu. Plusieurs justifications, pouvant conduire à cette conclusion, sont attendues.

**Question 31 :** Proposer, sous forme d'un schéma bloc le plus complet possible, une architecture de commande permettant d'atteindre les objectifs en terme d'asservissement et de régulation.

L'architecture de commande retenue pour la synthèse de la loi de commande appliquée au chariot 1 est décrite figure 21.

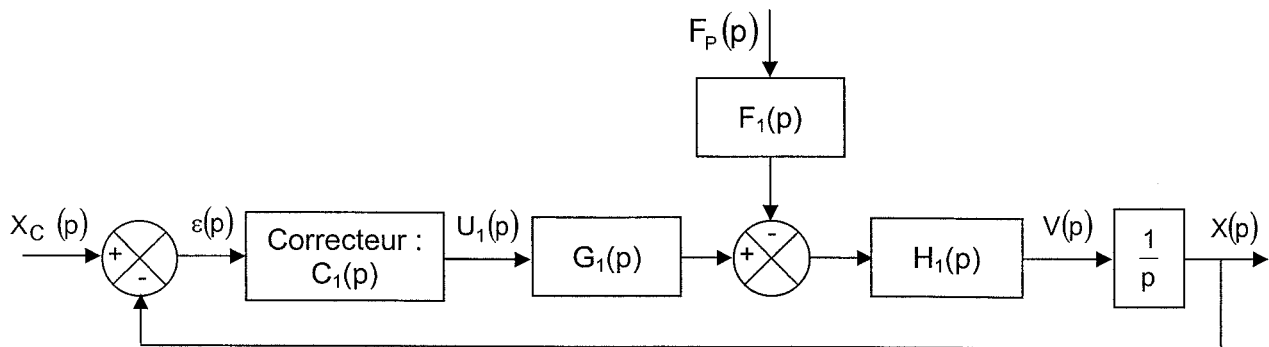


Figure 21. Architecture de commande retenue

### 3.3. Synthèse de la loi de commande dédiée à l'asservissement et à la régulation de la position du chariot 1

**Cahier des charges :** Le cahier des charges partiel décrivant les performances associées au chariot 1 est le suivant :

Fonction	Critères	Niveaux et éventuelle flexibilité
FS <sub>1</sub>	<b>Axe N° 1 (translation du chariot 1 par rapport au bâti)</b>	
	Débattement linéaire assuré par le vérin 1	2 m
	Stabilité de l'axe	$M_\phi > 60^\circ$
	Amortissement de l'axe	Aucun dépassement transitoire permis
	Précision de positionnement de l'axe	Erreur (*) inférieure à 1% en régime stationnaire et en réponse à un échelon
	Rapidité de l'axe	Pulsation au gain unité : $\omega_u = 10 \text{ rad.s}^{-1}$

(\*) différence entre la sortie et l'entrée

#### 3.3.1. Synthèse d'un correcteur à action proportionnelle

La première étude proposée s'intéresse à la synthèse d'un correcteur à action proportionnelle défini par  $C_1(p) = K_1$ .

##### 3.3.1.1. Rejet des perturbations

**Question 32 :** À partir du schéma-bloc proposé figure 21 et des expressions de  $F_1(p)$ ,  $G_1(p)$  et  $H_1(p)$ , exprimer la fonction de sensibilité vis-à-vis de la perturbation définie par  $\frac{X(p)}{F_P(p)}$  en fonction de A, B, C, D,  $K_u$  et  $K_i$ .

**Question 33 :** Proposer un modèle mathématique pour  $F_P(p)$  modélisant un coup de patte subi par la tête de traite 4.

**Question 34 : Un correcteur à action proportionnelle de gain  $K_1$  permet il d'annuler les effets de la perturbation vis-à-vis de la position de la tête de traite ?**

### 3.3.1.2. Étude en asservissement

Les figures 22 et 23 présentent respectivement le comportement fréquentiel de la boucle ouverte et l'évolution de la position du chariot 1 pour un échelon de position de 0,01 m pour  $C_1(p)=K_1=1$ .

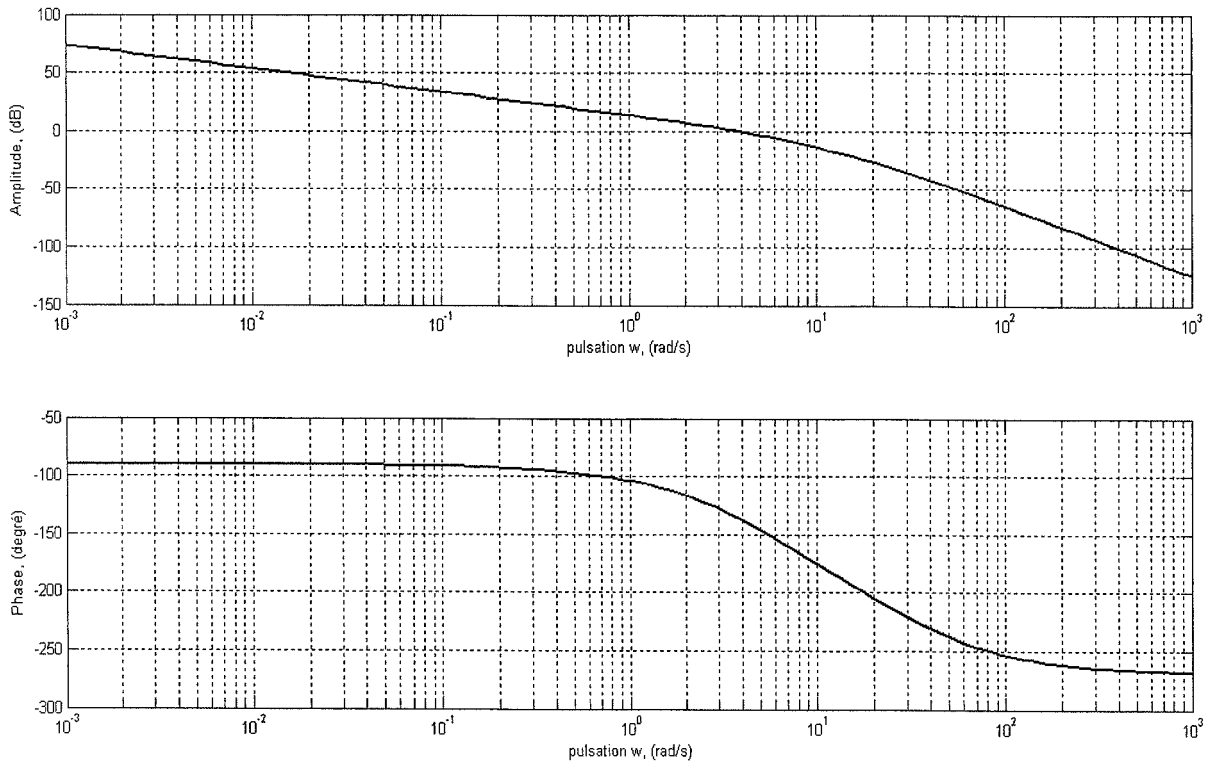


Figure 22. Diagramme de Bode de la boucle ouverte  $\frac{X(p)}{\varepsilon(p)}$  avec le correcteur  $C_1(p)=K_1=1$

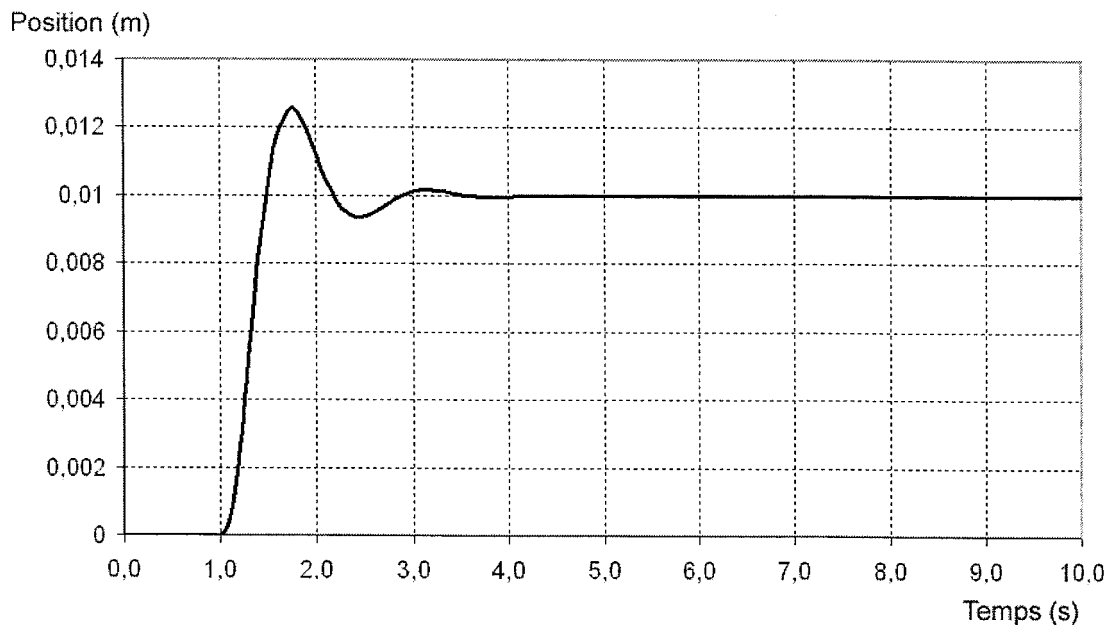


Figure 23. Évolution de la position du chariot 1 pour un échelon de position de 0,01 m avec  $C_1(p)=K_1=1$

Automatique et Informatique Industrielle

**Question 35 :** Le correcteur à action proportionnelle de gain unitaire permet-il de respecter les spécifications du cahier des charges ?

**Question 36 :** Déterminer la valeur de  $K_1$  permettant de respecter la spécification de rapidité. En déduire la valeur de la marge de phase  $M\phi$ . Tracer l'allure de l'évolution de la position du chariot 1 pour la valeur de  $K_1$  trouvée.

**Question 37 :** Au vu des résultats précédents, est-il possible de valider le choix d'un correcteur à action proportionnelle ? Si non, quel type de correcteur faudrait-il implanter pour améliorer les performances du bras du robot de traite Astronaut A3 ? Justifier votre réponse.

### 3.3.2 Synthèse d'un correcteur à actions proportionnelle-dérivée

La seconde étude proposée s'intéresse à la synthèse d'un correcteur à action

proportionnelle-dérivée défini par  $C_2(p) = K_2 \frac{1 + \frac{p}{\omega_b}}{1 + \frac{p}{\omega_h}}$ .

#### 3.3.2.1. Étude en asservissement

**Question 38 :** À partir des spécifications de rapidité et de stabilité imposées par le cahier des charges, déterminer les paramètres  $K_2$ ,  $\omega_b$  et  $\omega_h$ .

Les figures 24 et 25 proposent respectivement le diagramme de Bode de la boucle ouverte corrigée et l'évolution de la position du chariot 1 avec le correcteur à action proportionnelle-dérivée synthétisé ci-dessus.

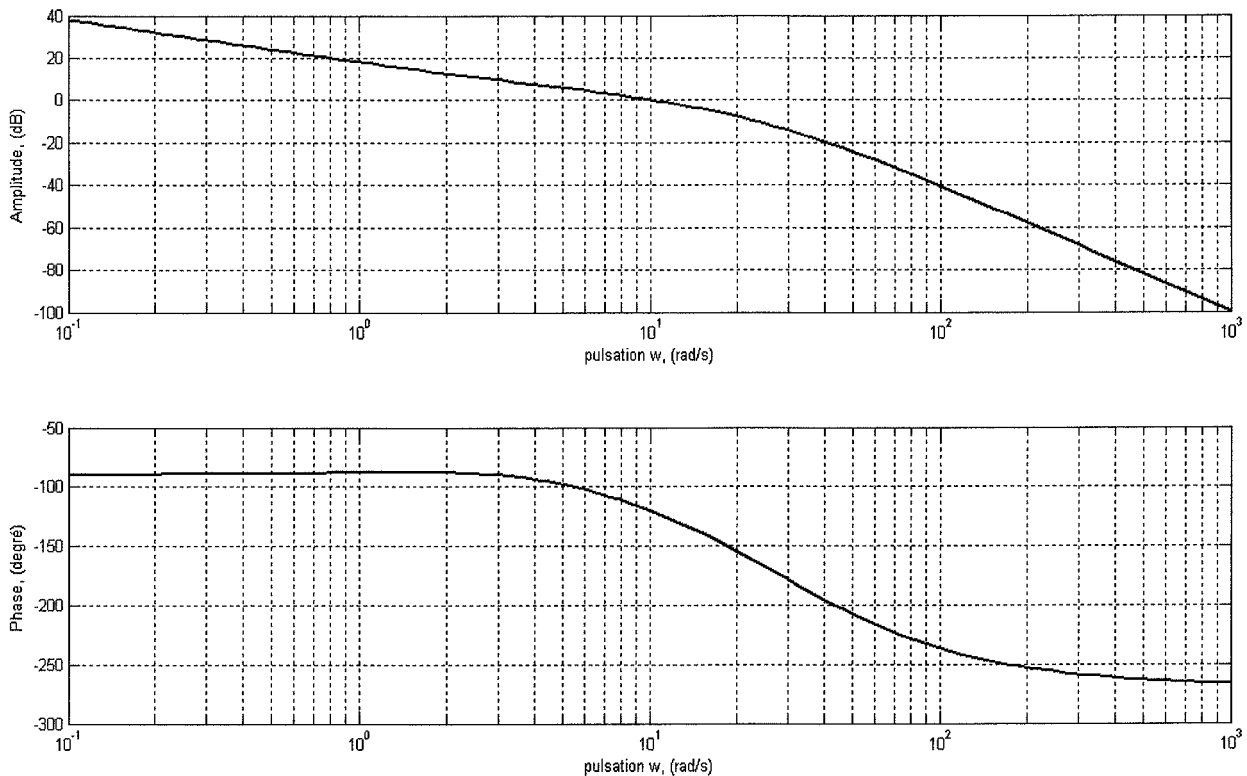


Figure 24. Diagramme de Bode de la boucle ouverte corrigée avec le correcteur à action proportionnelle-dérivée  $C_2(p)$

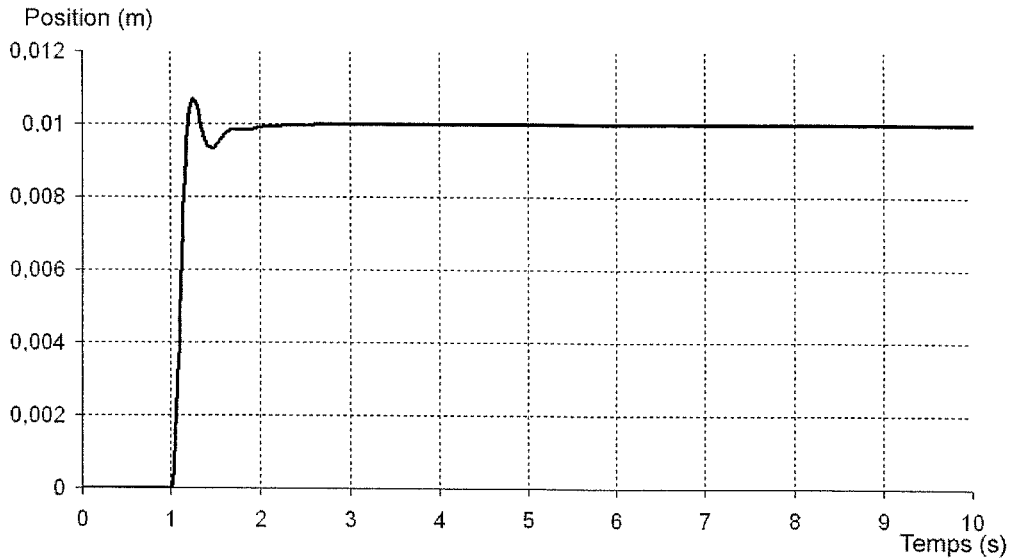


Figure 25. Évolution de la position du chariot 1 pour un échelon de position de 0,01 m avec le correcteur à action proportionnelle-dérivée  $C_2(p)$

**Question 39 :** Au vu des résultats précédents et des spécifications du cahier des charges, est-il possible de valider le correcteur à action proportionnelle-dérivée  $C_2(p)$  ?

### 3.3.2.2. Rejet des perturbations

Lors de la traite, des mouvements intempestifs peuvent conduire la vache à heurter la tête de traite 4. La figure 26 présente l'évolution de la position de la tête de traite 4 soumise à un coup de patte modélisée par une force de 100 N.

**Question 40 :** Quel est l'impact de ce coup de patte sur la traite d'une vache sachant qu'un trayon mesure entre 5 et 10 cm ? Quel type d'action faudrait-il prévoir au niveau du grafcet décrivant la connexion des gobelets ?

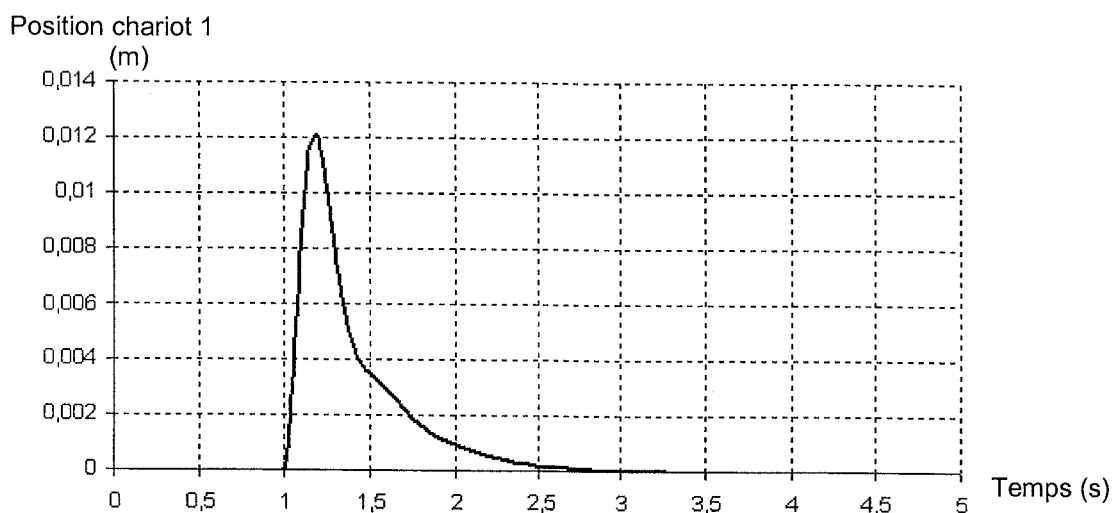


Figure 26. Évolution de la position de la tête de traite 4 sous l'action d'un coup de patte appliqué à  $t=1s$

**Question 41 :** Quelle(s) solution(s) technologique(s) permettrai(ent) de limiter l'influence de ce coup de patte ?



Automatique et Informatique Industrielle

Pour obtenir une arrivée en position sans dépassement de la tête de traite, il est nécessaire d'introduire un retour en vitesse et un retour en accélération. La figure 27 décrit la structure de commande avec trois boucles de retour.

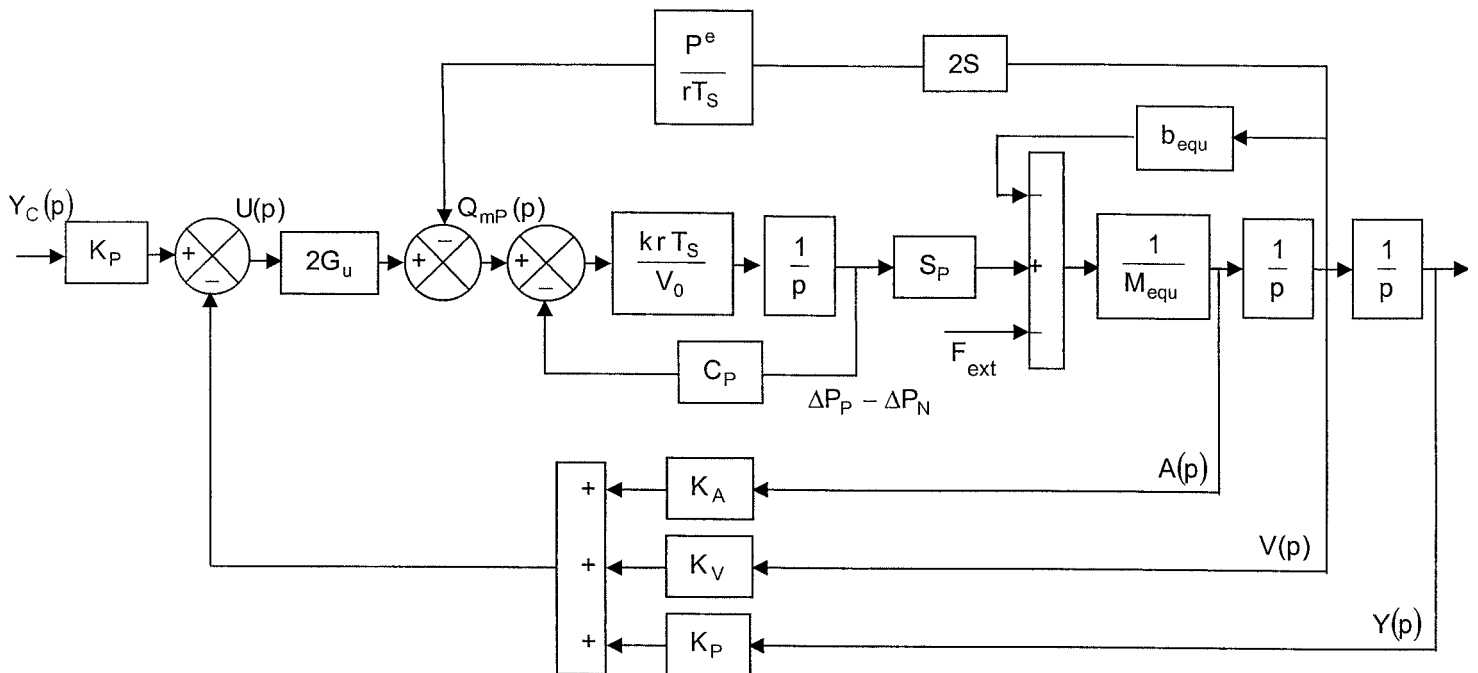


Figure 27. Schéma bloc associé à la commande avec trois boucles de retour

Ces deux boucles supplémentaires permettent d'inverser la tension de commande suffisamment tôt assurant une arrivée dans la position désirée sans dépassement.

