Banque PT, France

# Session 2021, filière PT

## Sciences industrielles C

Durée : 6 heures

### Ce que traite le sujet

- I. Compréhension et analyse macroscopique de la cellule robotisée et de l'interface robot / structure à percer
- II. Compréhension et analyse de la cinématique du perçage à assistance vibratoire
- III. Compréhension et analyse de l'effecteur
- IV. Industrialisation de la fabrication d'un composant mécanique

**Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.**

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/banque-pt/pt/2021/si-c

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

# Epreuve de Sciences Industrielles C

Durée 6 h

**Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.**

---

**L'usage de calculatrices est interdit**

**Composition du sujet** :

- 1 cahier de 17 pages de texte, numérotées de 1 à 17.
- 1 cahier de 22 pages, numérotés de 1 à 22 intitulé "**Documents Ressources**".
- 1 cahier de 29 pages, numérotés de 1 à 29, intitulé "**Document Réponse**" **à rendre à la fin de l'épreuve.**

**Matériel autorisé** : tous instruments usuels du dessinateur.

**TOUTE AUTRE DOCUMENTATION EST INTERDITE**

**Gestion du temps :**

*En admettant une durée de 15 minutes pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est conseillé de consacrer environ 20 % du temps à la partie I, environ 15 % du temps à la partie II, environ 45 % du temps à la partie III (environ 9 % du temps pour chacune de ses 5 sections), environ 15 % du temps à la partie IV.*

Il est demandé aux candidats des dessins qui doivent traduire sans ambiguïté leurs intentions de conception. Pour cela, les candidats sont invités à faire preuve de rigueur dans leur tracé (en particulier, l'utilisation d'une règle ne pourra être que conseillés) et à donner toutes les précisions qu'ils jugeront adéquates afin de permettre au jury d'évaluer la pertinence des solutions proposées.

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction, la clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans **l'appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs. Les candidats sont également invités, quand cela est possible, à utiliser des notations précisées dans le document pour répondre aux questions qui dépendent de points précédents qui ont été éventuellement ignorés (ou insuffisamment traités).

# Cellule robotisée pour lignes automatisées d'assemblage de structures aéronautiques

## Présentation

Lors de l'assemblage de structures d'avion, il est nécessaire de percer un grand nombre de trous de fixation, le rivetage étant encore le seul procédé d'assemblage homologué dans le domaine. Ces opérations (voir **DOCUMENT RESSOURCE I**) sont destinées soit à l'assemblage des éléments en sous-structures (par exemple la « peau » de l'avion sur la structure de chaque tronçon) soit pour l'assemblage final (assemblage de différents tronçons entre eux).

Les diamètres à percer, les puissances mises en jeux et les contraintes de qualité sont très variables. Il existe plusieurs types de systèmes destinés à ces opérations (Figure 1) : des machines portatives (automatiques ou semi-automatiques), des structures de grand gabarit type « C-Frame », des cellules robotisées et des outillages manuels. Les cellules robotisées sont aujourd'hui de plus en plus utilisées pour leur gain de performance, leur flexibilité et la possibilité d'évoluer vers une automatisation complète et une coexistence avec l'humain au sein de la même plateforme de travail.



**Figure 1 : Machines spéciales de grand gabarit et cellules robotisées pour l'assemblage de structures d'avion**

Ce sujet étudiera une cellule robotisée mobile de nouvelle génération, destinée aux processus de perçage pour l'assemblage de structures aéronautiques. Elle est composée de plusieurs sous-systèmes : véhicule guidé automatiquement (VGA), robot anthropomorphe 6 axes et effecteur de perçage compact (Figure 2 et **DOCUMENT RESSOURCE II**). Particulièrement important, l'effecteur est conçu et réalisé spécialement pour ces opérations. Sa taille impacte fortement l'accessibilité aux zones de travail et la dextérité du système complet, et ses performances sont importantes pour couvrir une large plage de caractéristiques des trous à percer. La cellule robotisée

qui constitue le support de ce sujet mise sur une diminution importante du volume occupé et de la masse totale d'un effecteur de nouvelle génération.

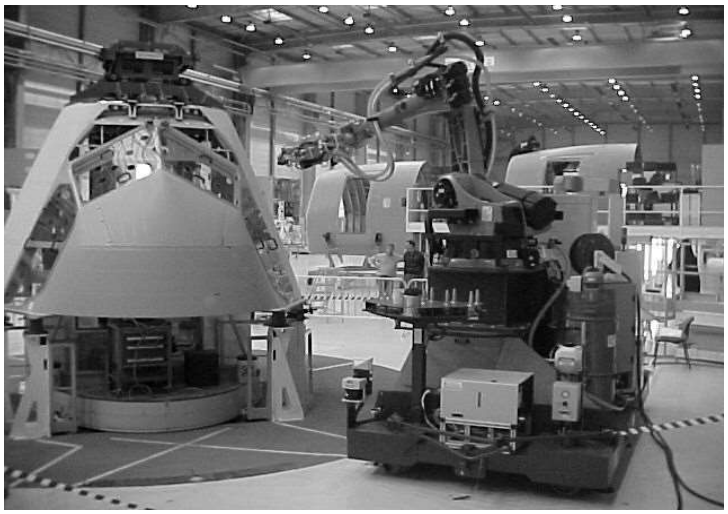


**Figure 2 : Cellule robotisée à plateforme mobile pour l'assemblage de structures d'avion (STELIA Aerospace, Méaulte, France)**

La qualité des surfaces des trous réalisés est également primordiale pour la tenue en fatigue des assemblages réalisés ultérieurement par rivetage. Ceci est d'autant plus important que l'on doit percer des empilements de matériaux très différents (alliages d'aluminium ou de titane, matériaux composites). Qu'il s'agisse de ce système robotisé ou d'autres moyens industriels, un des soucis majeurs aujourd'hui provient de la difficulté d'évacuation des copeaux pendant le perçage, qui conduit parfois à des problèmes de qualité.

Les copeaux longs générés dans les alliages d'aluminium ou de titane (particulièrement ductiles), ayant souvent des températures élevées, peuvent venir endommager les surfaces des couches supérieures (matériaux composites, par exemple) ou simplement se coincer dans les goujures du foret, conduisant parfois à sa casse. L'effecteur de perçage présenté dans ce document utilise deux moyens de génération d'oscillations axiales, capables de garantir une assistance vibratoire au perçage pour toute la gamme d'opérations de perçage envisagée (des oscillations axiales d'amplitudes et de fréquences ajustables, imposées au foret). Cette assistance provoque une fragmentation convenable des copeaux, facilitant ainsi leur évacuation (Figure 3).

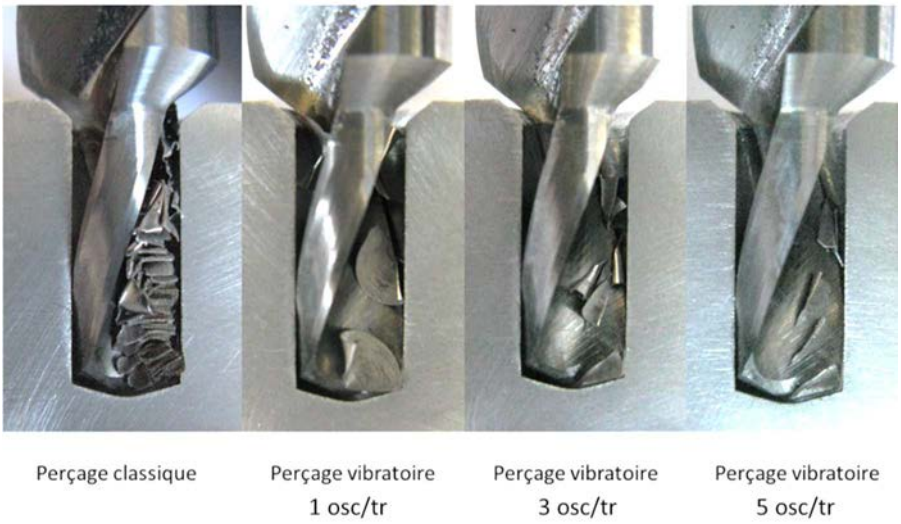



**Figure 3 : Formation des copeaux lors du perçage vibratoire et du perçage classique**

Le sujet analysera cette cellule robotisée, et se structure de la manière suivante :

- La **PARTIE I** analysera, à partir des dimensions de la structure à percer, les besoins, contraintes et performances à imposer à la base mobile (VGA / véhicule à guidage automatique) pour satisfaire les fonctions « positionner le robot par rapport à la pièce », « assurer la stabilité de la cellule pendant le processus de perçage » et « accostage ». Cette dernière fonction est nécessaire pour le bon déroulement de l'opération de perçage lorsqu'on perce un empilement de tôles déformables ;
- La **PARTIE II** étudiera une fonction exigée pour certaines opérations de perçage, nécessaire pour la fonction « fragmenter les copeaux ». Elle consiste à superposer à un mouvement d'avance du foret (classiquement de vitesse constante), des oscillations d'amplitudes et fréquences contrôlées, afin de provoquer des entrées et sorties successives de l'outil dans la matière ;
- La **PARTIE III** étudiera la cinématique de l'effecteur de perçage, en proposant des études visant le fonctionnement des deux méthodes de génération d'oscillations, la chaine de commande d'un des actionneurs intégrés et la conception d'une liaison cinématique importante pour le bon fonctionnement de l'effecteur ;
- La **PARTIE IV** portera sur la fabrication et le contrôle de spécifications d'un des composants de l'effecteur.