À l'aide de cette architecture de commande présentée ci-dessus où les gains  $K_A$ ,  $K_V$  et  $K_P$  valent respectivement  $2 \text{ V/(m/s}^2)$ ,  $50 \text{ V/(m/s)}$  et  $200 \text{ V/m}$ , le comportement en position du chariot 1 est décrit par la figure 28 pour un échelon de position de  $0,01 \text{ m}$ .

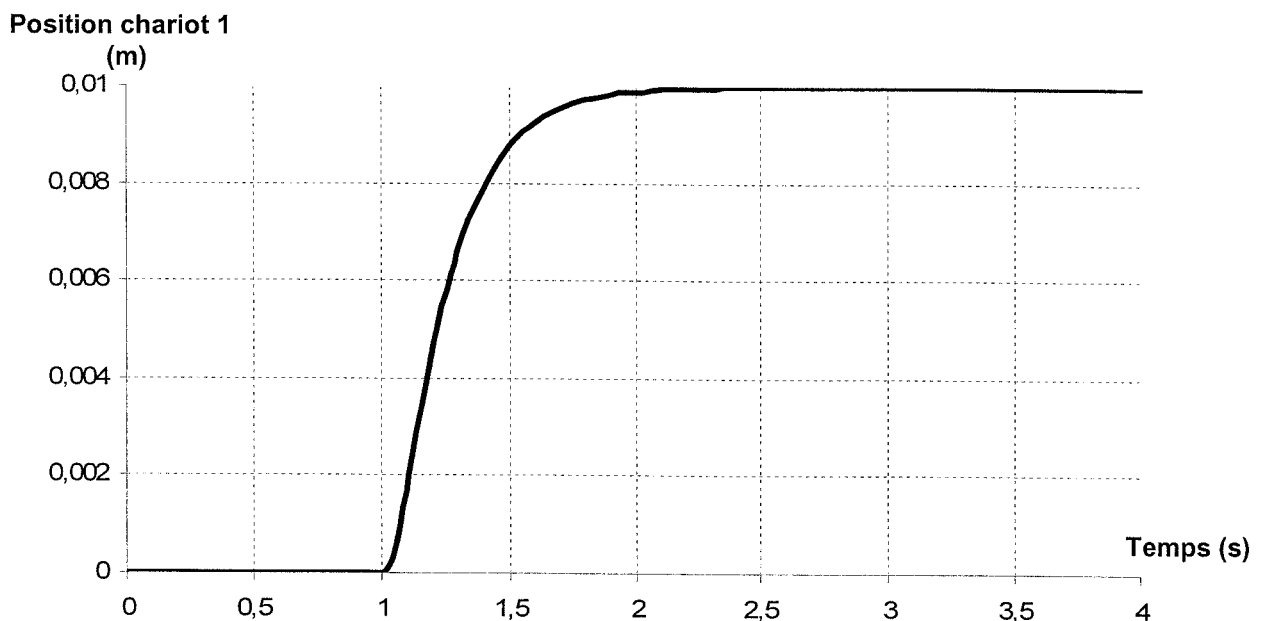


Figure 28. Évolution de la position du chariot 1 pour un échelon de position de  $0,01 \text{ m}$

**Question 42 : Cette commande permet elle de respecter les critères de performances définis par le cahier des charges ?**

## **QUATRIÈME PARTIE**

### Synthèse de l'étude menée sur le robot Astronaut A3

**Question 43 : Proposer une synthèse décrivant et justifiant la démarche mise en œuvre dans le questionnement de ce sujet pour répondre à la problématique globale de la pertinence économique de l'installation d'un robot de traite automatique.**

Une réponse utilisant un outil de la communication technique (par exemple organigramme) est attendue.

## Annexe 1 : Paramétrage et schématisation du robot de traite Astronaut A3

Le « graphe des liaisons et des efforts » (ou « graphe d'analyse ») du modèle mécanique du robot de traite Astronaut A3 est présenté figure A.1.1 :

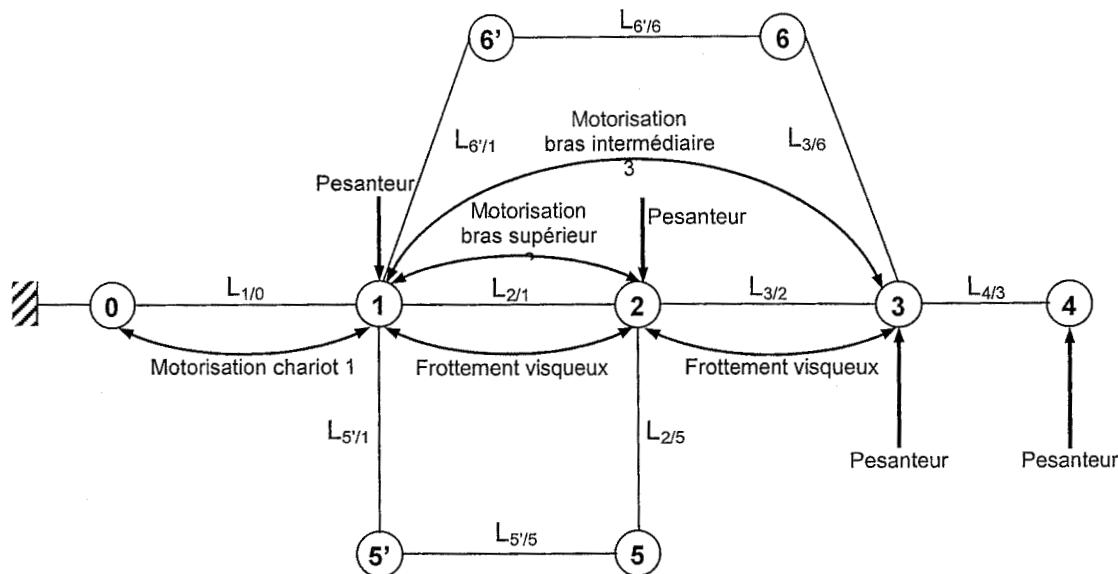


Figure A.1.1. Graphe des liaisons et des efforts de la modélisation mécanique du robot de traite Astronaut A3

$L_{1/0}$ : liaison glissière de direction $(\vec{x}_0)$	$L_{2/1}$ : liaison pivot d'axe $(A, \vec{x}_0)$	$L_{3/2}$ : liaison pivot d'axe $(B, \vec{x}_0)$
$L_{5/1}$ : liaison pivot d'axe $(F, \vec{x}_0)$	$L_{5/5}$ : liaison pivot glissant d'axe $(D, \vec{y}_5)$	$L_{5/2}$ : liaison pivot d'axe $(D, \vec{x}_0)$
$L_{6/1}$ : liaison pivot d'axe $(H, \vec{x}_0)$	$L_{6'/6}$ : liaison pivot glissant d'axe $(E, \vec{y}_6)$	$L_{6/3}$ : liaison pivot d'axe $(E, \vec{x}_0)$
$L_{4/3}$ : liaison encastrement		

Figure A.1.2. Tableau récapitulatif des liaisons

Description des actionneurs :

	Effort développé (N)	Pression (Pa)	Débit massique (kg/s)
Motorisation chariot 1 : Vérin $V_1$	$F_{V1/1}(t)$	$P_1$	$q_{m1}$
Motorisation bras supérieur 2 : Vérins $V_5$	$F_{5/2}(t) = F_{V5/2}(t) + F_{0V5/2}$	$P_5$	$q_{m5}$
Motorisation bras intermédiaire 3 : Vérin $V_6$	$F_{6/3}(t) = F_{V6/3}(t) + F_{0V6/3}$	$P_6$	$q_{m6}$

Figure A.1.3. Efforts développés par les vérins

Les efforts  $F_{0V5/2}$  et  $F_{0V6/3}$  correspondent aux efforts de maintien nécessaires pour s'opposer à l'action de la pesanteur. Les efforts  $F_{V5/2}(t)$  et  $F_{V6/3}(t)$  correspondent aux efforts à générer pour déplacer la tête de traite, avec pour  $t \leq 0$  s,  $F_{V5/2}(t) = F_{V6/3}(t) = 0$  N.

Modélisation des frottements visqueux :

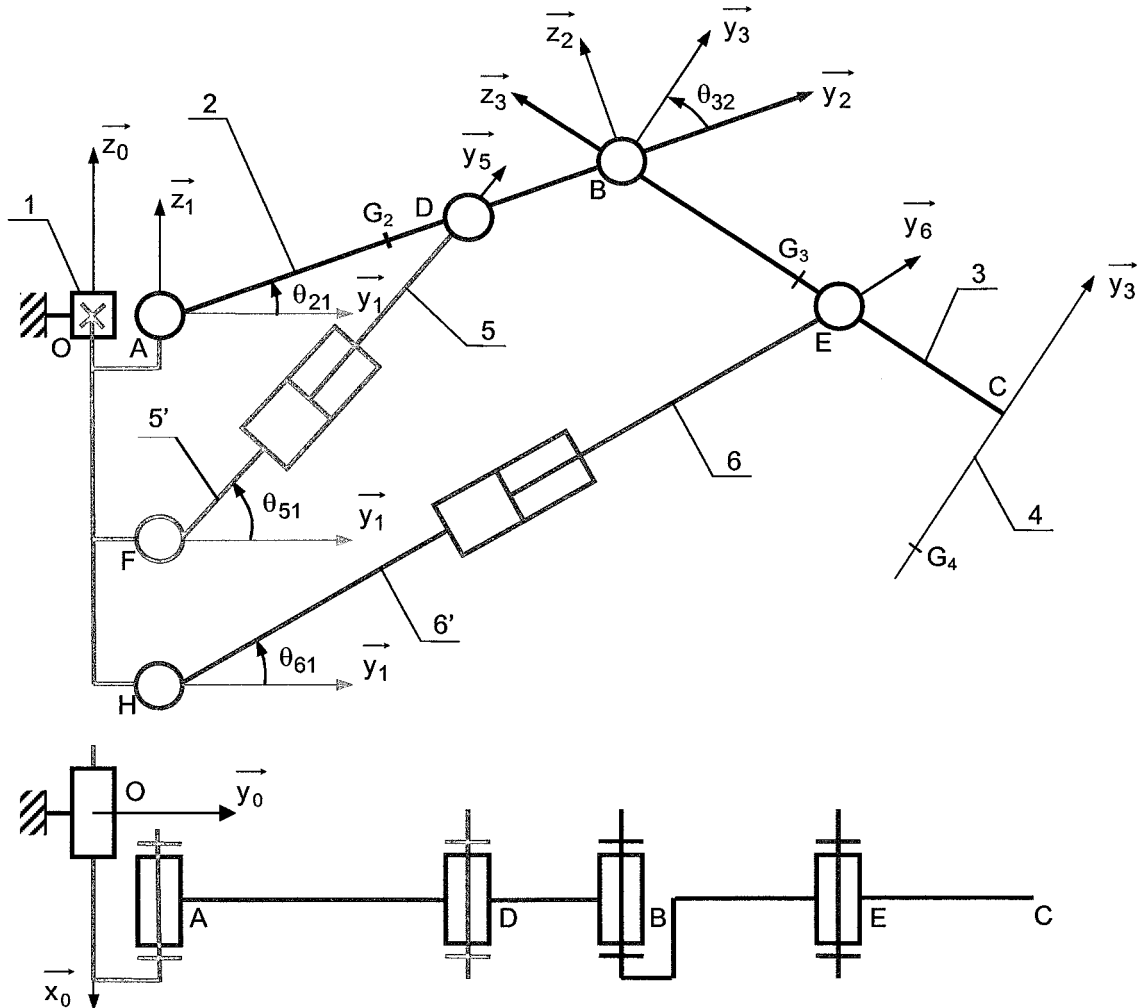
	$L_{10}$	$L_{21}$	$L_{32}$
Coefficient de frottement visqueux	$f_{10}$ (N.s.m <sup>-1</sup> )	$b_{21}$ (N.m.s.rad <sup>-1</sup> )	$b_{32}$ (N.m.s.rad <sup>-1</sup> )

Figure A.1.4. Coefficients de frottement visqueux associées aux liaisons  $L_{10}$ ,  $L_{21}$  et  $L_{32}$

**Modélisation des perturbations extérieures :**

	<b>Vache/Chariot 1</b>
Perturbation extérieure	$F_P(t) (N)$

La figure A.1.5 présente le schéma cinématique du bras du robot de traite Astronaut A3 et introduit les paramètres angulaires nécessaires à son étude.



**Figure A.1.5. Schéma cinématique associé au bras du robot Astronaut A3**

**Paramétrage géométrique :**

- $R_0 = (O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ , repère lié au bâti du robot de traite et supposé « galiléen » ;
- $R_1 = (A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ , repère lié au chariot 1 tel que  $\vec{OA} = x\vec{x}_0$  ;
- $R_2 = (A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ , repère lié au bras supérieur 2 tel que  $\theta_{21} = (\vec{y}_1, \vec{y}_2) = (\vec{z}_1, \vec{z}_2)$  ;
- $R_3 = (B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ , repère lié au bras intermédiaire 3 tel que  $\theta_{32} = (\vec{y}_2, \vec{y}_3) = (\vec{z}_2, \vec{z}_3)$  ;
- $R_5 = (F, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_5)$ , repère lié aux vérins 5 tel que  $\theta_{51} = (\vec{y}_1, \vec{y}_5) = (\vec{z}_1, \vec{z}_5)$  ;
- $R_6 = (H, \vec{x}_6, \vec{y}_6, \vec{z}_6)$ , repère lié au vérin 6 tel que  $\theta_{61} = (\vec{y}_1, \vec{y}_6) = (\vec{z}_1, \vec{z}_6)$ .

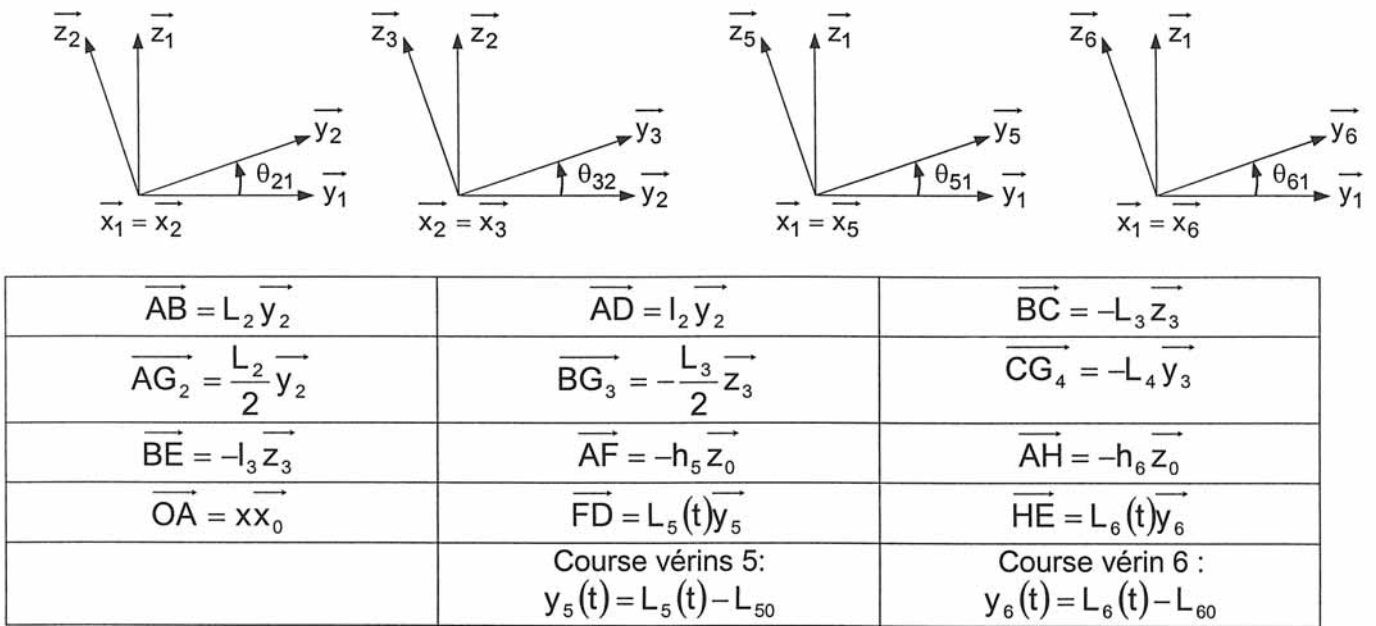


Figure A.1.6. Paramétrage géométrique dédié à l'étude du robot Astronaut A3

**Caractéristiques massiques et inertielles des solides constituant le bras du robot de traite Astronaut A3:**

Chariot 1	Masse : $m_1$	
Bras supérieur 2	Masse : $m_2$	Matrice d'inertie : $\bar{J}(2, G_2) = \begin{pmatrix} A_2 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 \end{pmatrix}_{B_2}$
Bras intermédiaire 3	Masse : $m_3$	Matrice d'inertie : $\bar{J}(3, G_3) = \begin{pmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_3 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{pmatrix}_{B_3}$
Tête de traite 4	Masse : $m_4$	Matrice d'inertie : $\bar{J}(4, G_4) = \begin{pmatrix} A_4 & 0 & 0 \\ 0 & B_4 & 0 \\ 0 & 0 & C_4 \end{pmatrix}_{B_3}$
Vérins 5	Masse : $m_5$ , négligeable	
Vérin 6	Masse : $m_6$ , négligeable	

Figure A.1.7. Caractéristiques massiques et inertielles des solides constituant le bras du robot Astronaut A3

## Annexe 2 : Systèmes électropneumatiques

La figure A.2.1 décrit la structure de la chaîne électropneumatique implantée sur le robot de traite Astronaut A3.

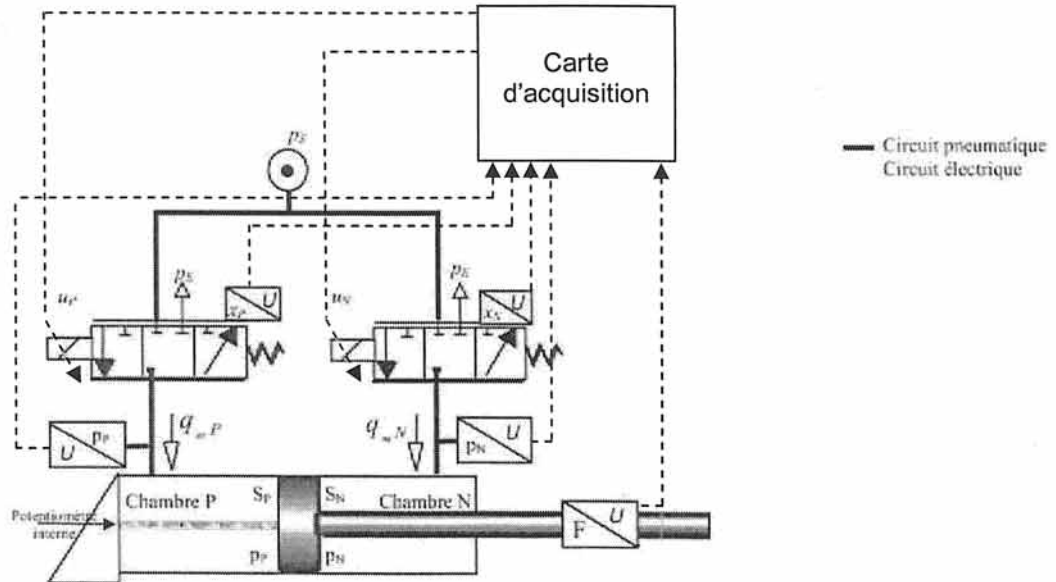


Figure A.2.1. Structure de la chaîne électropneumatique

### Chaîne d'alimentation en air comprimé :

L'air comprimé délivré aux servo-distributeurs est généré par un compresseur. Le détendeur permet de fixer la pression de service à 7 bar. Le réservoir permet d'avoir une pression constante.

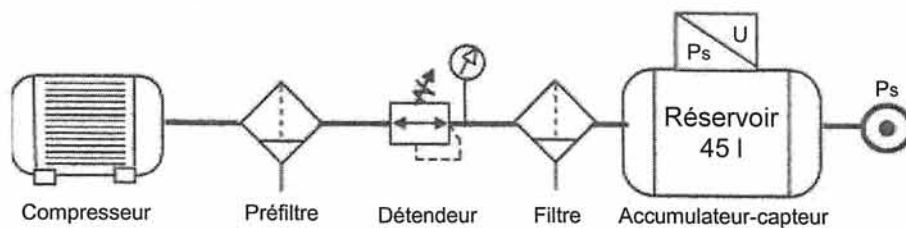


Figure A.2.2. Génération de la pression de service

### Servo-distributeurs :

Les deux servo-distributeurs, qui alimentent les chambres du vérin, sont de type 3 orifices / 3 positions pour régulation de débit. Ils sont constitués d'un distributeur pneumatique équipé d'un tiroir chemise appairé, d'un électro-aimant proportionnel qui commande directement le déplacement du tiroir et d'un capteur de position.