# I. Compréhension et analyse macroscopique de la cellule robotisée et de l'interface robot / structure à percer

Cette partie a pour but d'analyser le fonctionnement global de la cellule robotisée prise dans son ensemble. Le candidat comprendra en fonction du contexte quand le terme VGA désigne l'ensemble de la cellule robotisée (VGA + robot + effecteur) et quand il désigne uniquement la base mobile.

A. Analyse des déplacements et de la stabilité de la cellule

Le **DOCUMENT RESSOURCE II** donne une vue d'ensemble de la cellule et de la structure à percer/riveter, ainsi qu'un schéma présentant la zone de travail de la cellule, limitée par des considérations d'accessibilité et de dextérité du robot. Pour simplifier, on considère une structure à assembler de type tronçon d'avion (forme cylindrique), avec son axe orienté à la verticale. Lors de la phase de perçage le VGA doit être immobilisé dans une position choisie de manière à maximiser la zone de la structure à percer/riveter que le robot peut atteindre. Le **DOCUMENT RESSOURCE III** rappelle les relations géométriques au sein d'un triangle.

**Question 1.** Compléter le schéma du document réponse, en plaçant le centre de la cellule robotisée (point A) dans la position qui permet de couvrir le plus grand secteur angulaire possible de la structure à percer/riveter.

**Question 2.** Sachant que l'on peut couvrir l'ensemble de la surface de ce tronçon d'avion avec 6 secteurs angulaires (6 positions équidistantes du VGA), déterminer l'expression littérale et la valeur numérique (à 0,1m près) du rayon $R_{max}$ de la zone de travail de la cellule robotisée. Dans l'hypothèse d'un trajet en ligne droite (**DOCUMENT RESSOURCE IV**), calculer la longueur $L$ de chaque parcours du VGA entre deux positions successives de travail.

L'efficacité de la cellule est liée à la capacité de la cellule à être repositionnée rapidement. Le **DOCUMENT RESSOURCE IV** donne un schéma, ainsi que les caractéristiques, telles que données par le constructeur, de la cellule et des moyens de mise en mouvement de la base mobile.

**Question 3.** A partir de considérations purement cinématiques, calculer (à 0,1 m/s près) la vitesse maximale $v_{max}$ que le VGA peut imposer à l'ensemble de la cellule robotisée.

Pour les questions qui suivent, nous négligerons les inerties de rotation des éléments de la chaine de transmission et de la liaison au sol (roues). Nous supposons également un déplacement du VGA

respectant le profil de vitesses donné dans le **DOCUMENT RESSOURCE IV**, avec un temps de freinage identique au temps d'accélération ($t_3 = t_1$).

**Question 4.** Donner l'expression littérale la force $F$ de traction/propulsion disponible au niveau de la liaison au sol (réaction sol → VGA), en fonction des grandeurs fournies dans le **DOCUMENT RESSOURCE IV**.

**Question 5.** Considérant les forces résistantes $F_{RR}$, donner l'expression littérale de l'accélération maximale $a_{max}$ du VGA pour la première phase du trajet.

**Question 6.** Donner les expressions littérales du temps d'accélération $t_1$ et de la distance $d_1$ parcourue pendant la phase d'accélération avec l'accélération maximale $a_{max}$.

**Question 7.** Donner l'expression analytique et évaluer numériquement (à 0,1s près) le temps total de parcours du VGA entre deux positions successives de travail (parcours de longueur $L$, déterminée à la Question 2).

Le **DOCUMENT RESSOURCE V** présente schématiquement une configuration défavorable du robot en phase de travail ainsi que certaines caractéristiques de la cellule. On étudie ici la cellule en considérant le risque de basculement (glissement considéré impossible au niveau des plots de stabilisation). On considère également que tous les éléments de la cellule robotisée sont indéformables.

**Question 8.** En considérant le risque de basculement de la cellule, calculer l'effort de perçage ($F_p$) maximal admissible.

B. Compréhension et analyse de l'interface robot / structure à percer

Cette section va maintenant se focaliser sur l'interface entre la structure à percer et l'effecteur de perçage. Dans la plupart des cas, on a à réaliser un perçage d'un empilement de deux ou trois matériaux différents (tôles en alliages d'aluminium et/ou titane, matériaux composites, etc.). Les efforts sont donc variables pendant le perçage (voir **DOCUMENT RESSOURCE VI**). Lors de l'opération de perçage, des phénomènes dus aux efforts de perçage peuvent apparaitre et générer des défauts. Nous allons analyser ici ces phénomènes et les conditions pouvant éviter les défauts. Les différentes phases de l'opération, ainsi que le défaut qui peut être provoqué, peuvent être imaginés à partir du **DOCUMENT RESSOURCE VII**. Pour simplifier l'analyse, les deux tôles sont

représentées dans le **DOCUMENT RESSOURCE VIII** par des solides indéformables reposant sur des ressorts qui modélisent les souplesses locales des tôles au point ou le perçage est réalisé.