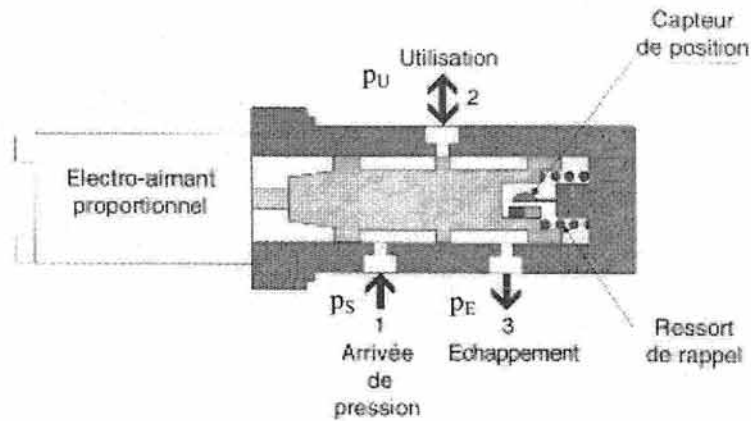
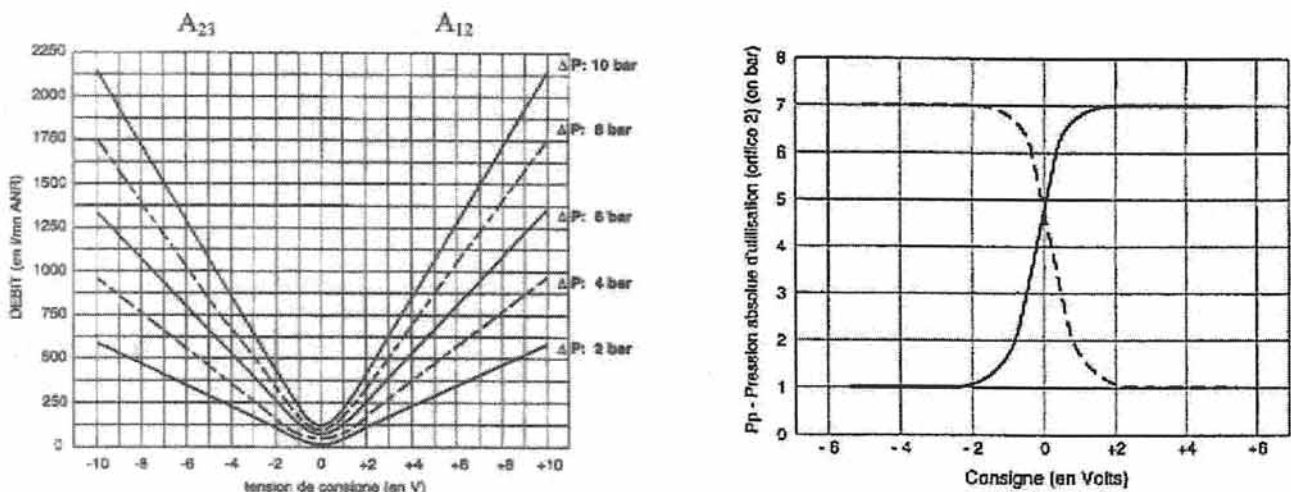


Figure A.2.3. Schéma de principe d'un servo-distributeur

Les servo-distributeurs délivrent un débit en fonction de la commande électrique et des rapports de pression amont/aval au niveau des orifices.

Afin de décrire le comportement de ces éléments, les constructeurs fournissent les courbes de gain en débit pour des pressions source de 2, 4, 6, 8 et 10 bar et une pression d'échappement constant et égale à la pression atmosphérique et de gain en pression à débit nul.



Courbe du gain en débit

Courbe du gain en pression à débit nul

Figure A.2.4. Courbes du gain en débit et du gain en pression

Caractéristiques :

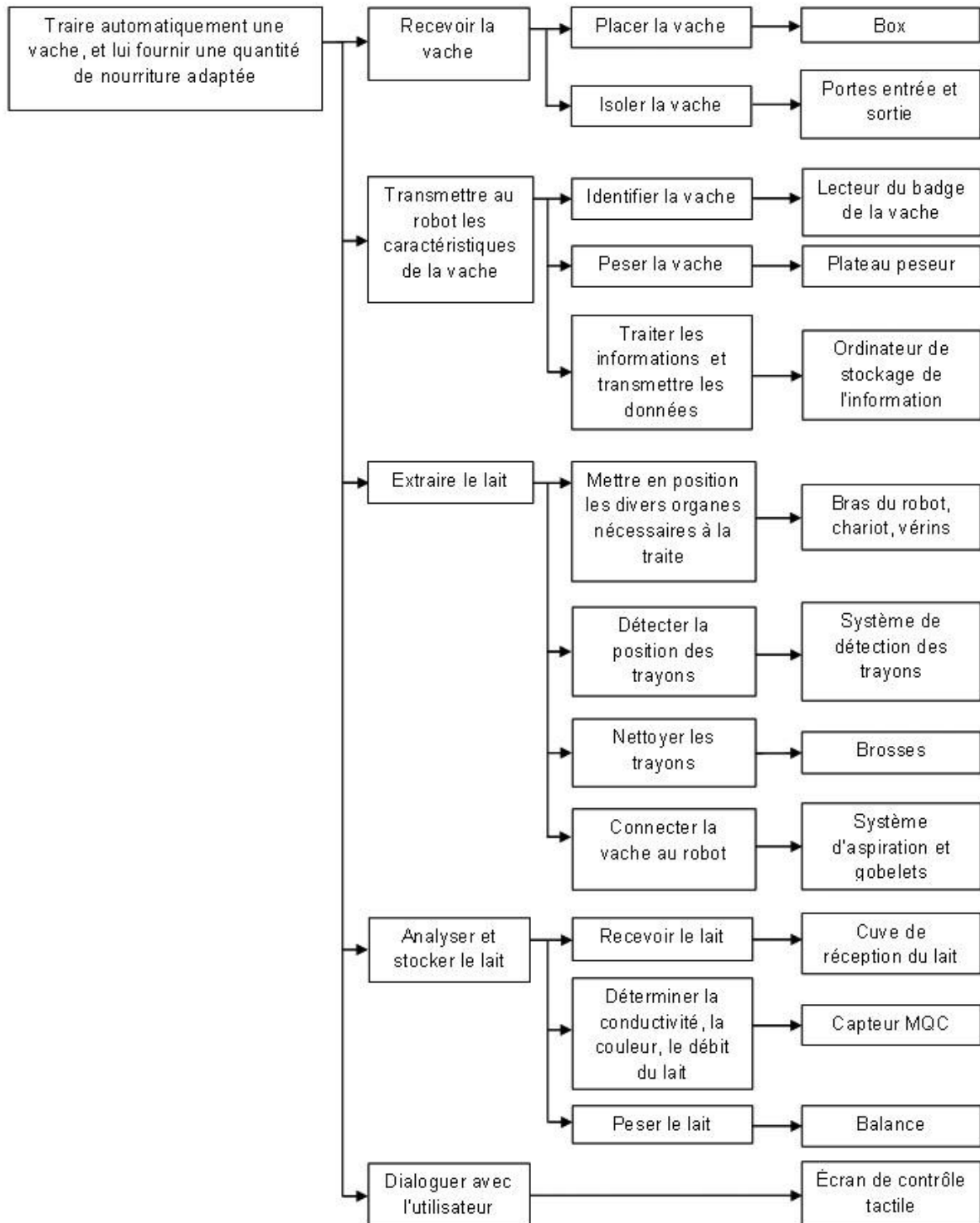
Pression maxi admissible	10 bar
Signal de consigne	$\pm 10$ V
Débit pour $p_S=7$ bar et $p_U=p_E$	0.03 kg/s
Débit de fuite maxi $p_S=7$ bar et $p_U=p_E$	0.001 kg/s
Température du fluide	5 à 40° C
Bande passante à -3 dB	170 Hz à 50% d'amplitude
Temps de réponse mécanique	5 ms à 50% d'amplitude
Tension d'alimentation	24 V
Courant maxi	1.25 A
Puissance maxi	30 W

Figure A.2.5. Caractéristiques des servo-distributeurs

# Éléments de correction de l'épreuve d'admissibilité d'automatique-informatique industrielle

## Première partie

Question 1 : Établir un diagramme de type FAST décrivant les fonctions des différents composants du robot Astronaut A3. Vous vous limiterez à trois niveaux de fonctions.





**Question 2 :** Déterminer le nombre de traites que peut effectuer le robot sur une plage d'utilisation de 20 heures. En déduire la taille maximale du troupeau lors de l'implantation d'un robot Astronaut A3.

5 traites prennent :  $5 \cdot 6 + 4 = 34$  min.

20 traites prennent :  $3 \cdot (34) + 5 \cdot 6 + 10 = 142$  min.

En 20 h, on peut réaliser :  $20 \cdot 60 / 142 = 8$  fois 20 traites il reste 64 min qui permettent de réaliser 10 traites soit 170 traites en 20 heures.

Le cheptel peut donc contenir  $170 / 2.5 = 68$  vaches.

**Question 3 :** À partir de la situation décrite ci-dessus, déterminer la durée de la phase de connexion des gobelets. Le cahier des charges de la société Lely est-il respecté ?

Temps d'installation, de désinfection et de sortie : 1'40".

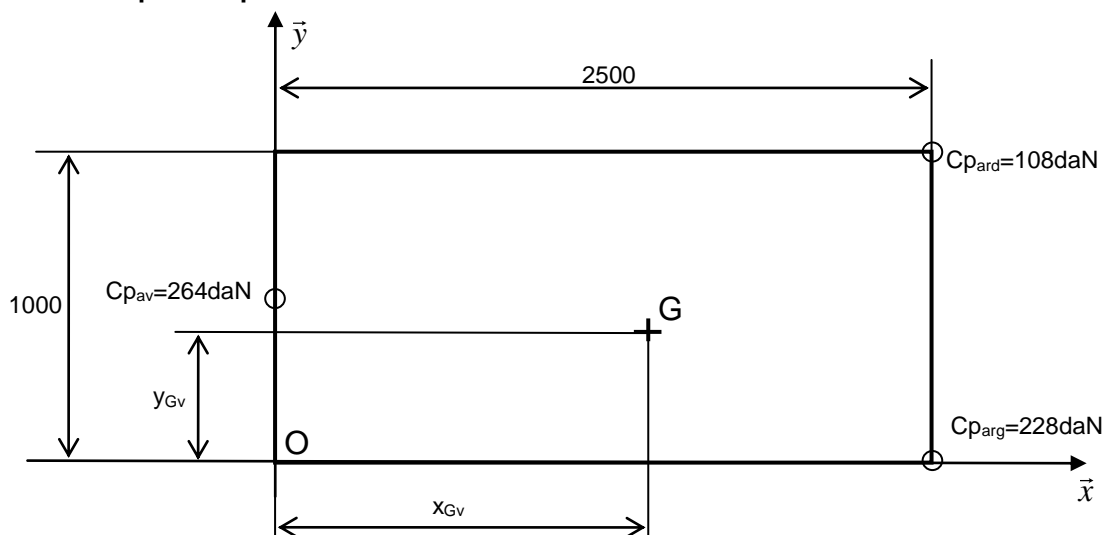
Temps de traite : 6' - 1'40" = 4'20".

Masse moyenne de chaque traite :  $25 / 2.5 = 10$  kg.

Durée au débit moyen de 3l/min soit 3kg/min :  $10 / 3 = 3,33$  min soit 3'20".

Temps de connexion des trayons : 4'20" - 3'20" = 1' maxi. Cahier des charges vérifié.

**Question 4 :** Déterminer la position du centre de gravité de la vache en projection dans le plan du plateau.



Poids de la vache (facultatif) :  $P_V = 264 + 108 + 228 = 600$  daN.

Soit  $G_V$  le centre de gravité de la vache :

$600 \cdot x_{G_V} = (108 + 228) \cdot 2500$  ;  $x_{G_V} = 336 \cdot 2500 / 600 = 1400$  mm.

$600 \cdot y_{G_V} = 264 \cdot 500 + 108 \cdot 1000$  ;  $y_{G_V} = 240 \cdot 1000 / 600 = 400$  mm.

$$\overrightarrow{OG_V} = \begin{pmatrix} 1400 \\ 400 \\ - \end{pmatrix}$$

**Question 5 :** Déterminer les coordonnées de la position que doit prendre le point  $G_4$  par rapport à sa position repos pour placer la tête de traite dans la position de détection des trayons.

$z_{G_4} = 300$  mm; hauteur par rapport au sol du trayon le plus bas  $h_m = 400$  mm. Pour être à 50 mm du trayon la tête de traite doit donc se déplacer sur z de :  $400 - 300 - 50 = 50$  mm.

$$\text{Par ailleurs, } \overrightarrow{G_4 O} + \overrightarrow{OG_V} = \begin{vmatrix} 900 \\ 900 \\ - \end{vmatrix}$$

Soit  $G_{4d}$  la position de détection des trayons du point  $G_4$  :

$$\overrightarrow{G_4 G_V} + \overrightarrow{G_V G_{4d}} = \begin{vmatrix} 900 \\ 900 \\ 50 \end{vmatrix}$$

**Question 6 :** En supposant que les moyennes des positions des dix dernières mesures confirment les positions actuelles, déterminer les coordonnées des 4 positions que doit prendre le point  $G_4$  par rapport à sa position d'origine pour placer chaque gobelet sous le trayon correspondant. Les calculs seront détaillés, les résultats seront présentés sous forme de tableau.

Comme le passage de la position basse de détection à la position approche des trayons se fait horizontalement la cote de  $z = 50$  mm reste la même.

Soient  $G_{4avd}$ ,  $G_{4avg}$ ,  $G_{4ard}$ ,  $G_{4arg}$  les points d'approche à atteindre pour chaque trayon.

Le tableau de la figure 8 du sujet donne les coordonnées des vecteurs  $\overrightarrow{G_V t_{aij}}$ .

$$\overrightarrow{G_4 G_{4aij}} = \overrightarrow{G_4 G_V} + \overrightarrow{G_V t_{aij}} + \overrightarrow{g_{aij} G_4},$$

avec les coordonnées des gobelets par rapport à  $G_4$  données par le tableau suivant :

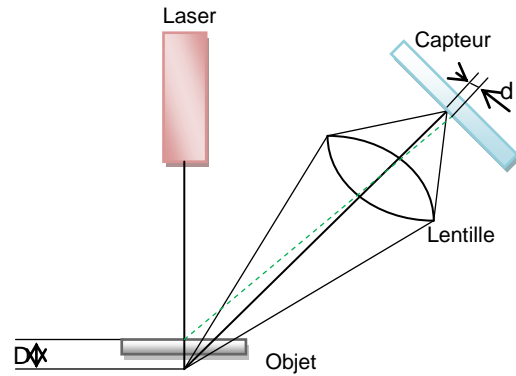
	$\overrightarrow{G_4 g_{4avd}}$	$\overrightarrow{G_4 g_{4avg}}$	$\overrightarrow{G_4 g_{4ard}}$	$\overrightarrow{G_4 g_{4arg}}$
x	150	150	280	280
y	110	-110	60	-60

Donc

	$\overrightarrow{G_4 G_{4avd}}$	$\overrightarrow{G_4 G_{4avg}}$	$\overrightarrow{G_4 G_{4ard}}$	$\overrightarrow{G_4 G_{4arg}}$
x	950	950	970	970
y	870	930	920	880
z	50	50	50	50

**Question 7 :** Expliquer le principe de fonctionnement de ce type de capteur.

Un rayon laser est projeté sur l'objet. L'élément projeté est visualisé par une caméra et saisi sur un capteur. La position relative de l'émetteur laser et de la caméra est connue. Il est donc possible par triangulation à partir de la valeur  $d$  mesuré de calculer  $D$ . Pour capturer la géométrie complète d'une pièce, le laser balaie un plan (plan laser) qui lui-même balaie la pièce.



**Question 8 : Quelle doit être la résolution des capteurs d'effort sur le tapis peseur ? Proposer différents types de capteurs pouvant convenir à cette mesure de charge sur le tapis peseur.**

$$dF = P \cdot dx/L = m \cdot g \cdot dx/L = (750 \cdot 9,81 \cdot 5 \cdot 10^{-2} / 2,5) = 14,7 \text{ daN (pour le capteur avant),}$$

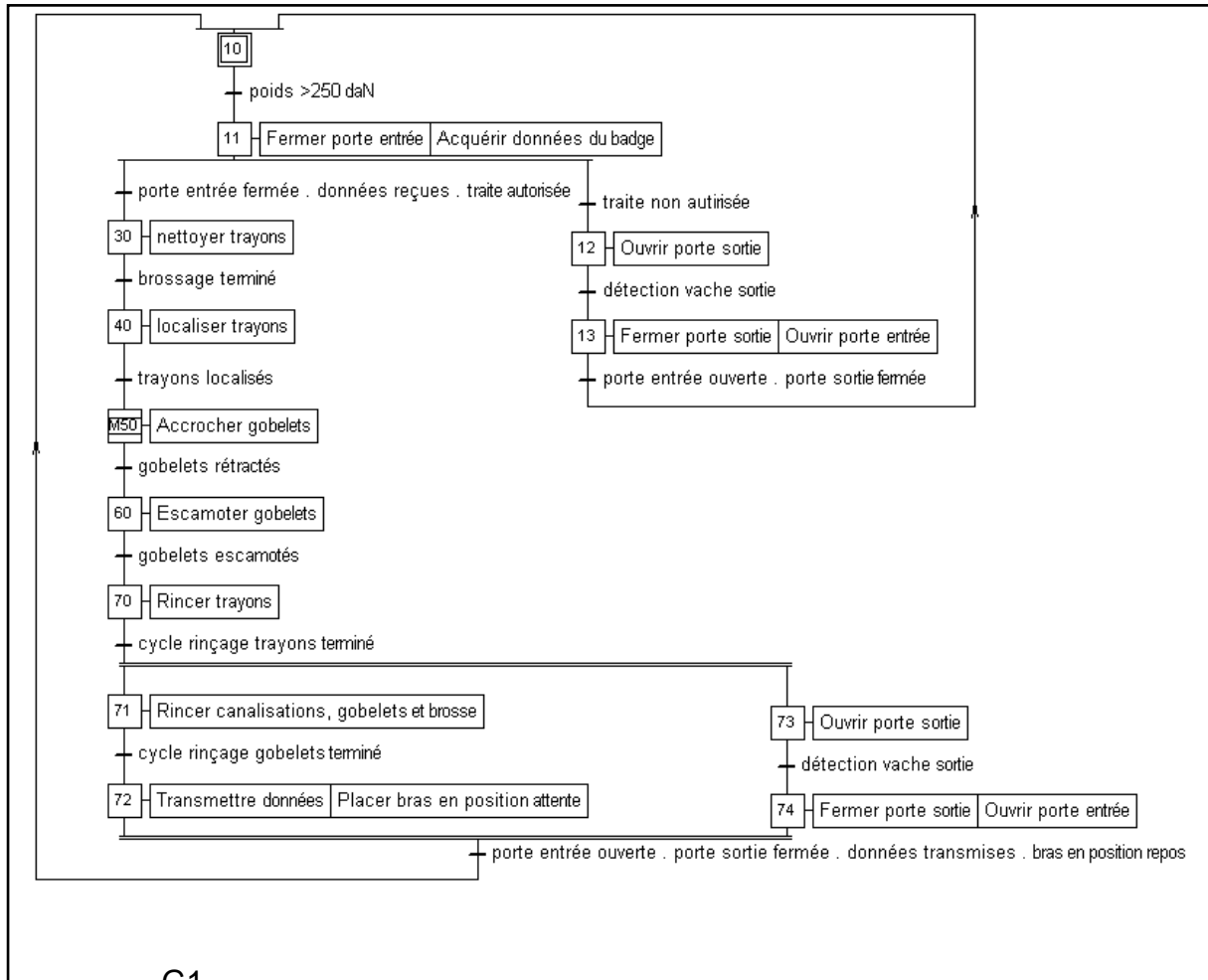
$$dF = 7,35 \text{ daN pour chaque capteur arrière.}$$

Différents types de capteurs envisageables :

- associés à un corps d'épreuve, des jauges de contrainte ou des capteurs de déplacement LVDT (Linear Variable Differential Transformer) ;
- capteurs piézo-électrique.

## Deuxième partie

**Question 9 : Construire, à partir du tableau définissant les entrées-sorties ci-dessus, un grafcet du point de vue « système » décrivant le cycle de traite. L'accrochage des gobelets sera associé à une macro-étape. Vous chercherez à minimiser le temps d'un cycle.**



**Question 10 : Proposer un système de contrôle de la sortie de la vache qui permettra de refermer la porte de sortie sans bloquer la vache, sans la coincer et sans que ce soit une autre vache qui déclenche ce capteur.**

Un portillon anti retour placé à une distance suffisante de la porte de sortie et qui pour un seuil d'ouverture donné indiquera que la porte de sortie peut se refermer car la vache est suffisamment sortie.



**Question 11 : Expliquer avec précision les évènements qui se sont déroulés depuis le début de la macro-étape 50. Vous indiquerez clairement l'état actuel du système.**

L'état de l'expansion de la macro-étape M50 est {54, 63, 72}.

Pour que l'étape 54 soit active il a fallu que le trayon 1 ait été branché correctement (pression d'aspiration au niveau dp2) et qu'il fournisse du lait [deb 1<>0]. Ce trayon est maintenant en attente de fin de traite.

L'activation de l'étape 63 indique que le trayon 2 a été connecté mais il ne fournit pas encore de lait, si le lait n'apparaît pas au bout de 10 secondes une nouvelle tentative de branchement aura lieu.

Simultanément le bras a connecté le trayon 3 qui ne fournit pas encore de lait non plus.

Avant de passer au trayon 4, le robot attend que le trayon 2 fournisse du lait. Tant que ce ne sera pas le cas il ne passera pas au suivant.

**Question 12 : Indiquez alors les différentes évolutions possibles de l'expansion de la macro-étape M50 jusqu'à atteindre la situation {54, 64, 74, 82}. Vous préciserez clairement les occurrences qui la font évoluer et les différentes situations atteintes. Cette situation {54, 64, 74, 82} est-elle stable ?**

10 secondes s'étant écoulées, le trayon 2 ne fournit pas de lait, il y a retrait du gobelet et une nouvelle tentative de connexion.

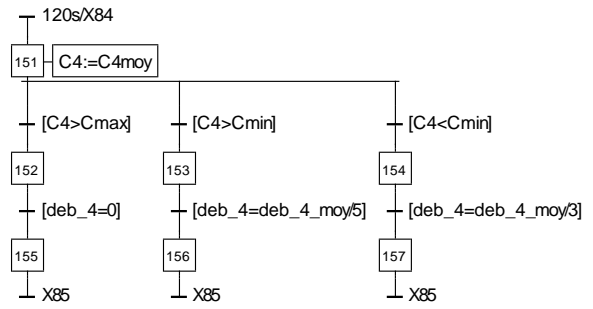
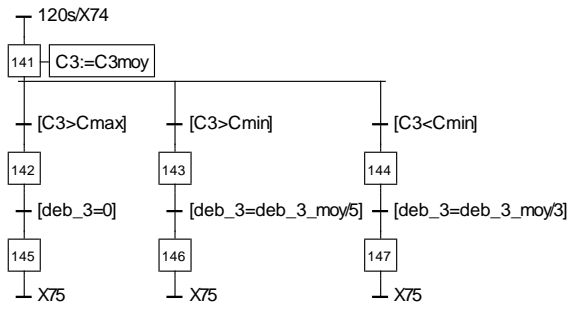
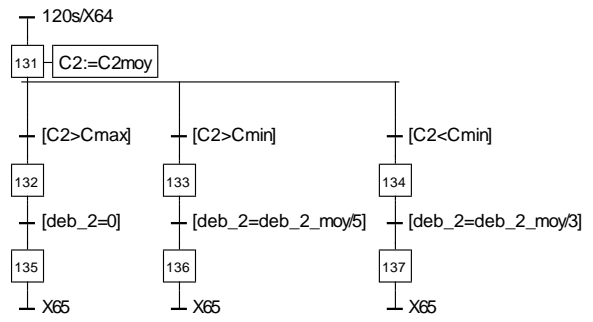
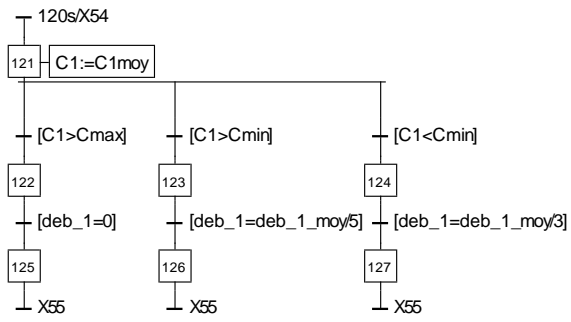
Lorsqu'elle est réalisée, on se retrouve dans l'état précédent.

Pour que l'évolution se fasse alors différemment il faut que le trayon 2 fournisse du lait. L'état est alors {54, 64, 72}. Cet état est instable et on passe immédiatement à l'état {54, 64, 80, 73} : le bras cherche à connecter le trayon 4 (étape 80) et attend un débit de lait du trayon 3 (étape 73).

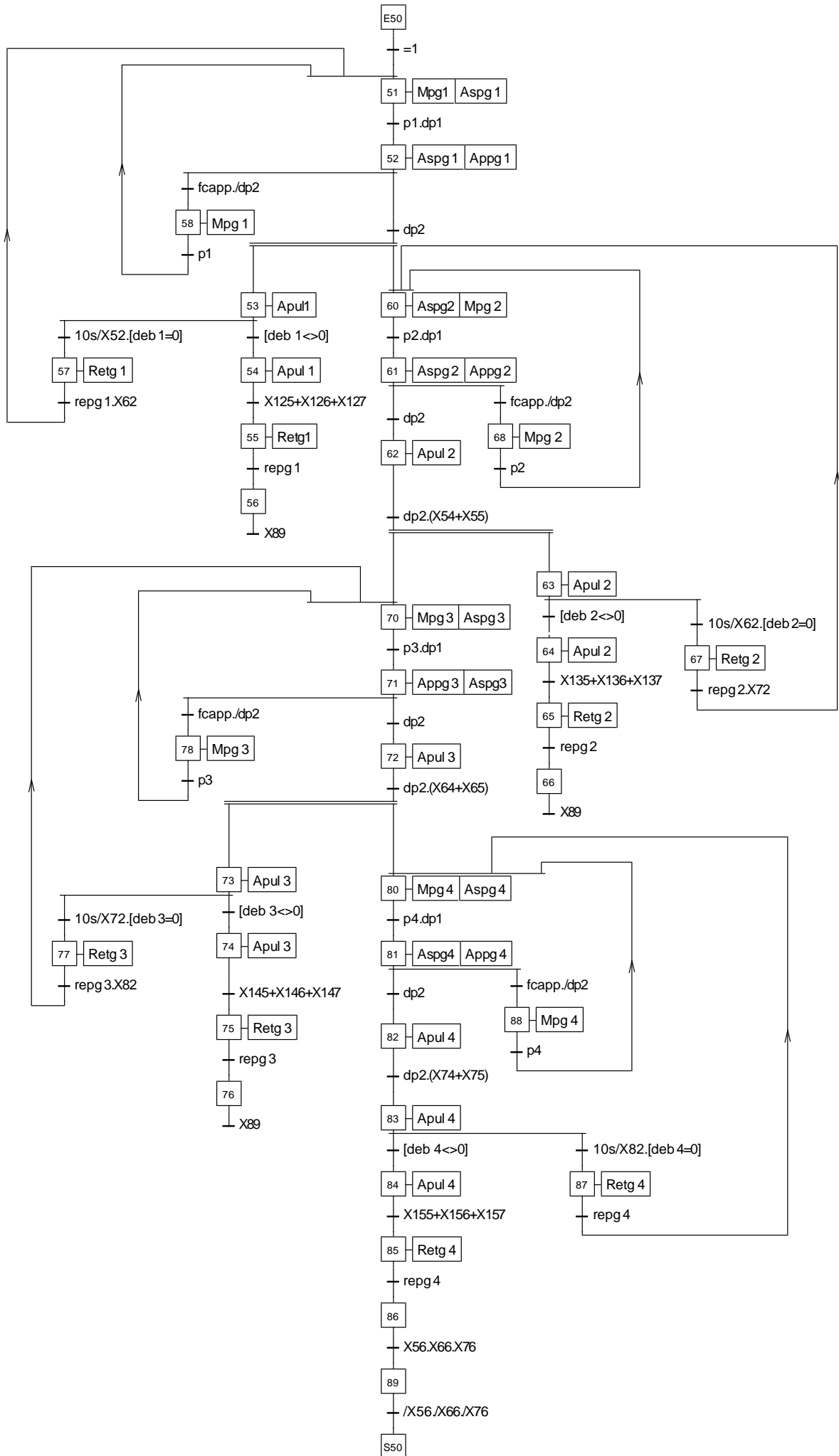
Si 10 secondes se sont écoulées depuis l'activation de l'étape 72, cet état est à nouveau instable il n'y a pas de débit de lait du trayon 3 et il y a retrait du gobelet {54, 64, 77, 80}. Le bras attend alors que le trayon 4 soit connecté {54, 64, 77, 82} pour tenter une nouvelle connexion sur le trayon 3 {54, 64, 70, 82}.

Lorsque ce trayon est branché et qu'il fournit du lait on se retrouve dans la situation attendue {54, 64, 74, 82}. Cet état est instable La réceptivité qui suit 82 est vraie. On évolue vers la situation {54, 64, 74, 83}. Lorsque le trayon 4 donnera du lait on sera dans la situation d'attente de fin de traite {54, 64, 74, 84}.

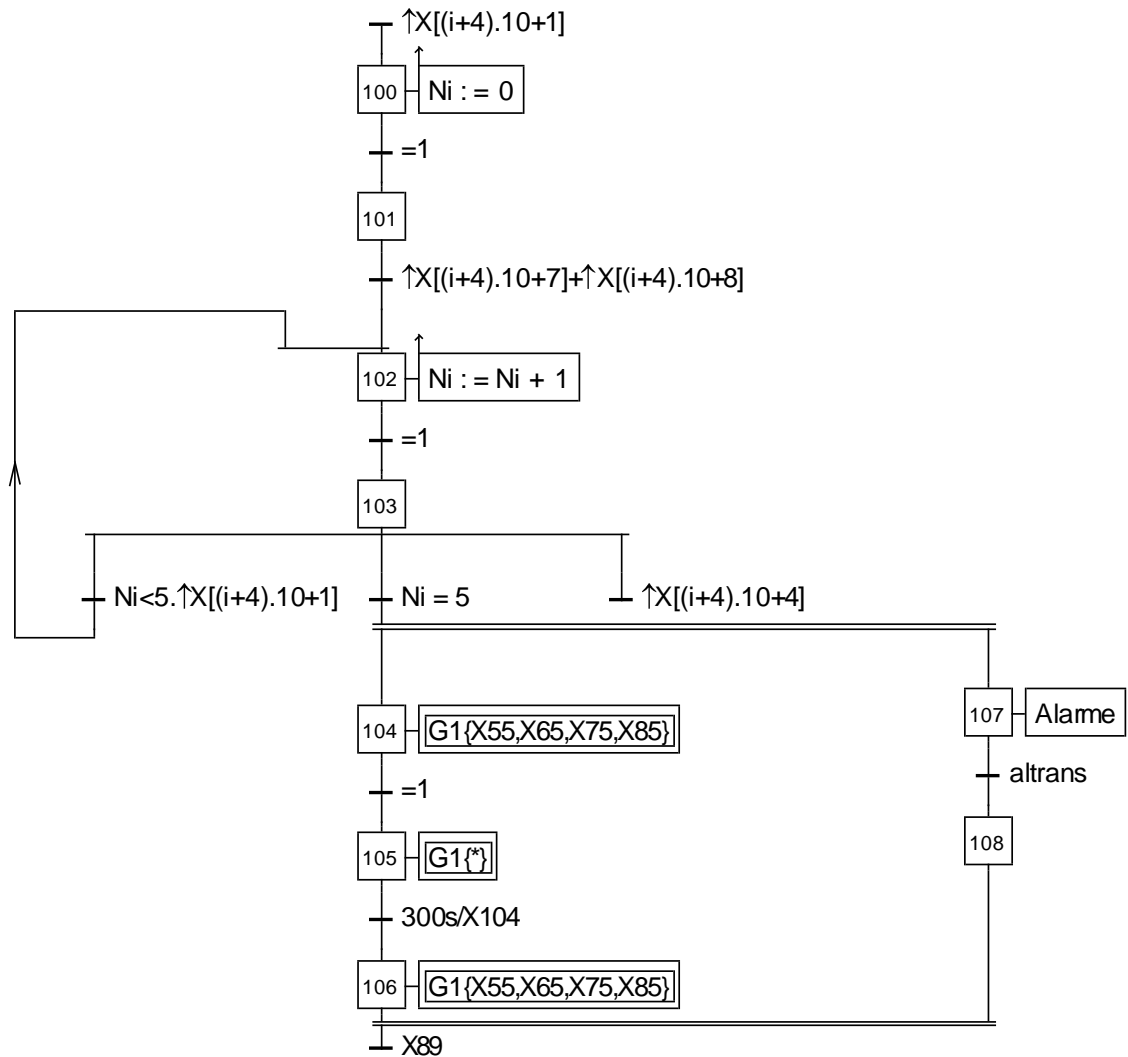
**Question 13 : Élaborer le grafctet de gestion de la fin de traite du trayon 1. Vous n'utiliserez que les variables et informations du tableau de la figure 14. Ce grafctet sera formé à partir de transitions source et puits. Les grafctet de fin de traite des autres trayons seront à l'image de celui du trayon 1. Vous préciserez la numérotation adoptée pour les étapes dans chaque grafctet.**



**Question 14 : Compléter alors les 4 zones encadrées dans l'expansion de la macro-étape M50 de la figure 13. Vous préciserez les choix de structure effectués.**



**Question 15 : Proposer un grafcet de comptage utilisant une notation indicielle qui le rend valable pour tous les gobelets. Préciser la solution utilisée pour mettre le robot dans la situation arrêt d'urgence.**

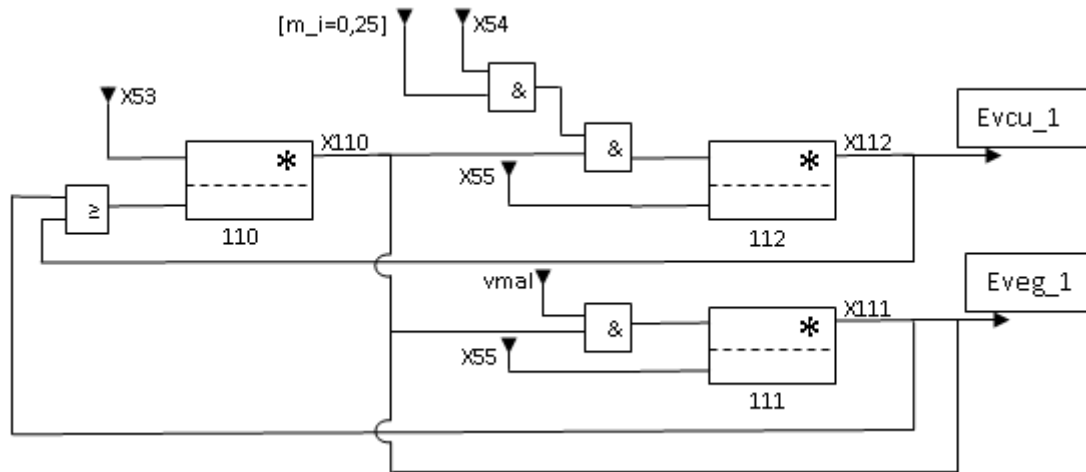


**Question 16 : Expliquer pourquoi il faut utiliser des bascules à enclenchement prioritaire pour décrire un grafcet par logigramme.**

Les mémoires utilisées sont à enclenchement prioritaire pour respecter la règle N°5 d'évolution du grafcet : « si une étape est simultanément activée et désactivée, elle reste active ».

**Question 17 : Réaliser le logigramme du grafcet de gestion de circulation du lait pour le trayon 1.**





### Troisième partie

**Question 18 :** Établir les relations géométriques liant le centre de gravité  $G_4$  de la tête de traite 4 défini par les coordonnées  $(x_{G_4}, y_{G_4}, z_{G_4})$ , les paramètres géométriques  $x$ ,  $\theta_{21}$  et  $\theta_{32}$  et les longueurs  $L_2$ ,  $L_3$  et  $L_4$ .

$$\overrightarrow{OG_4} = \begin{pmatrix} x_{G_4} \\ y_{G_4} \\ z_{G_4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ L_2 \cos \theta_{21} + L_3 \sin \theta_{32} + \theta_{21} - L_4 \cos \theta_{32} + \theta_{21} \\ L_2 \sin \theta_{21} - L_3 \cos \theta_{32} + \theta_{21} - L_4 \sin \theta_{32} + \theta_{21} \end{pmatrix}$$

**Question 19 :** Établir la relation géométrique permettant de définir la longueur  $L_5(t)$  en fonction des paramètres géométriques  $\theta_{21}$ ,  $\theta_{510}$  et les longueurs  $l_2$  et  $L_{50}$  où  $\theta_{510}$  et  $L_{50}$  correspondent respectivement à l'angle  $\theta_{51}$  et à la longueur  $L_5(t)$  lorsque le robot de traite automatique Astronaut A3 est en position de traite.

Fermeture géométrique :

$$\begin{aligned} \text{chaîne AFD} : \overrightarrow{AF} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DF} = l_2 \overrightarrow{y_2} - L_5 \overrightarrow{y_5}, \\ \text{chaîne AFD}_0 : \overrightarrow{AF} &= \overrightarrow{AD}_0 + \overrightarrow{D}_0\overrightarrow{F} = l_2 \overrightarrow{y_0} - L_{50} \overrightarrow{y_{50}}, \end{aligned}$$

où  $D_0$  correspond à la position du point D en position de traite.

L'écriture de l'égalité des deux expressions donne :  $l_2 \overrightarrow{y_0} - L_{50} \overrightarrow{y_{50}} = l_2 \overrightarrow{y_2} - L_5 \overrightarrow{y_5}$

Projections dans la base  $B_0$  :

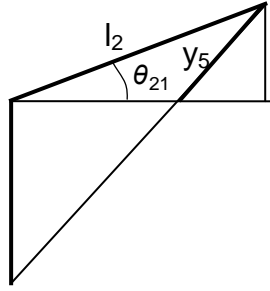
$$\begin{cases} l_2 - L_{50} \cos \theta_{510} = l_2 \cos \theta_{21} - L_5 \cos \theta_{51} \\ -L_{50} \sin \theta_{510} = l_2 \sin \theta_{21} - L_5 \sin \theta_{51} \end{cases}$$

$$L_5 = \sqrt{2 \cdot l_2^2 (1 - \cos \theta_{21}) + L_{50}^2 + 2l_2 L_{50} \cos \theta_{21} - \theta_{510} - \cos \theta_{510}}$$

**Question 20 :** À partir des hypothèses définissant les conditions de traite, en déduire une relation entre la course des vérins 5, définie par  $y_5(t) = L_5 - L_{50}$ , la longueur  $l_2$  et l'angle  $\theta_{21}$ . Expliciter clairement la (ou les hypothèses) permettant d'écrire cette relation.

Hypothèse : les angles restent petits donc on considère que :

$$y_5 = l_2 \cdot \sin \theta_{21} \text{ soit } \frac{\theta_{21}}{y_5} = \frac{1}{l_2}.$$



**Question 21 :** En déduire la relation entre la course du vérin 6, définie par  $y_6(t)=L_6-L_{60}$ , la longueur  $l_3$  et l'angle  $\theta_{32}$ .

$$\frac{\theta_{32}}{y_6} = \frac{1}{l_3}$$

**Question 22 :** Proposer une démarche de résolution permettant d'écrire les expressions des actions mécaniques  $F_{V1/1}$ ,  $F_{V5/2}$ ,  $F_{V6/3}$  associées aux différents vérins 1, 5 et 6.

**Démarche n°1 :**

Hypothèses :

- les commandes des axes sont découplées ;
- l'inertie des tiges de vérin est négligée.

On applique le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble du robot {1+2+3+4+5+6} :

$$\frac{d}{dt} E_{C_{robot/0}} = \sum P_{ext} + P_{int}$$

**Démarche n°2 :**

vérin 1 :

Le système (1, 2, 3, 4, 5, 6) est animé d'un mouvement d'ensemble de translation rectiligne suivant  $\vec{x}_0$ , on peut donc facilement appliquer le théorème de la résultante dynamique en O suivant  $\vec{x}_0$  afin de déterminer l'équation dynamique en x.

vérins 5 et 6 :

On appliquera ici le théorème du moment dynamique :

- sur le système (2, 3, 4) en A suivant  $\vec{x}_0$  pour le vérin 5 (on ne tient pas compte du vérin 6) ;
- sur le système (3,4) en B suivant  $\vec{x}_0$  pour le vérin 6 (on ne tient pas compte des vérins 5).

**Question 23 :** Écrire l'équation différentielle liant l'effort  $F_{V1/1}(t)$  développé le vérin  $V_1$ , la position de la tige du vérin 1,  $x(t)$  et ses dérivées successives, une perturbation extérieure  $F_P(t)$  et les termes  $M_{1EQU}$ , à définir en fonction de  $m_1, m_2, m_3$  et  $m_4$ , et le coefficient de frottement visqueux  $f_{10}$ .

On applique le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble du robot {1+2+3+4+5+6} :

$$\frac{d}{dt} E_{C_{robot/0}} = \sum P_{ext} + P_{int}$$

On considère seulement le déplacement du robot selon l'axe de translation  $\vec{x}_0$ .

Énergies cinétiques :

$$E_{C_{robot/0}} = E_{C_{1/0}} + E_{C_{2/0}} + E_{C_{3/0}} + E_{C_{4/0}} + E_{C_{5/0}} + E_{C_{6/0}},$$

avec  $E_{C_{1/0}} = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2$ ,  $E_{C_{2/0}} = \frac{1}{2} m_2 \dot{x}^2$ ,  $E_{C_{3/0}} = \frac{1}{2} m_3 \dot{x}^2$ ,  $E_{C_{4/0}} = \frac{1}{2} m_4 \dot{x}^2$ ,

$Ec_{5/0} = 0$  (masse  $m_5$  négligeable) et  $Ec_{6/0} = 0$  (masse  $m_6$  négligeable).

Énergie cinétique du robot :

$$Ec_{Robot/0} = \frac{1}{2} [m_1 + m_2 + m_3 + m_4] \dot{x}^2$$

On posera :

$$M_{1Equ} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4.$$

Expression des puissances :

- liaisons parfaites:  $P_{int} = 0$  ;
- frottement :  $P_{frottement} = -f_{10} \dot{x}^2$  ;
- vérin 1 :  $P_{vérin/1} = F_{v/1} \vec{x}_0 \cdot \vec{V}_{G_1/0} = F_{v/1} \dot{x}$  ;
- perturbation :  $P_{perturbation} = -F_p \vec{x}_0 \cdot \dot{\vec{x}}_0 = -F_p \dot{x}$  ;
- pesanteur sur i pour i variant de 1 à 4 en  $G_i$  :  $P_{pesanteur/i} = -m_i g z_0 \cdot \vec{V}_{G_i/0} = 0$

Équation différentielle associée au vérin 1 :

$$M_{1Equ} \ddot{x} = -f_{10} \dot{x}^2 + F_{v/1} \dot{x} - F_p \dot{x}$$

$$M_{1Equ} \ddot{x} + f_{10} \dot{x} = F_{v/1} - F_p$$

**Question 24 :** Écrire l'équation différentielle liant l'effort  $F_{5/2}(t)$  développé les vérins  $V_5$ , la course des vérins 5,  $y_5(t)$  et ses dérivées successives et la masse équivalente  $M_{5Equ}$  et le coefficient de frottement visqueux équivalent  $b_{5Equ}$  en fonction des différents paramètres  $A_2, A_3, A_4, m_2, m_3, m_4, L_2, L_3, L_4, l_2$  et  $b_{21}$ .