**Question 9.** Quel est le type de défaut lié aux déformations (à identifier sur le **DOCUMENT RESSOURCE I**, point 3) qui peut être provoqué par le processus de perçage décrit au point 1 du **DOCUMENT RESSOURCE VII**. Expliquer le mécanisme d'apparition de ce défaut et la manière dont le déroulement suggéré au point 2 du **DOCUMENT RESSOURCE VII**, pourrait l'éviter.

Avant le démarrage du perçage, le robot amène le nez de l'effecteur « accoster » la structure, puis le robot bloque ses axes (il s'immobilise) avant de réaliser le perçage par la mise en mouvement de l'axe de l'effecteur, qui porte le foret (**DOCUMENT RESSOURCE VIII**). On considère que les éléments de la cellule robotisée (VGA, robot, effecteur) sont indéformables.

Considérons le cas d'un perçage de diamètre 25,4 mm, réalisé dans un empilage de tôles AW-7075 (alliage d'aluminium) / Ti-6AI-4V (alliage de titane) avec une avance de 0,2 mm/tr. On précise également que la raideur de la tôle en alliage de titane est 1,5 fois plus grande que celle de la tôle en l'alliage d'aluminium ($k_2 = 1.5\ k_1$). Les phénomènes de frottement entre les tôles seront négligés.

**Question 10.** Déterminer l'expression littérale du déplacement local $\Delta L$ provoquée sur l'empilement de tôles par la force de précharge, appliquée par le nez d'effecteur lors de la phase d'« accostage » (on note cette force $F_{accostage}$).

**Question 11.** Déterminer pour cette phase l'expression littérale de l'effort au niveau du contact entre la deuxième et la première tôle ($F_{2\rightarrow1}$).

Le nez de l'effecteur a une position bloquée pendant la phase de perçage, après « accostage » (axes du robot bloqués, robot indéformable). On considère maintenant que le foret a déjà percé la première tôle, sur laquelle il n'exerce plus d'action, et il est engagé dans la deuxième. Notons $F_{p2}$ l'effort appliqué par le foret à la deuxième tôle (voir **DOCUMENT RESSOURCE VIII)**.

**Question 12.** Déterminer l'expression de la force d'accostage minimale nécessaire pour éviter la perte de contact entre les deux tôles (2) et (1), pendant la phase de perçage de la deuxième tôle. Evaluer numériquement cette force pour le cas de perçage considéré.

# II. Compréhension et analyse de la cinématique du perçage à assistance vibratoire

Le perçage avec assistance vibratoire ajoute des oscillations axiales afin de provoquer une interruption répétée de la coupe et fragmenter ainsi les copeaux, qui deviennent plus faciles à évacuer. L'analyse cinématique qui suit permettra de déduire les limitations des moyens d'assistance vibratoire, qui seront étudiées dans la Partie III.

Pour commencer, le **DOCUMENT RESSOURCE IX** présente la cinématique du perçage classique, ainsi que certaines relations trigonométriques utiles pour la suite. Pour une opération de perçage classique, notons $N$ [tr/min] la vitesse de rotation, $f$ [mm/tr] l'avance par tour (la distance parcourue axialement par le foret pendant qu'il effectue un tour complet) et $z$ [.] le nombre de dents ($z = 2$ pour toute application numérique dans ce document). On note également $f_z = f/z$, l'avance par dent.

**Question 13.** A partir des informations données dans le **DOCUMENT RESSOURCE IX**, et utilisant les notations données, exprimer la vitesse d'avance du foret, notée $v_a$, en fonction des paramètres de l'opération de perçage (vitesse de rotation $N$ et avance $f$, considérées ici constantes). Exprimer ensuite l'expression de l'épaisseur coupée $h$.

Considérons maintenant un mouvement d'avance composé d'un mouvement de vitesse constante $v_a$ (déterminée à la question précédente), auquel on ajoute une oscillation axiale d'amplitude notée $A$ et de pulsation $\omega_{osc}[\frac{\text{rad}}{\text{s}}] = 2\,\pi\, f_{osc}[Hz]$ :

$$x(t) = v_a\, t + A \sin(\omega_{osc}\, t)$$

**Question 14.** A partir des explications données dans le **DOCUMENT RESSOURCE X** et des formules données dans le **DOCUMENT RESSOURCE IX**, déterminer l'expression de l'épaisseur coupée $h(t)$ en présence d'oscillations axiales.

On note $\eta = \frac{\omega_{osc}}{z\,\omega_{rot}}$, quantité qui représente le nombre d'oscillations par passage d'arête.