On applique le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble du robot {1+2+3+4+5+6}.

$$\frac{d}{dt} Ec_{robot/0} = \sum P_{ext} + P_{int}$$

Expression des énergies cinétiques :

$$Ec_{robot/0} = Ec_{1/0} + Ec_{2/0} + Ec_{3/0} + Ec_{4/0} + Ec_{5/0} + Ec_{6/0}$$

$$Ec_{1/0} = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}^2 = 0,$$

$$Ec_{2/0} = \frac{1}{2} \left[ A_2 + m_2 \frac{L_2^2}{4} \right] \dot{\theta}_{21}^2,$$

$$Ec_{3/0} = \frac{1}{2} \left[ A_3 + m_3 \left[ L_2^2 + \frac{L_3^2}{4} \right] \right] \dot{\theta}_{21}^2,$$

$$Ec_{4/0} = \frac{1}{2} \left[ A_4 + m_4 \left[ \left( \frac{L_3}{2} \right)^2 + L_2 - L_4^2 \right] \right] \dot{\theta}_{21}^2,$$

$Ec_{5/0} = 0$ , hypothèse :  $m_5$  négligeable,  $Ec_{6/0} = 0$ , hypothèse :  $m_6$  négligeable.

Énergie cinétique du robot :

$$E_{C_{Robot/0}} = \frac{1}{2} \left[ A_2 + A_3 + A_4 + m_2 \frac{L_2^2}{4} + m_3 \left[ L_2^2 + \left( \frac{L_3}{2} \right)^2 \right] + m_4 \left[ L_3^2 + L_2 \cdot L_4 \right] \right] \dot{\theta}_{21}^2$$

On posera :  $J_e = A_2 + A_3 + A_4 + m_2 \frac{L_2^2}{4} + m_3 \left[ L_2^2 + \frac{L_3^2}{4} \right] + m_4 \left[ L_3^2 + L_2 \cdot L_4 \right]$

Expression des puissances :

- liaisons parfaites :  $P_{int} = 0$  ;
- frottement :  $P_{frottement} = -b_{21} \dot{\theta}_{21}^2$
- vérin 5 :  $P_{vérin/2} = F_{v/2} \cdot \vec{y}_5 \cdot \vec{V}_{D50} = F_{v/2} \dot{y}_5$  ;
- pesanteur sur 4 en G4 :

$$P_{pesanteur/4} = -m_4 \cdot g \cdot \vec{z}_0 \cdot \vec{V}_{G_4 40}$$

$$P_{pesanteur/4} = -m_4 \cdot g \cdot L_2 \cdot L_4 \cdot \dot{\theta}_{21}$$

- pesanteur sur 3 en G3 :

$$P_{pesanteur/3} = -m_3 \cdot g \cdot \vec{z}_0 \cdot \vec{V}_{G_3 30}$$

$$P_{pesanteur/3} = -m_3 \cdot g \cdot L_2 \cdot \dot{\theta}_{21}$$

- pesanteur sur 2 en G2 :

$$P_{pesanteur/2} = -m_2 \cdot g \cdot \vec{z}_0 \cdot \vec{V}_{G_2 20}$$

$$P_{pesanteur/2} = -m_2 \cdot g \cdot \frac{L_2}{2} \cdot \dot{\theta}_{21}$$

Équation différentielle associée aux vérins 5 :

$$J_e \cdot \dot{\theta}_{21} \cdot \ddot{\theta}_{21} = -b_{21} \dot{\theta}_{21}^2 + F_{v/2} \dot{y}_5 - \left( m_2 \cdot \frac{L_2}{2} + m_3 \cdot L_2 + m_4 \cdot (L_2 - L_4) \right) \cdot g \cdot \dot{\theta}_{21}$$

devient

$$\frac{J_e}{l_2^2} \cdot \dot{y}_5 + \frac{b_{21}}{l_2^2} \cdot \dot{y}_5 = F_{v/2} - \left( \left( \frac{m_2}{2} + m_3 + m_4 \right) \cdot L_2 - m_4 \cdot L_4 \right) \cdot \frac{g}{l_2}$$

avec

$$J_e = A_2 + A_3 + A_4 + m_2 \frac{L_2^2}{4} + m_3 \left[ L_2^2 + \frac{L_3^2}{4} \right] + m_4 \left[ L_3^2 + L_2 \cdot L_4 \right]$$

**Question 25 :** Justifier, en précisant la démarche retenue, la nouvelle écriture du système d'équations différentielles décrivant le comportement dynamique du robot de traite.

À partir des données de l'annexe 1 , on a :

$$F_{v_1/1}(t), F_{5/2}(t) = F_{v_{5/2}}(t) + F_{0 v_{5/2}} \text{ et } F_{6/3}(t) = F_{v_{6/3}}(t) + F_{0 v_{6/3}}$$

À l'équilibre :

$$F_{v_1/1}(t) = 0, F_{5/2}(t) = F_{0 v_{5/2}} \text{ et } F_{6/3}(t) = F_{0 v_{6/3}}.$$

Le système s'écrit alors :

$$\begin{cases} 0 = 0 \\ 0 = 0 + F_{0 v_{5/2}} - \left( \left( \frac{m_2}{2} + m_3 + m_4 \right) L_2 - m_4 L_4 \right) \frac{g}{l_2} \\ 0 = 0 + F_{0 v_{6/3}} + \frac{m_4 g L_4}{l_3} \end{cases}$$

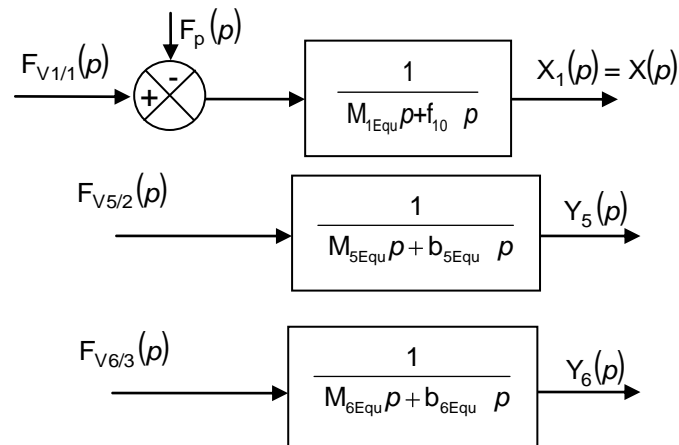
L'introduction de ces deux relations permet d'écrire le système donné dans le texte du sujet :

$$M_{1\text{Equ}} \ddot{x}(t) + f_{10} \dot{x}(t) = F_{V_{1/1}}(t) - F_p(t)$$

$$M_{5\text{Equ}} \ddot{y}_5(t) + b_{5\text{Equ}} \dot{y}_5(t) = F_{V_{5/2}}(t)$$

$$M_{6\text{Equ}} \ddot{y}_6(t) + b_{6\text{Equ}} \dot{y}_6(t) = F_{V_{6/3}}(t)$$

**Question 26 :** Après avoir explicité les transformées de Laplace des équations différentielles données précédemment, construire les schémas bloc associés.



**Question 27 :** Simplifier le schéma bloc donné figure 19 et écrire la fonction de transfert  $V(p)/U(p)$  pour  $F_p(p)=0$ .

Mettre sous la forme  $\frac{K_u}{Ap^2 + Bp + C}$  où les termes A, B, C et  $K_u$  seront explicités.

En déduire la fonction de transfert  $Y(p)/U(p)$ .

$$V(p) = \frac{S}{Mp + b} (\Delta P_P(p) - \Delta P_N(p))$$

$$\Delta P_P(p) = \frac{\frac{1}{C_P}}{1 + \frac{V(y^e)}{kr T_S C_P} p} Q_{mP}(p) \text{ avec } Q_{mP}(p) = G_u U(p) - \frac{SP_P}{r T_S} V(p)$$

$$\Delta P_P(p) = \frac{\frac{1}{C_P}}{1 + \frac{V y^e}{kr T_S C_P} p} \left( G_u U p - \frac{SP_P}{r T_S} V p \right)$$

$$\Delta P_N(p) = \frac{\frac{1}{C_P}}{1 + \frac{V(y^e)}{kr T_S C_P} p} Q_{mN}(p) \text{ avec } Q_{mN} p = -G_u U p + \frac{SP^e}{r T_S} V p$$

$$\Delta P_N(p) = \frac{\frac{1}{C_P}}{1 + \frac{V y^e}{kr T_S C_P} p} \left( -G_u U p + \frac{SP^e}{r T_S} V p \right)$$

$$V(p) = \frac{\frac{S}{C_P}}{Mp+b} \left( 2G_u U(p) - 2 \frac{S P^e}{r T_S} V(p) \right)$$

$$\frac{V(p)}{U(p)} = \frac{2 \frac{S G_u}{C_P}}{\frac{M_{\text{equ}} V y^e}{kr T_S C_P} p^2 + \left( M_{\text{equ}} + \frac{b_{\text{equ}} V y^e}{kr T_S C_P} \right) p + b_{\text{equ}} + 2 \frac{S^2 P^e}{r T_S C_P}}$$

$$\frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{1}{p} \frac{2 \frac{S G_u}{C_P}}{\frac{M_{\text{equ}} V y^e}{kr T_S C_P} p^2 + \left( M_{\text{equ}} + \frac{b_{\text{equ}} V y^e}{kr T_S C_P} \right) p + b_{\text{equ}} + 2 \frac{S^2 P^e}{r T_S C_P}}$$

avec  $K_u = 2 \frac{S G_u}{C_P}$ ,  $A = \frac{M_{\text{equ}} V(y^e)}{kr T_S C_P}$ ,  $B = M_{\text{equ}} + \frac{b_{\text{equ}} V(y^e)}{kr T_S C_P}$ ,  $C = b_{\text{equ}} + 2 \frac{S^2 P^e}{r T_S C_P}$

**Question 28 :** Écrire la fonction de transfert  $P(p)=V(p)/F_P(p)$  pour  $U(p)=0$ .  
 Mettre sous la forme  $\frac{K_P(p)}{Ap^2 + Bp + C}$  où le terme  $K_P(p)$  sera explicité.  
 En déduire la fonction de transfert  $Y(p)/F_P(p)$ .

$$P(p) = \frac{Y(p)}{F_P(p)} = \frac{1}{p} \frac{1 + \frac{V y^e}{kr T_S C_P} p}{\frac{M V y^e}{kr T_S C_P} p^2 + \left( M + \frac{b V y^e}{kr T_S C_P} \right) p + \left( b + 2 \frac{S^2 P^e}{r T_S C_P} \right)}$$

avec  $K_P(p) = 1 + \frac{V(y^e)}{kr T_S C_P} p$

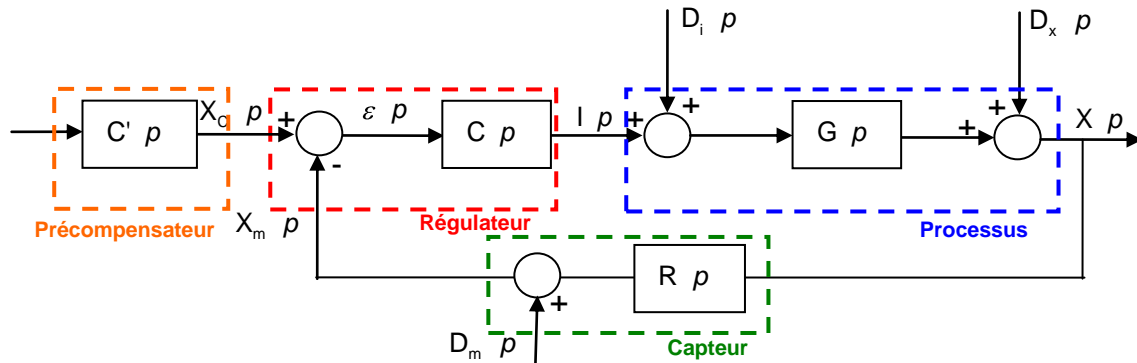
**Question 29 :** Montrer que le modèle complet associé à la chaîne de transmission selon l'axe  $\bar{x}$  peut se mettre sous la forme du schéma fonctionnel donné figure 20 où les termes  $F_1(p)$ ,  $G_1(p)$  et  $H_1(p)$  seront explicités.

$$H_1(p) = \frac{1}{A p^2 + B p + C}, F_1(p) = K_P(p) = 1 + \frac{V(y^e)}{kr T_S C_P} p, G_1(p) = K_u = 2 \frac{S G_u}{C_P}.$$

**Question 30 :** À partir de l'analyse du processus de traite, justifier le fait qu'une commande en chaîne directe ne permette pas d'atteindre le niveau de performances attendu. Plusieurs justifications pouvant conduire à cette conclusion sont attendues.

Les perturbations (mouvements de la vache, coup de patte) ne sont pas compatibles avec une commande en boucle ouverte car le rejet des perturbations n'est pas possible, non respect des spécifications du cahier des charges.

**Question 31 :** Proposer, sous forme d'un schéma bloc le plus complet possible, une architecture de commande permettant d'atteindre les objectifs en terme d'asservissement et de régulation.



**Question 32 :** À partir du schéma-bloc proposé figure 21, exprimer la fonction de sensibilité vis-à-vis de la perturbation  $X(p)/F_p(p)$ .

$$\frac{X(p)}{F_p(p)} = \frac{\frac{H_1 p F_1 p}{p}}{1 + \frac{H_1 p G_1 p C_1 p}{p}} = \frac{1 + Dp}{K_1 K_u + Cp + Bp^2 + Ap^3}$$

**Question 33 :** Proposer un modèle mathématique pour  $F_p(p)$  modélisant un coup de patte subi par la tête de traite 4.

Modèle associé à un coup de patte : perturbation fugitive donc impulsion d'amplitude  $F_0$  et de largeur faible :  $F(p) = F_0 \cdot p$ .

**Question 34 :** Un correcteur à action proportionnelle de gain  $K_1$  permet il d'annuler les effets de la perturbation vis-à-vis de la position de la tête de traite ?

Théorème valeur finale :

$$\lim_{p \rightarrow 0} p \cdot X(p) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \frac{1 + Dp}{K_1 K_u + Cp + Bp^2 + Ap^3} \cdot F_0 = 0$$

La perturbation fugitive est annulée, elle est rejetée par la correction proportionnelle.

**Question 35 :** L'implantation d'un correcteur à action proportionnelle de gain unitaire permet elle de respecter les spécifications du cahier des charges en terme de stabilité, rapidité et précision ?

Précision : OK.

Rapidité : pulsation de coupure  $\omega_u = 4 \text{ rad/s} < 10 \text{ rad/s}$ , non respectée.

Stabilité :  $M\phi = 44^\circ < 60^\circ$ , non respectée.

Un correcteur à action proportionnelle de gain unitaire n'est pas satisfaisant.

**Question 36 :** Déterminer la valeur de  $K_1$  permettant de respecter la spécification de rapidité. En déduire la valeur de la marge de phase  $M\phi$ . Tracer l'allure de l'évolution de la position du chariot 1 pour la valeur de  $K_1$  trouvée.

Valeur de  $K_1$  : sur le diagramme de Bode, on lit la valeur du gain en dB conduisant à la translation de la courbe de gain de telle sorte qu'elle coupe l'axe 0 dB pour  $\omega_u = 10$  rad/s.

$$20 \cdot \log K_1 = 13,5 \text{ donc } K_1 = 4,7.$$

Marge de phase :  $M\phi = 5^\circ$ . La marge de phase obtenue est plus faible que celle obtenue pour  $K_1 = 1$  donc l'évolution de la position du chariot 1 sera plus oscillante que celle de la figure 22.

**Question 37 :** Au vu des résultats précédents, est-il possible de valider le choix d'un correcteur proportionnel ? Si non, quel type de correcteur faudrait-il implanter pour améliorer les performances du bras du robot de traite Astronaut A3 ? Justifier votre réponse.

Non, pour pouvoir respecter à la fois les contraintes en terme de rapidité et stabilité, il est nécessaire d'implanter un correcteur à avance de phase afin d'apporter de la phase positive autour de  $\omega_u$  (pulsation au gain unité) et ainsi augmenter le degré de stabilité tout en préservant la rapidité.

**Question 38 :** À partir des spécifications de rapidité et de stabilité imposées par le cahier des charges, déterminer les paramètres  $K_2$ ,  $\omega_b$  et  $\omega_h$ .

Pour une pulsation de coupure  $\omega_m = \omega_u = 10$  rad/s, on souhaite une marge de phase de  $M\phi = 60^\circ$ .  
Lecture sur diagramme bode :  $\phi(j\omega_u) = 175^\circ$  donc phase à apporter par le correcteur :

$$\phi_m = 60 + 175 - 180 = 55^\circ.$$

$$a = \frac{1 + \sin(\phi_m)}{1 - \sin(\phi_m)} = 10, \quad \omega_b = \omega_u \frac{1}{\sqrt{a}} = 3,16 \text{ rad/s}, \quad \omega_h = \omega_u \sqrt{a} = 31,6 \text{ rad/s}$$

$$\text{Gain } K_2 : |\beta j\omega_u| = 1 \text{ où } |\beta j\omega_u| = |H_1 j\omega_u| \cdot |G_1 j\omega_u| \cdot \left| \frac{1 + \frac{j\omega_u}{\omega_b}}{1 + \frac{j\omega_u}{\omega_h}} \right| \cdot K_2 \text{ d'où } K_2 = 1,5.$$

**Question 39 :** Au vu des résultats précédents et des spécifications du cahier des charges, est-il possible de valider le correcteur proportionnel dérivé  $C_2(p)$  ?

Non, en dépit de l'avance de phase apportée par le correcteur  $C_2(p)$  qui permet d'atténuer les oscillations, le comportement du chariot 1 est encore sujet à un dépassement supérieur à la limite fixée par le cahier des charges.

**Question 40 :** Quel est l'impact de ce coup de patte sur la traite d'une vache sachant qu'un trayon mesure entre 5 et 10 cm ? Quel type d'action faudrait-il prévoir au niveau du grafcet décrivant la connexion des gobelets ?

D'après la figure 26, la conséquence d'un coup de patte est un déplacement de la tête de traite supérieur à 12 cm d'où l'arrachement des gobelets.

Il faut prévoir une nouvelle connexion des gobelets.



**Question 41 : Quelle(s) solution(s) technologique(s) permettrai(ent) de limiter l'influence de ce coup de patte ?**

Implantation d'un verrouillage mécanique interdisant tout déplacement du fait d'un coup de patte.

**Question 42 : Cette commande permet elle de respecter les critères de performances définis par le cahier des charges ?**

Oui car l'ensemble des spécifications définies par le cahier des charges fonctionnelles sont satisfaites.

**Question 43 : Proposer une synthèse décrivant et justifiant la démarche mise en œuvre dans le questionnement de ce sujet pour répondre à la problématique globale de la pertinence économique de l'installation d'un robot de traite automatique.**

L'implantation d'un robot de traite automatique est pertinente économiquement si :

- les temps d'installation, de positionnement, de connexion et de nettoyage sont suffisamment faibles pour ne pas pénaliser la production ;
- le robot assure une traite continue, sans interruption, indépendamment des mouvements de la vache ;
- la qualité du lait est irréprochable tout en assurant une production importante.

Ces éléments justifient les études menées et décrites ci-dessous :

## **Caractérisation des conditions nécessaires à l'implantation d'un robot de traite**

### **Description des opérations préparatoires à la traite automatique**

- ↳ détermination de la position du centre de gravité de la vache
- ↳ détermination des déplacements nécessaires au placement initial de la tête de traite
- ↳ détermination des déplacements nécessaires au placement sous les trayons

### **Description de différentes phases du fonctionnement d'un robot de traite à l'aide de différents outils**

- ↳ traite automatique
- ↳ connexion des gobelets
- ↳ circulation du lait en fonction de la qualité

### **Synthèse d'une loi de commande dédiée à la gestion de la traite en cours**

- ↳ élaboration d'un modèle de connaissance du comportement dynamique du robot de traite
- ↳ synthèse de différents correcteurs devant permettre de respecter les performances imposées par le cahier des charges

## RÉSULTATS ET COMMENTAIRES

Richard BEAREE – Sylvain CHARLAT

### Contexte, architecture du sujet

Le sujet s'appuie sur un robot de traite Astronaut A3 de la société Lely. Ce robot est un système de traite automatique assurant, d'une part, la traite des vaches et, d'autre part, l'alimentation et le contrôle de la qualité du lait.



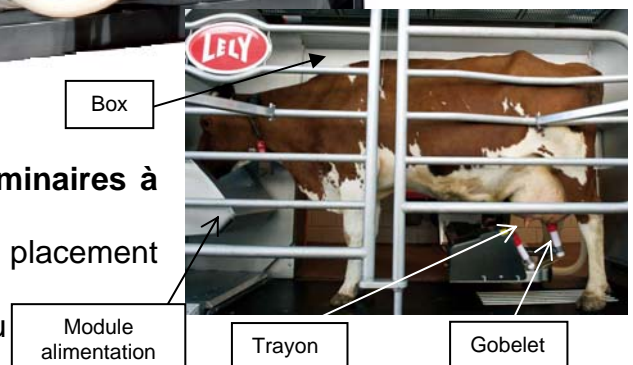
### Le sujet comporte 4 parties indépendantes:

#### Validation de l'implantation et des mesures préliminaires à toute traite

Détermination des déplacements nécessaires au placement initial de la tête de traite.

Détermination des déplacements nécessaires au placement sous les trayons.