**Question 15.** Prouver que l'épaisseur coupée à l'instant $t$ s'écrit :

$$h(t) = f_z + 2\,A\,sin(\pi\,\eta)\cos(\omega_{osc}t + \pi\,\eta)$$

**Question 16.** La fragmentation du copeau intervient si l'épaisseur coupée devient nulle. A partir de la question précédente, prouver qu'il existe fragmentation du copeau si et seulement si :

$$\frac{A}{f_z/_2}|sin(\pi\,\eta)| \geq 1$$

**Question 17.** Quelle est donc l'amplitude minimale des oscillations qui peut provoquer la fragmentation ? Pour quelles valeurs de $\eta$ peut-t-on fragmenter à cette amplitude minimale ?

# III. Compréhension et analyse de l'effecteur

L'effecteur doit procurer une assistance vibratoire efficace à la fois pour les opérations de perçage des trous de grands diamètres (grandes avances par tour et faibles fréquences de rotation) et de petits diamètres (grandes vitesses de rotation et faibles avances par tour). Pour cela, sa conception intègre deux modes de fonctionnement distincts. Cette partie étudie la conception de l'effecteur de perçage. Les questions vont progressivement permettre sa compréhension globale, pour faciliter ensuite une étude des deux modes de fonctionnement en perçage assisté par vibrations.

Le **DOCUMENT RESSOURCE XI** présente un modèle CAO et une nomenclature simplifiée de l'ensemble « effecteur ». Le système comporte trois actionneurs : deux moteurs électriques et un actionneur piézoélectrique. Ce dernier, logé à l'arrière de l'effecteur, peut générer un mouvement axial de faible course (environ 0,13 mm) mais avec une capacité de génération d'effort très important. Le **DOCUMENT RESSOURCE XII** donne un schéma cinématique de la solution adoptée. Le pas de la liaison hélicoïdale (vis à bille / écrou) est $p$ = 5 mm.

A. Compréhension générale de l'effecteur

**Question 18.** Compléter le tableau sur le document réponse afin de mettre en correspondance la nomenclature produit (**DOCUMENT RESSOURCE XI**) et la nomenclature cinématique (**DOCUMENT RESSOURCE XII)**.

**Question 19.** Calculer le degré d'hyperstatisme de l'effecteur, en utilisant le schéma cinématique fourni dans le **DOCUMENT RESSOURCE XII**.

**Question 20.** Quels sont les avantages et les inconvénients d'un système hyperstatique ?

Le **DOCUMENT RESSOURCE XIII** permet d'estimer les caractéristiques mécaniques d'une pièce appelée « flector » (composant **(B)** qui assure à elle seule la liaison entre les composants **(J)** et **(C)** sur le **DOCUMENT RESSOURCE XI**).

**Question 21.** Compléter le schéma cinématique du document réponse avec la modification nécessaire (zone délimitée par le rectangle pointillé) pour prendre en compte les caractéristiques du composant **(B)** (« flector »).

**Question 22.** Calculer le nouveau degré d'hyperstatisme de l'effecteur sur la base du schéma complété à la question précédente.

**Question 23.** Proposer d'autres modifications possibles du schéma cinématique afin de réduire le degré d'hyperstatisme.

B. Analyse cinématique / génération d'oscillations par les deux moteurs électriques

Comme expliqué dans l'introduction du sujet, l'effecteur de perçage permet d'apporter une assistance vibratoire par deux moyens distincts : en pilotant convenablement les deux moteurs intégrés ou en utilisant un actionneur piézoélectrique. Ce dernier est capable de générer un mouvement axial de faible amplitude, à fréquences élevées, même face à des forces résistantes importantes. Le **DOCUMENT RESSOURCE XIV** montre l'évolution temporelle du déplacement du foret lorsque les deux mécanismes d'assistance sont activés. Cet essai de démonstration ne fait que mettre en évidence les deux actions distinctes ; un seul moyen de génération d'oscillations sera activé pour une opération donnée, en fonction des caractéristiques de cette opération.

**Question 24.** A partir du concept présenté (**DOCUMENT RESSOURCE XI** et **DOCUMENT RESSOURCE XII**), considérant l'actionneur piézoélectrique désactivé (écrou à position axiale fixe), écrire la relation analytique de la vitesse d'avance $V_{5/0}$ en fonction de $N_1$ [tr/min] (vitesse de rotation du moteur de rotation **M1**), $N_2$ [tr/min] (vitesse de rotation du moteur d'avance **M2**) et $p$ (pas de la vis à bille en mm).

**Question 25.** Pour une opération de perçage classique (avance constante $f$ [mm/tr], vitesse de rotation $N_1$ [tr/min] du foret constante), déterminer l'expression littérale de la vitesse de rotation $N_2$ [tr/min] que le moteur d'avance **M2** doit imposer.

**Question 26.** Les deux moteurs sont dotés de codeurs incrémentaux rotatifs. Quelle doit être la résolution des codeurs (exprimée en points / tour, codeurs identiques sur les deux moteurs) pour obtenir une résolution de positionnement de l'outil de 0,01mm ?

**Question 27.** Déterminer l'expression de la position du foret $x_{5/0}(t)$ dans le cas où l'on considère une oscillation de la vitesse de rotation du moteur **M2**, d'amplitude $N_{osc}$ [tr/min] et de fréquence $\omega_{osc}[rad/s]$, ajoutée à la valeur $N_2$ calculée à la Question 25 :

$$N_2^*(t) = N_2 + N_{osc} \cos(\omega_{osc}\, t)$$

Afin d'obtenir la fragmentation des copeaux, nous allons utiliser un régime caractérisé par la fréquence et l'amplitude des oscillations axiales suivantes :

- fréquence des oscillations imposées : $f_{osc} = 0.5 \cdot z \cdot f_{rot}$
- amplitude des oscillations imposées : $A = {f_z}/{2}$

où :

$z$ représente le nombre d'arêtes du foret ($z = 2$ pour toute application numérique dans ce document), $f_{rot}$ représente la fréquence de rotation de l'outil exprimée en [Hz] (ou [tour/s]) et $f_z = f / z$ représente l'avance par dent de l'opération de perçage.

**Question 28.** Quelles sont les expressions de $N_{osc}$ et $\omega_{osc}$ à imposer pour obtenir ce régime vibratoire ?

Des évaluations rapides montrent que même avec les meilleurs moteurs et en diminuant les inerties autant que possible, la génération d'oscillations avec les moteurs électriques est restreinte à des opérations de perçage à faibles vitesses de rotation (de trous de grands et moyens diamètres), car la fréquence d'oscillations possibles est limitée par le couple moteur disponible. Pour des opérations nécessitant une vitesse de rotation importante (petits diamètres, faibles avances) l'effecteur sera alors capable de générer les oscillations nécessaires en utilisant l'actionneur piézoélectrique intégré.

C. Analyse cinématique / génération d'oscillations par actionneur piézoélectrique

Nous considérons maintenant des vitesses constantes des deux moteurs électriques, pouvant assurer (si l'actionneur piézoélectrique était désactivé) une opération de perçage à vitesse de rotation $N$ [tr/min] et d'avance $f$ [mm/tr]. Nous considérons ensuite que l'actionneur piézoélectrique ajoute une oscillation axiale de la forme :

$$x_{6/0}(t) = A \sin(2\,\pi\,\omega_{osc} t)$$

Le fonctionnement et les caractéristiques de l'actionneur piézoélectrique sont décrits dans le **DOCUMENT RESSOURCE XV**.

Un actionneur piézoélectrique ne supporte pas bien les contraintes de traction. Il faut à tout moment le placer en sollicitation de compression afin de garder son intégrité. On peut donc l'utiliser en régime dynamique (oscillations) si on lui applique une précharge suffisante, ce qui est généralement réalisé à l'aide d'un ou plusieurs ressorts. Le **DOCUMENT RESSOURCE XVI** présente un modèle simplifié de notre système, intégrant la précharge de l'actionneur. L'action d'excitation obtenue par

effet piézoélectrique est modélisée par la force $F_e$ ($t$), appliquée sur l'extrémité de l'actionneur en contact avec les masses en mouvement.

**Question 29.** On considère un mouvement lent imposé par l'actionneur piézoélectrique, commandé par une tension qui varie entre 0 et sa tension d'excitation maximum $U_{max}$, en absence de force de perçage. Quelle est l'expression de la course maximale obtenue si l'actionneur est préchargé avec des ressorts de raideur totale $k$ [N/m] ?

**Question 30.** On veut que l'actionneur conserve une course importante. Quelle est donc la condition que nous devons imposer à la raideur totale des ressorts utilisés pour réaliser la précharge ?

On admettra par la suite que l'effort de précharge est constant (variation négligeable pendant l'oscillation). On doit générer une oscillation à $f_{osc}$ = 300Hz, d'amplitude de $A$ = 40µm, imposée à l'aide de l'actionneur spécifié (**DOCUMENT RESSOURCE XV**). Pour sécuriser et faciliter la commande de l'actionneur piézoélectrique, on préconise une fréquence d'oscillation maximum de 1/3 de la fréquence de résonance du système.

**Question 31.** Quelle est l'expression de la force de précharge à imposer pour maintenir le contact entre l'actionneur et la masse m (ensemble de pièces mises en mouvement) pendant l'opération ? Donner l'expression littérale et la valeur numérique approximative (à 10N près).

**Question 32.** Quelle est la fréquence de résonance de ce système mécanique, en considérant qu'il n'y a pas de frottement et que la raideur du ressort de précharge est très faible par rapport à la raideur de l'actionneur ? Conclure sur la capacité du système à générer l'assistance vibratoire avec l'amplitude et la fréquence spécifiées.