Détermination de la position du centre de gravité de la vache.



### Gestion d'une traite automatique avec le robot Astronaut A3

Description de différentes phases du fonctionnement d'un robot de traite (Connexion des gobelets, traite automatique, circulation du lait en fonction de la qualité).

### Synthèse d'une loi de commande

Elaboration d'un modèle de connaissance du comportement dynamique du robot de traite

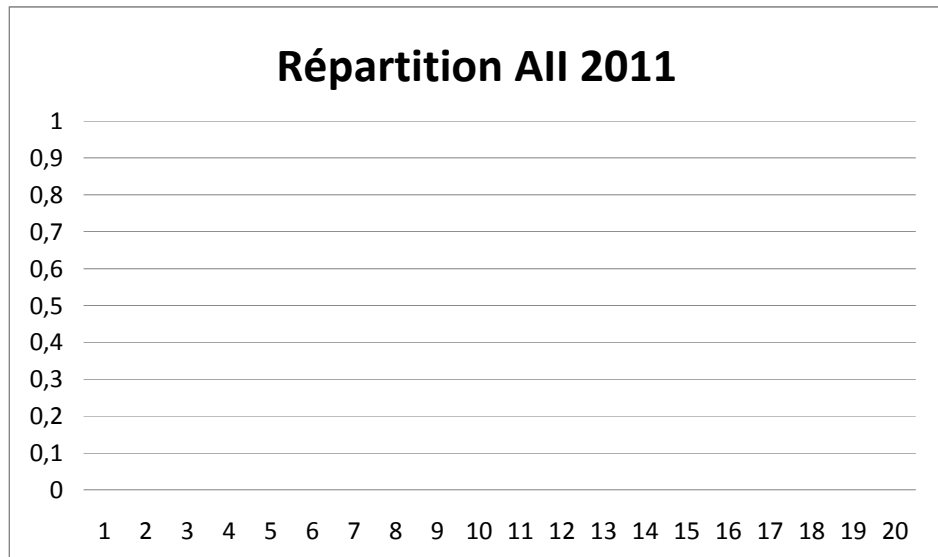
Synthèse de différents correcteurs devant permettre de respecter les performances imposées par le cahier des charges

### Synthèse de l'étude menée sur le robot Astronaut A3

## Résultat global de l'épreuve

L'effectif total de l'épreuve est de 75 candidats. La moyenne générale de l'épreuve est de 8. La note la plus basse est 0,5 et la plus haute 19. L'écart type est de 3,92.

L'analyse des notes montre que les candidats ayant bien réussi (note  $\geq 12$ ) ont composé dans les quatre parties de l'épreuve.



## Commentaires généraux

Les quatre parties étaient indépendantes et dans chaque partie de nombreux résultats intermédiaires permettaient aux candidats de poursuivre leur épreuve. Comme précisé précédemment un bon résultat ne peut être obtenu en négligeant une partie.

La qualité de la présentation de certaines copies est parfois inadmissible pour un concours de ce niveau (mise en page sauvage, pas de résultats encadrés, enchaînement non linéaire, calligraphie quasiment illisible). Les candidats admis seront amenés à présenter des cours.

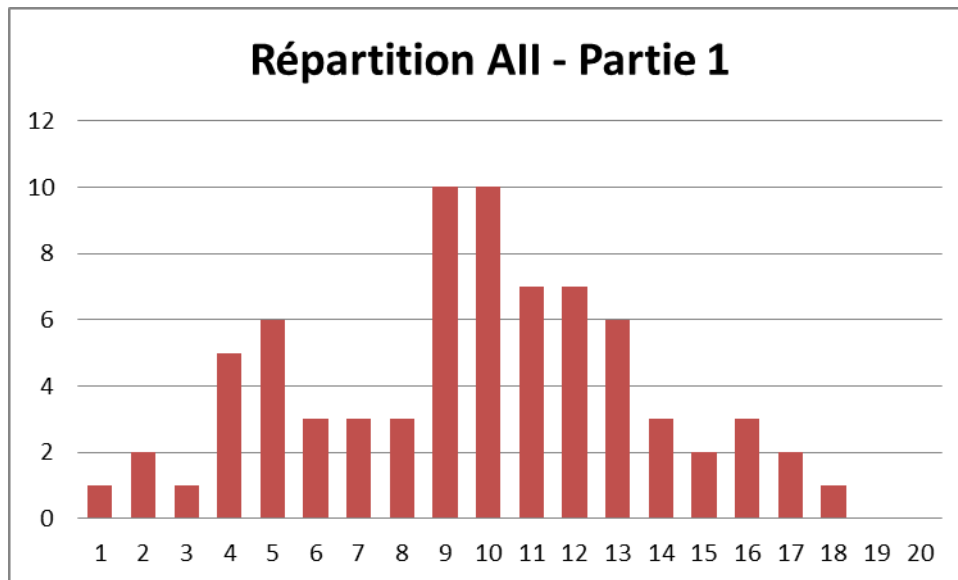
Certains candidats jugent utile de montrer aux correcteurs leur talent humoristique (vache qui parle) : ce n'est pas le lieu.

Les résultats des questions purement mécaniques sont en deçà du niveau espéré à une agrégation de Génie MECANIQUE.

La maîtrise des outils de l'automatique est trop souvent très limitée et les candidats n'ont pas le recul nécessaire à la mise en œuvre de ces outils. Sans guide très restrictif ils se trouvent rapidement désemparés.

## Partie 1 : Validation de l'implantation et des mesures préliminaires à toute traite

Cette partie du sujet a permis à la majorité des candidats de glaner des points. Globalement cette partie a rempli son rôle en permettant au plus grand nombre d'entrer facilement dans une démarche positive de résolution de problèmes. Les meilleurs candidats se démarquent par la maîtrise de l'outil FAST et par leurs connaissances technologiques (technologie des capteurs et principe de triangulation).



La moyenne de cette partie 1 est de **9,2**. La note mini est **0,5**. La note maxi **18**. L'écart type est de **4**.

### Question 1

La description fonctionnelle de type FAST a été peu et souvent mal traitée. Il ressort une mauvaise maîtrise, voir une méconnaissance totale, de l'outil FAST.

### Question 2

Pour cette question traitée par tous, les candidats ont fréquemment commis des erreurs de calcul.

### Question 3

Idem que précédemment. On note également que la moitié des candidats a mis en œuvre des développements fastidieux (plusieurs pages) pour répondre à cette question simple.

### Question 4

Cette question a été bien traitée par la majorité des candidats avec toutefois, comme pour la question précédente, des développements parfois importants pour un simple calcul de barycentre entre 3 points. Certains ont mis en œuvre des méthodes graphiques relativement imprécises et en deçà du niveau d'un candidat à l'agrégation.

### Question 5

Cette question sans réelle difficulté n'a pourtant pas toujours été comprise.

**Question 6**

Idem que précédemment (les 2 questions étant liées)

**Question 7**

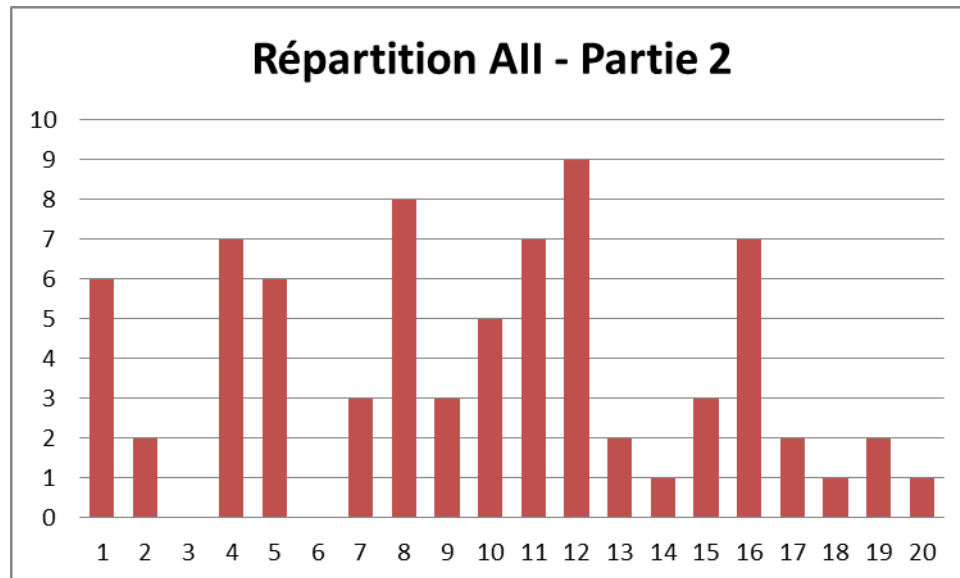
Cette question sur la triangulation laser fait ressortir une méconnaissance presque totale de ce principe, alors que tous les candidats ont tenté de répondre à cette question. Le mot clés étant triangulation, seuls quelques candidats ont évoqué le principe de mesure de distance dans un triangle.

**Question 8**

Peu de candidats ont su calculer un ordre de grandeur pour la résolution minimale du système de mesure d'effort. Par contre, une majorité a su proposer des technologies de capteurs.

## Partie 2 : Gestion d'une traite automatique avec le robot Astronaut A3

Cette partie traitait du problème de la modélisation du fonctionnement séquentiel propre aux opérations de traite. Le questionnement portait majoritairement sur la connaissance et la mise en œuvre de l'outil Grafcet. Quasiment tous les candidats ont abordé cette partie. Les principales difficultés rencontrées concernent l'exploitation de transitions source et puits (question 14) et la synthèse d'un logigramme associé à un Grafcet (question 17).



La moyenne de cette partie 2 est de **9,2**. La note mini est **0**. La note maxi **20**. L'écart type est de **5**.

### Question 9

Tous les candidats ont proposé un Grafcet, mais une bonne moitié des propositions contiennent des erreurs grossières démontrant un manque de connaissance des règles de base de l'outil et de la syntaxe (utilisation de syntaxes obsolètes).

### Question 10

Question simple. Quelques réponses alambiquées, mais en générale les propositions étaient réalistes (redondance de capteur associée à un système de portillon supplémentaire)

### Question 11 et 12

Ces deux questions liées testaient la capacité de lecture d'un Grafcet, mais aussi la capacité de synthèse des informations qu'apporte ce dernier. C'est sur ce dernier point que les meilleurs candidats ressortent.

### Question 13

La mise en œuvre de transitions sources et puits imposée par la question a dérouté un grand nombre de candidat. Cette question a été peu abordée.

### Question 14

Question abordée par la majorité, mais avec des difficultés pour la lier à la question précédente.

**Question 15**

$\frac{1}{4}$  des candidats a su mettre en œuvre une solution de comptage réaliste (implantable). La structure d'un compteur en langage Grafcet est pourtant une question récurrente dans les sujets des années antérieures.

**Question 16**

Cette question testait la connaissance de la règle 5 d'évolution d'un Grafcet. Un tiers des candidats a répondu correctement.

**Question 17**

Cette question portant sur la mise en œuvre d'un logigramme associé à un Grafcet a été très peu abordée. Six candidats seulement ont su proposer une solution ou ébauche de solution. Les outils de spécification en automatisme ne se limitent pas au Grafcet (Réseaux LADDER, logigrammes).



### Partie 3 : Synthèse d'une loi de commande

Cette partie traitait de la réalisation d'une trajectoire en continue. Elle était constituée de deux sous-parties :

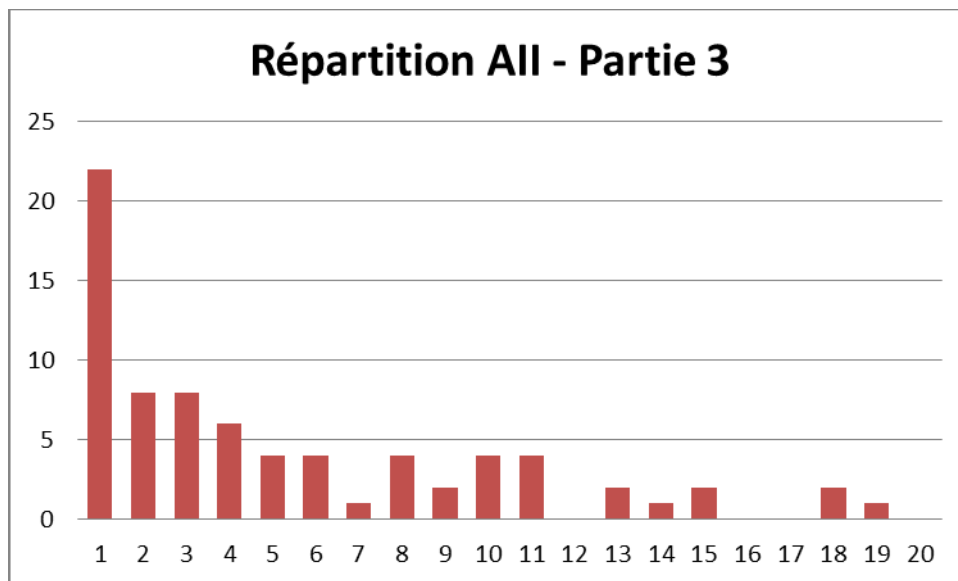
- Questions 18 à 25 – étude d'un modèle simplifié du bras de robot de trajectoire (modélisation dynamique)
- Question 26 à 42 – étude de la partie commande (automatique linéaire continue et outils associés)

De façon globale, comme en témoigne la figure de répartition des notes, cette partie a été très mal traitée par les candidats (voir pas abordée).

La partie mécanique a été très peu abordée. Quelques candidats seulement ont su poser un problème de dynamique. Les autres ont soit passé cette partie, soit posé le problème d'un point de vue statique. Il ressort étonnamment de cette épreuve que la partie qui est censée être au plus proche du cœur de compétence des candidats (Agrégation de Génie Mécanique) est très mal maîtrisée.

Concernant la partie « automatique », de nombreuses questions indépendantes (de culture ou de bon sens) ont permis à tous les candidats de glaner des points. On notera, pour le tiers des candidats qui a traité complètement cette partie, un faible niveau de compétence dans le domaine de l'automatique.

Certains candidats répondent simplement Oui ou Non à certaines questions demandant la validité de certaines architectures de régulation en réponse à un cahier des charges. Une conformité se doit d'être vérifiée point par point (Une réponse binaire pouvant être interprétée comme une escroquerie, surtout si les questions précédentes permettant de valider les différents éléments du cahier des charges n'ont pas été traitées).



La moyenne de cette partie 3 est de **4,7**. La note mini est **0**. La note maxi **18,2**. L'écart type est de **4,9**.

#### Question 18

Question simple n'ayant posée aucunes difficultés (quelques erreurs de calcul).

### **Question 19**

Question géométrique plus complexe. Peu et mal traitée. La moitié des candidats a tout de même écrit l'équation de fermeture géométrique.

### **Question 20 et 21**

Questions liées. Ces deux questions n'ont été résolues que dans de très rares cas. La difficulté principale réside dans le fait que les hypothèses de simplification ne s'appuient pas sur le calcul exact effectué à la question 19.

### **Question 22**

La question consistait à proposer une démarche permettant d'établir les équations dynamiques d'un système mécanique. Seul une dizaine de candidats a su poser le problème. La présence de plusieurs actionneurs a peut-être désorienté la majorité des candidats.

### **Question 23 et 24**

Idem. Ces questions sont liées à la précédente (établissement des équations par la méthode proposée). La question 23 a ainsi été traitée par une dizaine de candidats seulement (sans réelle démonstration). La question 24 n'a pas été traitée.

### **Question 25**

Cette question portait sur les conditions d'équilibre du système (calcul statique) afin de simplifier l'écriture des équations. Comme pour les questions précédentes, une très mauvaise compréhension ressort de cette partie.

### **Question 26**

Cette première question très simple orientée automatique (exploitation du formalisme de Laplace) était totalement indépendante et a permis à la majorité des candidats de débiter la partie automatique.

### **Question 27, 28, 29 et 32**

Cette série de question portaient sur la simplification de schémas-blocs et sur le calcul de fonctions de transfert. Une démarche structurée par décomposition de structures simples n'est quasiment jamais utilisée. Il en résulte des pages entières de calculs sur la structure complète source d'erreurs. Seulement 3 candidats ont su mener les calculs à leur terme. Le schéma bloc était certes complexe, mais les simplifications apportées conduisaient à l'établissement de fonctions de transfert relativement simples. Ces questions montrent un niveau d'automatique faible. Le formalisme de Laplace est connu, mais pas maîtrisé.

### **Question 30**

Question de base en automatique : « pourquoi mettre en œuvre un retour d'information ? ». L'application étudiée étant particulièrement sujette aux perturbations exogènes (principalement induites par la vache) et aux possibles imprécisions (modèle géométrique...), la réponse semblait évidente. Cette question n'a pourtant été traitée que par 13 candidats.

### **Question 31**

Cette question est liée à la précédente, il s'agissait de proposer une structure de commande possible. Seul 8 candidats ont proposé une structure bouclée.

### **Question 33**

Question très simple ayant donnée des points à la majorité.

**Question 34**

Il s'agissait ici de tester les connaissances des candidats en matière de correction automatique (calcul d'une précision par théorème de la valeur finale ou analyse de la classe du système). Un seul candidat a répondu correctement.

**Question 35**

Question simple uniquement basée sur de la lecture graphique. Traitée par plus de la moitié des candidats.

**Question 36**

Question basée sur de la lecture graphique et une connaissance minimale des diagrammes fréquentiels. Traitée par 15 candidats.

**Question 37**

Question simple. Le choix de correcteur demandé aux candidats était orienté par les développements à suivre.

**Question 38**

Réglage d'un correcteur à avance de phase (correcteur à action dérivée filtré) totalement non traité.

**Question 39**

Idem question 36

**Question 40**

Question basée sur la lecture graphique d'une valeur et proposition d'une modification de Grafset. Très peu traité.

**Question 41**

Solution technologique au problème mis en évidence à la question précédente. Cette question a été abordée par un tiers des candidats.

**Question 42**

Idem question 36.

## **Partie 4 : Synthèse de l'étude menée sur le robot Astronaut A3**

### **Question 43**

Il s'agissait ici de synthétiser la problématique de la pertinence économique de l'installation de traite automatique et la démarche de conception qui s'en suit (en s'appuyant sur le questionnement du sujet). Cette unique question aurait dû permettre à nombre de candidat de récupérer des points assez facilement. Elle n'a cependant été traitée que par 18 candidats.

# RAPPORT DE L'ÉPREUVE DE LEÇON

J.J. BATON – J.J. DIVERCHY – A. DUGAS – C. GAMELON

## Objectifs

---

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

## Déroulement de l'épreuve

---

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

Pendant la phase de préparation, le candidat a accès aux référentiels des principales formations de génie mécanique. Pour toutes les leçons, le dossier remis au candidat comporte l'ensemble des éléments nécessaires à la préparation de la leçon : ressources à caractère scientifique, pédagogique et industriel.

Un dossier numérique contenant les ressources informatiques identiques à celles fournies dans le dossier « papier » est à la disposition du candidat. D'autres documents peuvent être proposés, également sous forme numérique, sans être disponibles dans le dossier papier (séquences vidéo, animations, simulations...). Dans ce cas, les éléments fournis sous forme papier restent cependant suffisants pour répondre aux attentes de la leçon.

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

## Attentes du jury et critères d'évaluation

---

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

- **Une description de l'intégralité de la séquence pédagogique envisagée dans laquelle la séance développée sera clairement identifiée. Le positionnement de cette séquence dans le cursus de la formation choisie sera précisé.**

- **Une simulation d'une leçon devant élèves. Durant cette phase, le candidat utilisera le tableau blanc, et pourra utiliser le vidéoprojecteur et le rétroprojecteur en complément.**

La leçon de technologie est la seule épreuve du concours dont l'un des objectifs explicites est l'évaluation des capacités des candidats à être capables de transmettre des connaissances adaptées à un public considéré.

Pour cela, le jury prend en compte:

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

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

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

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

### **Thèmes des leçons proposées**

---

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

- **Le niveau de formation auquel doit se situer la leçon.**  
Les niveaux sont relatifs aux enseignements de Productique ainsi que d'Automatique et Informatique Industrielle dans les classes de première et terminale STI et SSI, dans les sections de techniciens supérieurs (Conception de Produits Industriels, Industrialisation des Produits Mécaniques, Etude et Réalisation des Outillages, Conception et Industrialisation Microtechniques, Mécanique et Automatique Industrielle, Maintenance Industrielle), dans les départements Génie Mécanique et Productique ou Qualité Logistique Industrielle et Organisation des IUT, ainsi que dans les classes préparatoires aux grandes écoles de type PTSI et PT. Les programmes officiels de ces formations sont fournis.
- **Les objectifs de la leçon attendue** accompagnés de recommandations générales aux candidats.  
Chaque leçon est déclinée en un nombre limité **d'objectifs opérationnels à atteindre** dans le cadre d'une séquence pédagogique d'enseignement **à décrire et à justifier**.

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

- **Des extraits significatifs de bases de connaissances.**

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

- **Des données techniques et pédagogiques utilisables pour bâtir la leçon attendue.**

Ces documents proposent des supports techniques d'origines diverses (plans industriels, dossiers de formation, articles de revues techniques, sujets d'examens) choisis pour leur relation avec le sujet à traiter. Les candidats pourront les utiliser pour illustrer leur leçon.

Ces documents ne sont pas toujours utilisables directement et nécessitent parfois une adaptation de la part du candidat. C'est à ce dernier de trouver les bonnes conditions d'utilisation par rapport au niveau de formation concerné et aux objectifs visés.

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

---

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

- L'automatique et l'informatique industrielle.

Les leçons proposées dans ce champ concernent essentiellement les concepts de base des systèmes à événements discrets et de l'automatique des systèmes continus linéaires. Les candidats doivent s'attacher à présenter clairement les concepts associés aux supports proposés **en évitant de longs développements mathématiques ou des leçons « catalogue »**.