D. Analyse de la partie commande de l'actionneur piézoélectrique

D'un point de vue électrique, lorsqu'on opère un système piézoélectrique à une fréquence bien inférieure à sa fréquence de résonance, l'actionneur peut être considéré comme une charge purement capacitive. La capacité électrique de notre actionneur est de 3µF. Le **DOCUMENT RESSOURCE XVII** présente un schéma simplifié d'une électronique de puissance capable de piloter l'actionneur piézoélectrique. Il s'agit d'une électronique utilisant des convertisseurs à découpage (principe de MLI = modulation de largeur d'impulsion).

Le rôle du bloc B1 est de fournir une tension de bus continu ($U_{DC}$ = 1000V) à partir d'un réseau de distribution en courant alternatif monophasé 230V/50Hz (convertisseur AC/DC).

**Question 33.** Donner les noms usuels et les rôles des blocs B2 et B3.

L'actionneur piézoélectrique étant assimilé à une capacité pure, il supporte très mal des discontinuités de la tension appliquée à ses bornes. De plus, il est capable d'exciter à très hautes fréquences les systèmes mécaniques dans lesquels il est intégré, si ces fréquences se trouvent dans le spectre de sa tension d'alimentation. Pour ces raisons, une inductance de sortie $L_F$ est placée dans le bloc B2 en série avec l'actionneur, afin de filtrer la tension appliquée aux bornes de l'actionneur.

**Question 34.** Nous souhaitons régler la fréquence de filtrage à $f_F$ = 3000 Hz. Donner l'expression de la valeur de l'inductance $L_F$ nécessaire et sa valeur approximative (à 0,1mH près) ?

**Question 35.** Quelle doit être l'expression et la valeur de la résistance de cette inductance (ou une résistance $R$, non représentée sur le schéma), à ajouter en série avec $L_F$ et $C_p$, si on souhaite obtenir un facteur d'amortissement $z$ = 0,25 pour ce filtre ?

**Question 36.** Nous souhaitons que ce filtre ait une atténuation de -40 dB de la tension de MLI (1000V). Quelle doit être la fréquence de découpage (MLI) nécessaire ?

E. Analyse de nouvelle solution et dessin technique

Le dessin du document réponse de la **Question 38** précise les références des roulements choisis pour la réalisation technologique de la butée axiale entre le coulisseau (**O**) et l'écrou à billes (**J**) (identifiables sur le **DOCUMENT RESSOURCE XI**). Cette solution doit permettre la transmission des efforts axiaux fournis par l'actionneur piézoélectrique (non tournant) lors d'une opération de perçage avec assistance vibratoire, tout en permettant la rotation de l'écrou à billes (vitesse de rotation max 15 000 tr/min). Cette solution doit également transmettre l'effort de précharge nécessaire au fonctionnement de l'actionneur piézoélectrique (8 kN). La précharge est réalisée avec de rondelles élastiques (Belleville).

**Question 37.** A partir des informations données ci-dessus et de la cotation donnée sur le **DOCUMENT RESSOURCE XX**, justifier le choix des références de roulements retenus pour la solution technologique adoptée (dessin sur le document réponse à la **Question 38**) parmi l'ensemble des références données dans le **DOCUMENT RESSOURCE XVIII** et **DOCUMENT RESSOURCE XXI**.

**Question 38.** Compléter le dessin du document réponse, en représentant correctement chacun des roulements et les pièces manquantes, afin d'obtenir une solution adaptée. Remarque : certains traits ont été volontairement grisés pour la clarté de votre dessin.

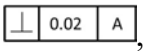
**Question 39.** Justifier la proposition que vous avez faite à la **Question 38** concernant la disposition des roulements (position des centres de poussée) pour les deux roulements 7205 CD/HCP4A ainsi que pour le roulement 7206 AC/CBM.

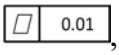
**Question 40.** Justifier le choix de la solution de montage des rondelles élastiques (Belleville) en « série » plutôt qu'en « parallèle ».

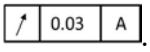
# IV. Industrialisation de la fabrication d'un composant mécanique

Nous allons dans cette partie étudier la mise en œuvre et le contrôle de la pièce notée **O** (coulisseau de l'actionneur piézoélectrique) sur la vue d'ensemble de l'effecteur (**DOCUMENT RESSOURCE XI**). La mise en plan 2D ainsi que la cotation de cette pièce sont données sur le **DOCUMENT RESSOURCE XX**.

A. Analyse des spécifications fonctionnelles

**Question 41.** Sur le document réponse, renseigner les grilles GPS pour chacune des trois spécifications 

, 

, 

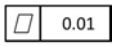
.