Pour les leçons proposées en post baccalauréat, le candidat doit être capable d'aborder la modélisation des systèmes en s'efforçant de faire le lien entre les modèles proposés et la réalité.

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

- Les relations produit-matériau-procédé.

Le développement de l'ingénierie simultanée, la continuité et les performances de la chaîne informatique tout au long de la vie d'un produit industriel manufacturé et le développement du travail collaboratif imposent que chaque professeur de génie mécanique ait pris conscience des enjeux de la pré industrialisation des produits.

Cette phase, à l'interface entre la conception préliminaire et l'industrialisation, induit une étroite collaboration entre concepteurs et fabricants. Les récents logiciels d'aide au choix des matériaux, des procédés et de simulation de tous les procédés classiques, offrent de nouvelles possibilités qui intéressent directement les techniciens de la production.

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

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

- Les procédés primaires de mise en forme.

Il s'agit là de traiter des principaux procédés permettant d'aboutir aux formes primaires des pièces (forgeage, moulage, etc.).

Dans tous les cas les objectifs proposés sont relatifs aux principes fondamentaux régissant les procédés, aux classifications permettant des choix ultérieurs et aux règles et méthodes associées aux pièces produites. Le jury tient à vérifier que les connaissances du candidat lui permettent de dégager les points fondamentaux d'une formation technologique ouverte sur les contraintes technico économiques. Les candidats se doivent de proposer une leçon motivante et intéressante, fondée sur une dynamique de confrontation avec **des études de cas, plus que sur un inventaire juste mais stérile qui n'intéresse pas les élèves.**

*Exemples de leçons relatives à ce thème : le procédé de moulage au sable, le procédé d'estampage...*

- Les procédés secondaires de transformation.

Si les leçons portant sur ce thème traitent essentiellement de l'usinage par enlèvement de matière, les candidats doivent être capables d'aborder précisément d'autres procédés, comme le découpage ou le pliage.

Les leçons peuvent aborder des sujets pointus tels « *La production industrielle des filetages sur centre d'usinage* » comme des thématiques plus générales sur des phases de préparation des usinages telles « *Choix de stratégies d'usinage* ».

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

- Les procédés tertiaires de transformation.

Il s'agit des procédés complémentaires (traitements thermiques, traitements de surface, assemblages) associés aux procédés primaires et secondaires.

Les leçons attendues sur ce thème ne portent pas sur la transmission de connaissances très spécialisées dans ces domaines particuliers que les élèves pourront approfondir s'ils sont un jour confrontés à ce besoin.

Il s'agit davantage **d'être capable de justifier un traitement, son processus associé et son intégration** dans la réalisation d'une pièce en vue d'obtenir un comportement attendu.



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

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

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

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

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

## Constats et recommandations du jury

---

### La structuration pédagogique d'une séquence.

Comme cela a déjà été précisé, la leçon proposée s'intègre dans une séquence de formation. L'organisation de celle-ci et les objectifs visés par les séances qui la composent doivent être présentés et justifiés. Le jury attend que le candidat **justifie par des arguments liés au thème de la leçon proposée, et non par des généralités pédagogiques**, le modèle d'apprentissage retenu.

En fonction du thème proposé, le jury invite donc les candidats à utiliser toute la palette des modèles d'apprentissage comme:

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

### Le choix de la leçon présentée.

La leçon proposée au jury par le candidat doit **être au cœur du thème à traiter**.

Les candidats doivent donc éviter de traiter longuement des domaines périphériques ou annexes qui ne relèvent pas directement des objectifs opérationnels attendus. Ils doivent également expliciter rapidement les raisons justifiant le choix de la leçon présentée et justifier les parties non présentées devant le jury.

Le jury apprécie les leçons s'appuyant sur des « problèmes techniques » pertinents et motivants, justifiant des apports de connaissance structurés et amenant l'élève à comprendre le « pourquoi » de ce qu'il apprend.

### **Le déroulement de la leçon.**

Quelques candidats ne présentent pas de simulation de séance devant élève. Même si cela peut apparaître artificiel à certains candidats, il est nécessaire que le jury puisse évaluer les candidats en situation proche de celle d'un enseignant devant une classe. **Une partie non négligeable de la présentation de la leçon retenue doit correspondre à une séance réelle devant élèves. Toutefois, il s'agit d'une simulation et il ne faut pas attendre du jury la moindre participation.**

### **La structure pédagogique d'une séance de travaux pratiques.**

Les candidats ne présentent pas toujours le contenu précis des séances de travaux pratiques, alors que les enseignements de productique ou d'AII sont majoritairement dispensés sous cette forme.

Le jury conseille donc aux candidats de ne pas hésiter à proposer des scénarii d'activités de travaux pratiques définissant, par exemple, les éléments suivants:

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

Une visite d'entreprise ou un TP positionné avant une leçon ne constitue pas en soi une démarche inductive. Les activités placées en amont du cours et les observations qui en découlent doivent apporter des éléments pédagogiques déterminants pour le déroulement de la leçon.

### **L'utilisation des supports numériques.**

Le développement des outils numériques et des outils de présentation modifie en profondeur l'acte de formation. Certaines leçons ne peuvent plus se faire sans utiliser des illustrations extraites de ces outils.

Le choix a été fait de ne fournir que des éléments traités (images, vidéos, présentations, articles). Les candidats n'ont donc pas, dans cette épreuve, à manipuler des logiciels spécialisés. Il leur suffit de savoir maîtriser les outils de base des technologies de l'information et de la communication pour être capable d'intégrer des éléments choisis dans les diapositives de leur présentation.

### **La qualité des leçons observées.**

Le jury constate que certains candidats cherchent à contourner le travail attendu soit :

- en ne présentant pas de leçon ;
- en développant une partie annexe à la leçon demandée ;
- en se réfugiant volontairement vers un niveau trop élevé ou trop faible ;
- en restituant au tableau des documents non adaptés aux élèves ciblés.

Cette attitude pénalise fortement le candidat.

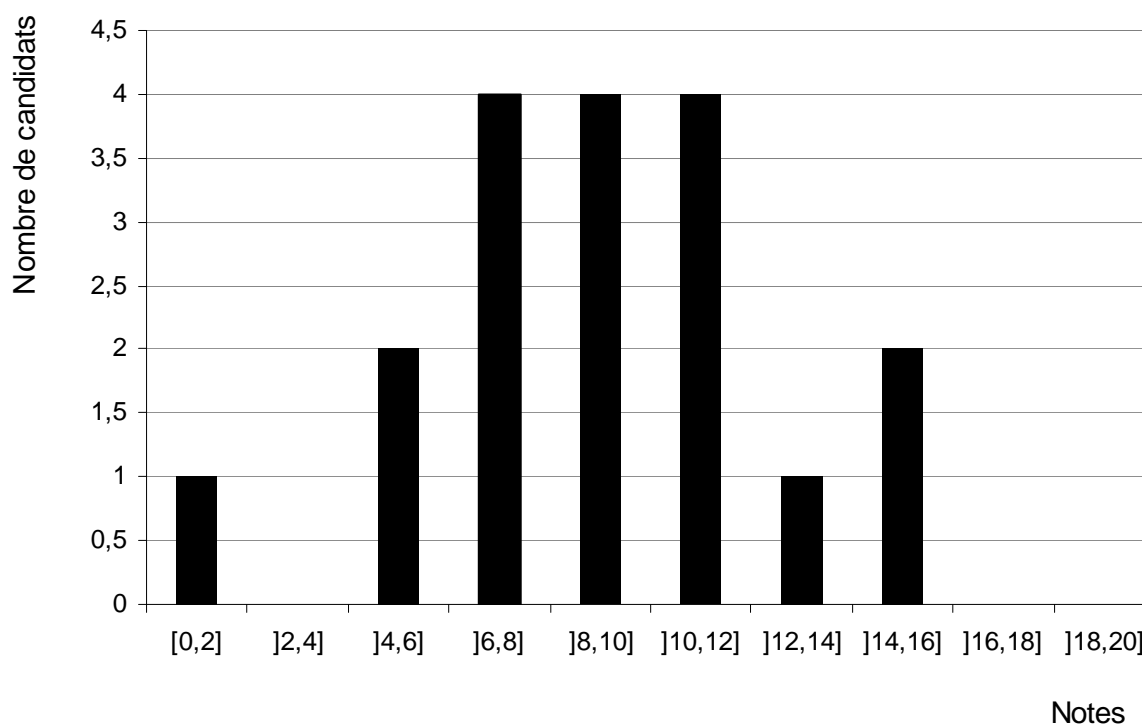
Toute leçon de technologie doit faire ressortir les principes techniques que les élèves doivent comprendre et apprendre. Elle ne doit pas se limiter à un catalogue de « recettes »

opérationnelles ou à un inventaire de données permettant à un technicien d'agir sans comprendre.

L'adéquation du niveau de la leçon et celui que doit atteindre l'élève est fondamentale. L'épreuve n'est pas destinée à juger le niveau scientifique du candidat, même si la faiblesse de ce niveau le pénalise, mais à appréhender sa capacité à transmettre les éléments nécessaires à l'élève pour l'amener d'un niveau **de connaissance identifié vers un niveau ciblé**.

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

### Distribution des notes



La moyenne générale de l'épreuve est de 9,61 sur 20 et l'écart type de 3,63.

### Conclusions générales

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

- **La séquence pédagogique dans laquelle s'insère la leçon retenue, en justifiant ses choix ;**
- **La leçon telle qu'il la présenterait à des élèves, avec l'utilisation du tableau blanc et du rétroprojecteur ou du vidéoprojecteur si nécessaire.**

Malgré l'absence d'expérience professionnelle d'enseignement de certains candidats, le jury s'efforce d'identifier les qualités de ces candidats par rapport à leur projet professionnel et sait « oublier » certaines maladresses techniques ou pédagogiques.

L'épreuve de leçon ne doit pas se limiter à une simple description de la séquence pédagogique proposée. Il est indispensable que les candidats justifient leur réflexion préalable sur les objectifs visés, l'organisation d'une séquence, la structure d'une leçon, l'identification de l'objet de l'évaluation. De plus, ils doivent montrer **de réelles capacités de communication écrite et orale, de réactivité et de dynamisme**. Il est également important que les candidats fassent preuve d'un état d'esprit innovant en pédagogie, en imaginant des scénarii de formation variés, mettant en œuvre de manière maîtrisée et réaliste les outils informatiques.

Le jury met en garde les candidats concernant une utilisation abusive du vidéoprojecteur. C'est certes un outil précieux de communication, mais cela ne saurait remplacer l'utilisation du tableau avec le souci d'obliger les élèves à conserver des traces des connaissances essentielles apportées par la leçon présentée.

La technologie se doit de participer à la maîtrise de la langue, au même titre que les autres disciplines. Aussi le jury exige du candidat un développement écrit de la leçon sur tableau blanc.

Enseigner et former devient une activité de plus en plus complexe qui nécessite la maîtrise de compétences multiples, en sciences et techniques, en informatique, en communication, en pédagogie et en didactique... Une réflexion pédagogique forte est attendue sur l'ensemble des thèmes de leçons proposées. Il semble difficile de murir une réflexion profonde sur ces thèmes uniquement pendant le temps de préparation imparti à l'épreuve. Le jury n'a pas de préjugé dogmatique sur le choix de la pédagogie employée par le candidat, pourvu qu'elle soit justifiée et qu'elle corresponde au niveau ciblé.

# RAPPORT DE L'ÉPREUVE DE SOUTENANCE D'UN DOSSIER INDUSTRIEL, INTERROGATION PORTANT SUR LA COMPÉTENCE « AGIR EN FONCTIONNAIRE DE L'ÉTAT DE FAÇON ETHIQUE ET RESPONSABLE »

M. RAGE - P. RAY - R. RIGAUD - O. ROSSI

Cette épreuve est constituée de deux parties distinctes, évaluées séparément.

La première impose aux futurs professeurs de s'engager, dès leur début de carrière, dans un processus de rapprochement avec le monde de l'entreprise. Elle doit amener le candidat à conduire personnellement une analyse technique et économique d'un problème industriel authentique relative à l'industrialisation et à la réalisation de produits mécaniques.

Cette analyse peut être soit à l'initiative de l'entreprise soit à celle du candidat mais dans les deux cas menée en coopération. Elle débouchera impérativement sur la résolution du problème technique industriel identifié ; la résolution de ce problème sera conduite par le candidat.

La deuxième partie, prend appui sur une problématique contextualisée tirée au sort qu'il s'agit pour le candidat d'analyser en fonction de textes et documents fournis.

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

## **Les textes réglementaires définissant l'épreuve**

---

Extrait de l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les sections et les modalités d'organisation des concours de l'agrégation (NOR: MENH0931284A)

*L'épreuve se déroule en deux parties. La première partie est notée sur 15 points, la seconde sur 5 points (durée de la préparation : une heure trente minutes ; durée de l'épreuve : une heure maximum ; coefficient 1.)*

**Première partie** : soutenance devant le jury d'un dossier technique et scientifique du domaine de la production mécanique industrielle préparé par le candidat, suivie d'un entretien (présentation du dossier : vingt minutes maximum ; entretien : vingt minutes maximum).

*Le dossier présenté par le candidat est relatif à une production industrielle, dont l'authenticité et l'actualité sont des éléments décisifs. Cette production industrielle, qui se caractérise par une compétitivité reconnue et par la modernité des méthodes et moyens mis en œuvre industriellement, répond à un cahier des charges d'industrialisation, présent dans le dossier, et à des spécifications dont la description est conforme aux normes en vigueur. Le programme du concours précise les éléments constitutifs du dossier.*

*En utilisant les moyens modernes de présentation (vidéoprojecteur et informatique associée en particulier), le candidat présente au jury le support et les*

*moyens techniques de production qu'il a choisis pour l'épreuve, et les investigations et développements qu'il a conduits pour s'en approprier totalement la structure, le fonctionnement et les évolutions potentielles. Lors de la présentation, le candidat doit indiquer brièvement les thèmes et niveaux d'exploitations pédagogiques pertinents qu'il serait possible, selon lui, de tirer des points remarquables du dossier.*

*Pendant l'entretien, le jury conduit des investigations destinées à se conforter dans l'idée que le dossier présenté résulte bien d'un travail personnel du candidat. Celles-ci peuvent conduire à explorer des pistes présentées dans le dossier mais qui n'ont pas fait l'objet d'une présentation orale suffisamment détaillée et à demander au candidat des explications relatives aux démarches utilisées dans les différentes phases des études techniques et scientifiques, voire des démonstrations liées à la mobilisation des outils informatiques exploités lors des études proposées dans le dossier.*

*Les candidats doivent impérativement déposer au secrétariat du jury le dossier qu'ils doivent présenter cinq jours francs au moins avant la date de début des épreuves d'admission.*

**Seconde partie** : interrogation portant sur la compétence « Agir en fonctionnaire de l'État et de façon éthique et responsable » (présentation : dix minutes ; entretien avec le jury : dix minutes).

*Le candidat répond pendant dix minutes à une question, à partir d'un document qui lui a été remis au début de l'épreuve, question pour laquelle il a préparé les éléments de réponse durant le temps de préparation de l'épreuve. La question et le document portent sur les thématiques regroupées autour des connaissances, des capacités et des attitudes définies, pour la compétence désignée ci-dessus, dans le point 3 « les compétences professionnelles des maîtres » de l'annexe de l'arrêté du 19 décembre 2006.*

*L'exposé se poursuit par un entretien avec le jury pendant dix minutes.*

## **Le déroulement de l'épreuve de la session 2011**

---

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

A l'heure prévue pour la soutenance, le jury rejoint le candidat dans la salle ainsi préparée. Le candidat expose alors pendant une durée maximale d'une demi-heure. Cette demi-heure est composée de 20 minutes dédiées à l'exposé du dossier technique, et de dix minutes dédiées à l'exposé de la réflexion structurée du candidat sur le thème proposé pour l'épreuve « Agir en fonctionnaire de l'état de manière éthique et responsable ».

A l'issue de l'exposé, le jury s'entretient avec le candidat sur différents points qu'il aura pu exposer :

- Vingt minutes sont consacrées au dossier. Il s'agit pour le jury de s'assurer qu'il s'agit bien d'un travail personnel résultant d'un échange approfondi avec une entreprise industrielle sur un problème de production authentique.
- Dix minutes sont consacrées à l'épreuve « Agir en fonctionnaire de l'état de manière éthique et responsable ». Le jury s'assure de la connaissance des acteurs du système éducatif et des comportements attendus selon la situation-problème proposée.

# Épreuve de soutenance d'un dossier industriel

## Les attentes du jury, les critères d'évaluation

---

Le jury attend qu'au travers de l'épreuve de soutenance de dossier industriel les candidats démontrent leur capacité à conduire des investigations prenant en compte de réels problèmes techniques posés au sein d'un système de production.

Ces investigations doivent déboucher sur un travail personnel d'analyse sérieuse, de propositions de solutions techniques répondant aux problèmes posés, le tout démontrant la maîtrise d'une démarche scientifique pertinente complétée si cela est possible par des résultats d'expérimentation. Le niveau de confidentialité ne devra pas nuire à la constitution du dossier et au dialogue avec le jury.

Par ailleurs les éléments suivants sont déterminants pour un futur enseignant en sciences et techniques industrielles :

- aptitude à constituer un dossier avec les outils modernes de la PAO ;
- maîtrise des outils informatiques de simulation, de CAO et de FAO ;
- savoir faire en communication technique.

Le candidat s'attachera à produire des documents techniques conformes aux normes en vigueur.

L'évaluation s'adosse sur l'aptitude du candidat à :

- construire un dossier qui sera apprécié au travers de :
  - sa structuration autour du problème technique résolu ;
  - sa qualité rédactionnelle, notamment au travers de la maîtrise de la langue ;
  - la réalité industrielle du problème traité ;
  - la pertinence des développements techniques et scientifiques proposés ;
  - la rigueur technique et scientifique des analyses.
- exposer de manière claire et structurée la problématique retenue dans le dossier. Le jury appréciera ainsi :
  - sa démarche auprès de l'entreprise ;
  - le problème technique identifié ;
  - les axes de résolution choisis ;
  - l'engagement du candidat dans cette résolution ;
  - les étapes clés de la démarche ;
  - l'interaction avec l'entreprise à l'issue de l'étude ;
- Établir une proposition pédagogique succincte mais cohérente avec la problématique choisie.

Le jury appréciera en outre, la rigueur du vocabulaire et la qualité de l'expression orale du candidat, la pertinence des réponses aux questions qui lui seront posées.

## Typologie des dossiers présentés en 2011

---

Les différents dossiers soutenus à la session 2011 peuvent être classés en huit catégories, les deux premières correspondent au cadre de l'épreuve :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Les dossiers « exposé technologique ou visite technique »

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

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

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

- Les dossiers déjà présentés lors d'une session précédente



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

## **Constats et recommandations du jury**

---

### **A propos de la problématique**

Une des lacunes récurrentes constatée par le jury concerne l'absence de problème technique et de traitement associé. Identifier une problématique industrielle ne consiste pas à dérouler un schéma type : diagramme des interacteurs, FAST, description relation Produit – Procédé - Matériau, description d'une réalisation (gamme d'usinage etc...).

La compréhension de la problématique passe bien sûr par une mise en situation qui doit éviter au candidat de ne rien savoir sur l'environnement du produit, situation qui témoigne d'un manque de curiosité peu apprécié. La relation entre le produit associé à son environnement et les contraintes de l'industrialisation a permis à plusieurs candidats de bien clarifier leur présentation. De même, les éléments les plus pertinents du dossier d'industrialisation de l'entreprise doivent être mis en valeur par le candidat. Ces éléments, nécessaires à la compréhension du dossier ne sauraient en aucun cas en constituer le corps principal.

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

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

### **La construction du dossier**

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

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

Les candidats veilleront à ne pas rechercher de procédé ou de système technologique trop original conduisant à une prestation purement descriptive et sans apport personnel.

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

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

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

L'exploitation pédagogique doit mettre en évidence :

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

### **La soutenance**

La soutenance est un exercice particulier qui ne peut se concevoir comme un simple affichage des pages du dossier. La plupart des exposés sont de bonne facture pour ce qui concerne les outils de présentation. Les candidats ont bien compris qu'il ne fallait pas perdre de temps dans une recopie au tableau des informations qui figurent dans les diaporamas, le jury disposant du dossier et donc d'une mémoire de la structure de la présentation.

Les nombreuses simulations proposées par les candidats ont montré que si l'outil informatique est bien maîtrisé, les modèles qui régissent les comportements ou les conditions aux limites sont quelques fois absents des interprétations. Une grande sagacité s'impose donc dans leur mise en œuvre comme dans leur exploitation.

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

### **Les réponses aux questions du jury et la communication**

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

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

Le jury dénonce cette année le manque d'intérêt porté à cette épreuve conduisant à la baisse significative de la qualité des dossiers proposés.

## **Interrogation portant sur la compétence « Agir en fonctionnaire de l'état de manière éthique et responsable ».**

### **Typologie des sujets proposés en 2011**

---

Les sujets sont classés en quatre grands domaines :

- 1- La vie de l'établissement
- 2- La gestion de la classe
- 3- La gestion de l'élève : exemple de sujet de cette session.

**Référence :** La gestion de l'élève : L'orientation

### **Présentation de la situation :**

Un professeur assurant les enseignements d'exploration CIT et SI en classe de seconde de lycée doit apporter son aide à la résolution d'un conflit entre un élève et ses parents sur son projet professionnel.

### **Questions :**

- Quelle aide à la réflexion peut-on apporter à l'élève au sein de l'établissement et quel dialogue peut-on établir avec la famille ?

### **Documents à disposition :**

*Texte « Les missions du professeur » ; circulaire 1997 du 23 mai 1997*

Le professeur exerce le plus souvent dans un établissement public local d'enseignement, ou bien dans un établissement privé sous contrat d'association. Il est placé sous l'autorité du chef d'établissement.

[...]

Le professeur doit pouvoir établir un dialogue constructif avec les familles et les informer sur les objectifs de son enseignement, examiner avec elles les résultats, les aptitudes de leurs enfants, les difficultés constatées et les possibilités de remédiation, conseiller, aider l'élève et sa famille dans l'élaboration du projet d'orientation.

Il participe au suivi, à l'orientation et à l'insertion des élèves en collaboration avec les autres personnels, d'enseignement, d'éducation et d'orientation. Au sein des conseils de classe, il prend une part active dans le processus d'orientation de l'élève.

Il connaît les responsabilités dévolues aux professeurs principaux.

- 4- La pédagogie

### **Constats et recommandations du jury**

---

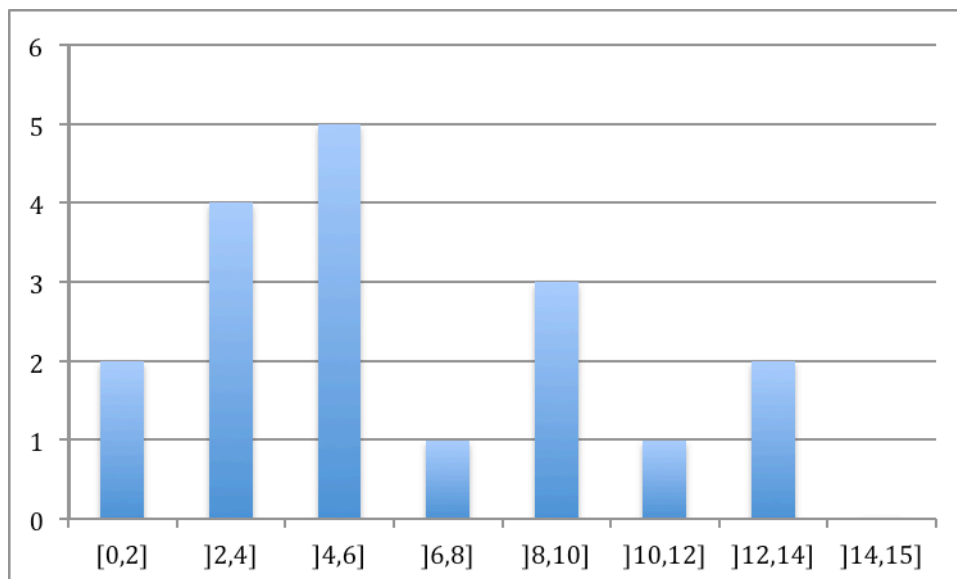
Les connaissances suivantes apparaissent comme un préalable à tout exposé de qualité :

- la structure d'un EPLE ;
- le fonctionnement d'un EPLE ;
- l'organisation du système éducatif et des voies de formation du second degré.

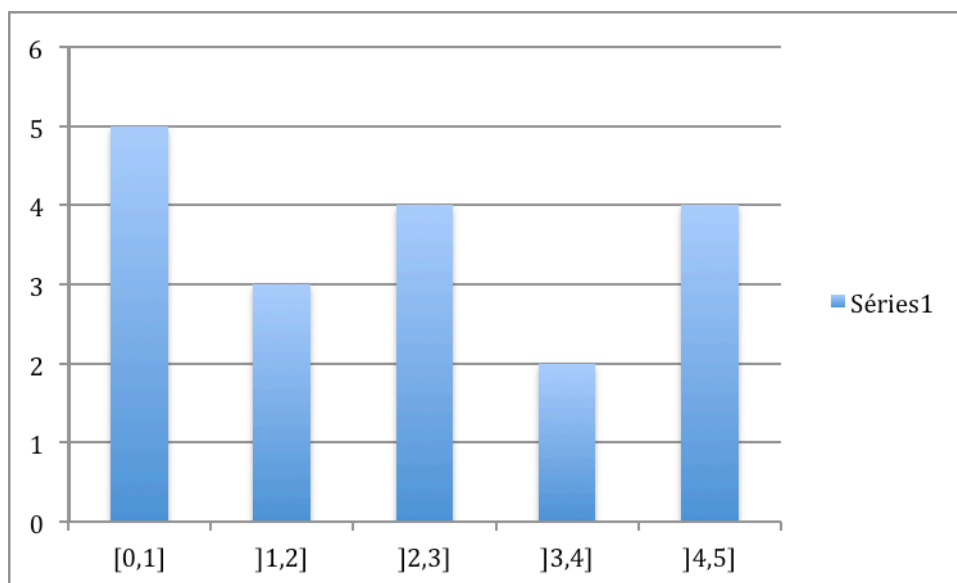
Le jury attend que le candidat contextualise sa réponse par rapport à la situation-problème proposée. Ce dernier doit s'abstenir de la pure citation des textes législatifs ou réglementaires mis à disposition. Il doit se positionner d'un point de vue personnel tout en étant capable de justifier sa posture auprès des membres du jury.

## Histogramme des résultats

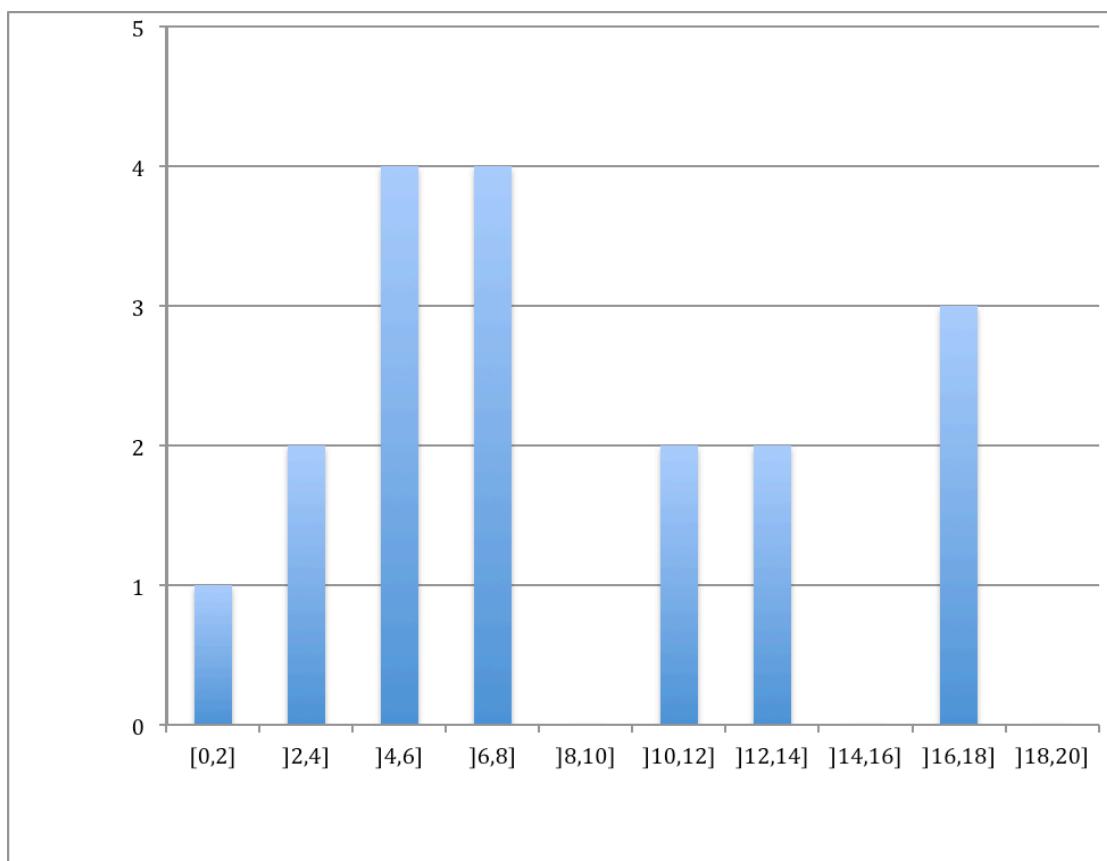
---



Histogramme des notes obtenues pour l'épreuve de soutenance du dossier industriel  
La moyenne obtenue pour cette épreuve est de **6,2/15**



Histogramme des notes obtenues pour l'épreuve « Agir en fonctionnaire de l'état de manière éthique et responsable ».  
La moyenne obtenue pour cette épreuve est de **2,5/5**



Histogramme des notes obtenues cumulées pour les deux épreuves

## Conclusions générales

### *Épreuve de dossier*

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

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

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

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

### *Interrogation portant sur la compétence « Agir en fonctionnaire de l'état de manière éthique et responsable ».*

Il est nécessaire d'insister sur l'aspect personnel du traitement de la problématique dans un cadre réglementaire permettant au jury de juger cette compétence qui ne peut pas s'évaluer au travers d'une simple description de textes. Dans cette partie le candidat doit également faire preuve de qualité de conviction et de communication.

# RAPPORT RELATIF A L'ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES

R. BÉARÉE - M. BERÇOT- H. CHANAL - S. CHARLAT  
A. DACUNTO - J.M. DESPREZ - C VELUT

## 1. RAPPEL DES CONDITIONS DE L'ÉPREUVE DE TP

Il s'agit d'une épreuve de Travaux Pratiques (TP) de mise en œuvre de différents moyens de production et/ou d'automatisation :

- Durée de la préparation : 7 heures
- Durée de l'épreuve : 1 heure maximum, décomposée comme suit
  - exposé à l'initiative du candidat : 30 minutes maximum ;
  - entretien avec les membres de jury : 30 minutes maximum ;
- Coefficient 2

Pour la préparation de l'épreuve, un dossier technique est remis au candidat, contenant les éléments nécessaires à la résolution du problème posé, notamment, un cahier des charges, les données utiles, la présentation et les caractéristiques du matériel à utiliser, tout ou partie de «documents constructeurs», tout ou partie des procédures de mise en œuvre des matériels, tout ou partie de ressources numériques associées à la problématique du TP.

A la fin de la préparation, le candidat expose ses travaux au jury.

L'exposé porte sur la présentation des résultats de l'activité expérimentale. Le candidat dispose des moyens de communications usuels de présentation (notamment tableaux et rétroprojecteur). A cette présentation doivent être associées une analyse critique des résultats obtenus, la justification des méthodes utilisées et celle des solutions proposées.

Cet exposé technique et scientifique est suivi d'un entretien.

## 2. REMARQUES GENERALES SUR LA SESSION 2011

Les problématiques techniques et scientifiques sont généralement relatives au comportement d'une pièce ou d'un outillage dans son environnement de transformation, relatives à la mise en œuvre d'une production, à la nature des éléments constitutifs d'une chaîne d'action ou relatives à l'analyse et la conduite d'un système automatisé. L'épreuve de TP de la session 2011, au travers d'activités pratiques à caractères industriels, techniques et scientifiques, a pris appui sur différents supports et procédés proposés disponibles au sein du plateau technique du centre de concours.

L'épreuve a permis d'évaluer les aptitudes du candidat à construire une réflexion technique et scientifique dans le cadre d'une mise en œuvre de moyens et de périphériques associés.

En fonction et dans le contexte du TP proposé au candidat, l'épreuve de Travaux Pratiques a permis d'évaluer les capacités des candidats à : (tout ou partie)

- appréhender un procédé ou un système par l'observation attentive des conditions technico-économiques de sa mise en œuvre ;
- identifier les problèmes techniques ;
- mobiliser des connaissances scientifiques et techniques pour résoudre un problème réel ;
- analyser des données d'industrialisation, d'automatisme et/ou d'automatique ;
- analyser et s'approprier le contexte de mise en œuvre proposé ;
- formuler et valider des hypothèses et/ou un modèle ;
- définir, conduire une expérimentation, exécuter un programme ;
- réaliser des essais, des mesures ;
- analyser des résultats ;
- proposer des évolutions des conditions de réalisation ;
- valider des solutions proposées par une mise en œuvre finale ;
- présenter de façon synthétique et ordonnées les résultats obtenus, les justifier ;
- mettre en évidence la compréhension globale de l'objectif et des finalités du TP ;
- répondre à des questions en lien avec le problème à résoudre.

### **3. DEROULEMENT DE L'EPREUVE**

#### **3.1. Exécution du travail pratique, durée 7 heures**

Dans le cadre de la résolution d'un problème technique, le candidat est amené à mettre en œuvre une démarche de pré-industrialisation, d'industrialisation, à mettre en œuvre des systèmes automatisés ou à mettre en œuvre des équipements relatifs à différents procédés de production.

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

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

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

- de lui présenter le matériel mis à sa disposition et les procédures de mise en œuvre si besoin ;
- de l'assister en cas de difficulté matérielle ;
- de l'aider à s'approprier l'étude et à rester dans le cadre du TP ;
- de procéder à une première évaluation entrant dans l'élaboration de la note finale.

La mise en œuvre totalement maîtrisée des machines et procédés, des aides et ressources logicielles n'est pas déterminante pour réussir cette épreuve. Selon la nature du matériel et des équipements proposés, une assistance technique est quasiment systématiquement apportée au candidat au cours de sa préparation pour la mise en œuvre des supports et matériels.

Pour cette phase de préparation de 7 heures, les critères d'évaluation portent sur les points suivants :

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

### ***Commentaires relatifs à la phase d'exécution du travail pratique***

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

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

*Plusieurs candidats ont bien compris les objectifs de l'épreuve. Néanmoins les commentaires ci-dessous pointent des axes de travail pour les candidats désireux de se préparer, au mieux, à l'épreuve.*

*Il est conseillé aux candidats, avant toute chose, de s'appropriier l'ensemble du dossier et l'environnement du TP proposé. Il appartient au candidat de parcourir l'intégralité du dossier, de lire le travail demandé qui structurera sa démarche à venir. En effet à partir de l'inventaire et de l'analyse des données et éléments externes apportés, le candidat doit construire sa démarche de résolution de problème. Dans un premier temps, il appartient donc, au candidat, d'initier aussi une démarche d'investigation et de formaliser, la problématique qu'il compte résoudre.*

*A ces problématiques, seront associées une démarche (ou protocole) d'expérimentation qu'il faudra construire et mettre en œuvre durant le TP. Il est donc recommandé aux candidats de prendre le temps d'identifier les critères et les indicateurs de performance du processus ou du procédé qui feront l'objet d'une analyse ou qui permettront une comparaison aux attentes et critères du cahier des charges. Les membres de jury constatent que les candidats, qui ne s'engagent pas dans cette étape, perdent beaucoup de temps durant le TP, prenant souvent l'initiative, au cours du TP et en fonction de résultats obtenus, d'initier de nouveaux essais et expérimentations qui n'étaient pas planifiés au départ. Un manque d'analyse du problème technique conduit généralement le candidat à mener des essais de façon désordonnée.*

*Lors de la mise en œuvre, on observe trop souvent une ambition qui se limite à la réalisation du travail demandé, (une pièce, un programme, un test ou essais) sans se soucier des causes et effets de problèmes identifiés ou observés dans nombre de situations.*



*Les membres de jury attendent des candidats qu'ils puissent exprimer les fondamentaux qu'ils ont acquis de part leur formation ou expérience personnelle : modélisation, mise en position, maintien en position, coupe, spécifications de fabrication, quantification des grandeurs de pilotage et de réglage, gammes d'usinage et de mesures, métrologie, qualité, optimisation en gestion de production, techniques d'implémentation des modèles de commande, spécification en automatisme, base de la statistique, .... etc.*

*Au moment de l'exploitation technique et scientifique des résultats, nombres de lacunes dans les connaissances théoriques de base ne permettent pas aux candidats, de conduire une analyse pertinente des phénomènes et données obtenues. Les résultats annoncés mériteraient d'être associés à leurs incertitudes. Les candidats éprouvent fréquemment des difficultés à justifier et mettre en place des actions ou modalités correctives.*

*La réussite de cette phase d'exécution du travail pratique nécessite un équilibre entre ces trois composantes : mobilisation de fondamentaux, mise en œuvre ordonnée du travail demandé, analyse et interprétation des résultats.*

*Ces constats illustrent les problèmes que ces enseignants ou de futurs enseignants seront amenés à résoudre pour concevoir et encadrer des séances de travaux pratiques.*

### **3.2. Présentation des travaux réalisés et entretien avec le candidat, durée 1 heure**

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

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

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

■ Présentation de la problématique, justification de la démarche, exploitation des résultats :

- qualité du raisonnement et structuration des résultats de l'analyse ;
- justification des hypothèses formulées ;
- justification des modèles utilisés ;
- justesse de l'interprétation des résultats ;
- qualité de la communication et précision du vocabulaire employé.

■ Réponses aux questions posées :

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

### **Commentaires relatifs à la phase de présentation (exposé) du Travail Pratique.**

Les candidats doivent être en mesure de faire la démonstration de leur capacité à dégager les différents problèmes posés par le TP. L'exposé doit pouvoir démontrer leur capacité à confronter leur approche théorique avec les résultats de leur expérimentation, tout en gardant un esprit d'analyse critique.

Si la description du contexte de l'étude est nécessaire, il est important de rappeler que la présentation doit principalement porter sur la problématique abordée et sur la démarche mise en œuvre pour y apporter une réponse.

Les candidats doivent s'attacher à décrire, expliquer et justifier les actions conduites. Ils doivent être en mesure de formuler les conclusions de leurs expérimentations. Un manque d'expérimentation ou de mise en œuvre ne peut être remplacé par un exposé de manipulations supposées.

Il est conseillé aux candidats de se préparer à une meilleure gestion du temps, quelques uns ayant limité leur intervention à la moitié du temps imparti, voire moins.

Trop de candidats se contentent lors de l'exposé de présenter une réponse à chacun des items de guidance proposés dans le texte du sujet. Cet exposé reste bien une synthèse. Le jury n'attend pas pour cette épreuve la présentation d'un exposé (type leçon) sur le thème du TP.

Le jury attend un exposé davantage structuré et synthétique, une plus grande qualité des documents projetés, des croquis et des écritures au tableau.

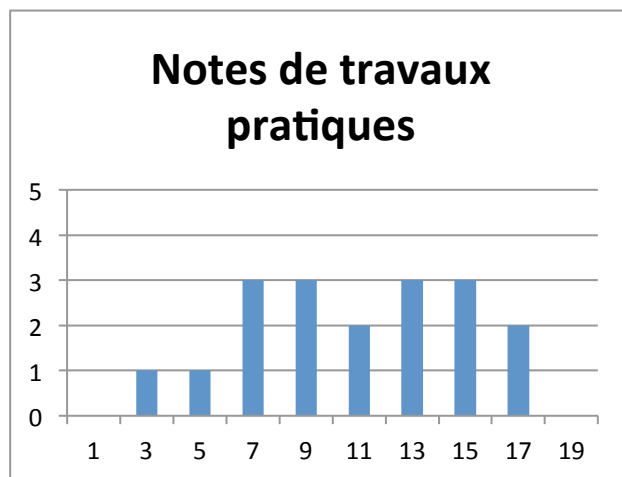
Si ces recommandations s'adressent à de nombreux candidats, le jury a été sensible au dynamisme de certaines prestations et à des présentations d'une bonne qualité.

### **3.3. Histogramme des résultats**

Remarque : 23 candidats étaient admissibles. 5 candidats ne se sont pas présentés à l'épreuve, 3 d'entre eux ayant été admis à l'agrégation interne.

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

La moyenne de cette épreuve est de **09,9/20** pour cette session 2011.



### **4. THEMES D'ETUDES DES TRAVAUX PRATIQUES**

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

#### **4.1. Étude de pré-industrialisation**

L'adaptation du produit aux procédés ou processus de fabrication peut amener à la modification de sa définition - formes et spécifications géométriques ou mécaniques, adaptation du choix du matériau. La réalisation d'un prototype vient alors valider les hypothèses formulées.

#### **4.2. Étude des limites des procédures de réglages externes**

La mise au point d'une production impose de nombreux pré-réglages externes qui ne sont pas sans conséquences sur les résultats obtenus. Plusieurs activités permettent d'apprécier, au travers de différentes simulations numériques ou essais, l'influence des différents éléments de la chaîne numérique, de la boucle machine/porte-outil/outil/porte-pièce/pièce ou des paramètres de définition et de configuration du procédé, et ainsi, d'en déduire des règles limitatives d'emploi de ces réglages externes.

#### **4.3. Optimisation sous contraintes technico-économiques**

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

#### **4.4. Recherche et validation d'un processus sous contraintes géométriques ou de déformation**

Des spécifications géométriques et dimensionnelles, un environnement de production en évolution peuvent amener des contraintes portant sur le processus, le choix d'outils, le choix de conditions de coupe, le choix des porte-pièces, la configuration des paramètres de production. Les comportements de la pièce ou de l'outil lors de l'usinage peuvent entraîner des déformations ou des contraintes particulières qu'il est nécessaire de quantifier pour envisager des actions correctives. Elles nécessitent la modélisation des efforts de coupe et de bridage puis la recherche des conditions aux limites permettant une approche par simulation.

Plusieurs travaux pratiques proposent d'analyser l'effet de ces contraintes, de conduire des expérimentations et de conclure sur les valeurs des paramètres à utiliser et sur la validité du processus envisagé.

#### **4.5. Analyse et réglage d'un système asservi**

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

#### **4.6. Analyse et programmation d'un système séquentiel**

Pour les systèmes automatisés séquentiels, les travaux pratiques s'intéressent au développement de la commande. Les candidats sont amenés à faire des études de gestion de

modes de marches et d'arrêt pour différents postes en prenant en compte les aspects de sûreté de fonctionnement, puis à traduire les résultats de leurs analyses en « programmes automates » en utilisant les environnements de programmation mis à leur disposition.

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

- l'usinage par enlèvement de matière sur machines à commande numérique de 2 à 5 axes ;
- l'usinage grande vitesse sur centre d'usinage ;
- le décolletage sur tour multiaxes à alimentation automatique ;
- le soudage sur poste robotisé ;
- l'injection plastique.

Pour le domaine des automatismes industriels, les supports exploités sont les suivants :

- une unité d'assemblage ;
- une machine à commande numérique associée à un système de mesures externes (ballbar).