B. Analyse des matériaux et de la gamme de fabrication

**Question 42.** Expliquer les principes et les différentes phases des procédés de traitement par cémentation et trempe superficielle.

**Question 43.** Parmi les trois propositions, sélectionner et justifier sur le document réponse, le(s) ordonnancements(s) d'opérations admissibles pour obtenir les spécifications géométriques et les caractéristiques mécaniques souhaitées.

C. Contrôle de spécifications de la pièce

La planéité 

est contrôlée à partir de la mesure de 8 points répartis judicieusement sur la surface (**DOCUMENT RESSOURCE XXI**).

Le contrôle de la spécification s'appuie sur le balançage d'un plan théorique pour identifier le plan qui minimise les écarts $e_i$ avec chacun des points mesurés $M_i$. Cette méthode dite « des petits déplacements » est basée sur l'hypothèse que le balançage du plan initial est réalisé par des petits déplacements de $\gamma$ et v.

**Question 44.** A partir du schéma du **DOCUMENT RESSOURCE XXI**, écrire l'équation vectorielle permettant de calculer $e_i$ en fonction de $d_i$ et $\xi i$.

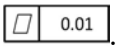
**Question 45.** Quelles hypothèses pouvez-vous émettre pour simplifier et obtenir le torseur des petits déplacements donné sur le **DOCUMENT RESSOURCE XXI**.

**Question 46.** Ecrire l'expression analytique permettant de calculer $e_i$ en fonction de $\xi i$, $\gamma$ et v.

Afin de trouver la position du plan minimisant l'ensemble des écarts, nous utilisons le critère des moindres carrés qui consiste à trouver la solution minimale de $W=\Sigma e_i^2$ par rapport à $\gamma$ et v.

**Question 47.** Ecrire sous forme littérale matricielle le système d'équation à résoudre pour trouver l'optimum de $\gamma$ et v en fonction de $\xi i$ et de $x_i$.

**Question 48.** Calculer les valeurs de $\gamma$ et v.

**Question 49.** Le document ressource donne le tableau avec les valeurs $e_i$ optimisées. Conclure quant à la spécification de planéité 

.

Fin de l'épreuve

IMPRIMERIE NATIONALE – 21 1063 – D'après documents fournis

# Épreuve de Sciences Industrielles C

# DOCUMENTS RESSOURCES

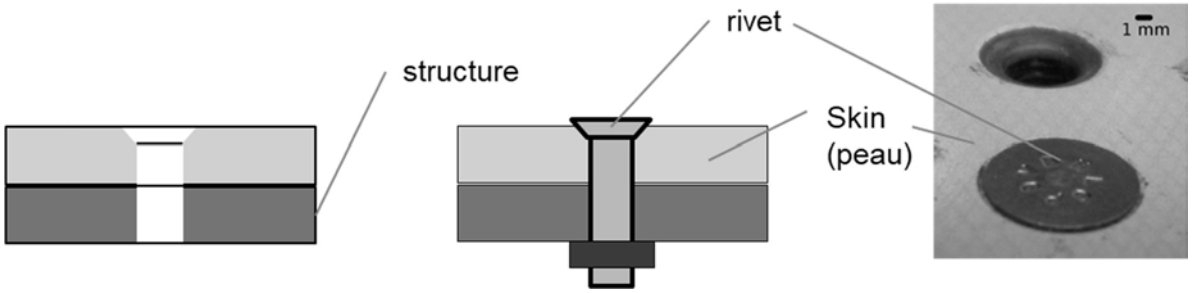
**21 documents ressources**

**Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.**

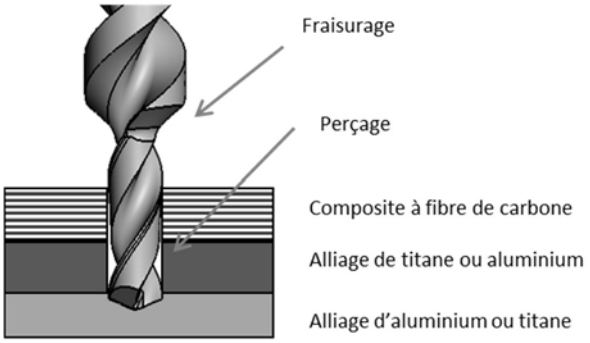
**DOCUMENT RESSOURCE I**

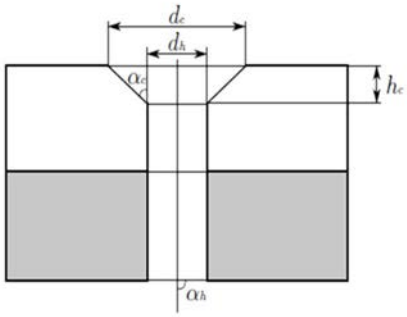
Description des opérations de perçage des structures d'avion

## 1. Rivetage de structures aéronautiques

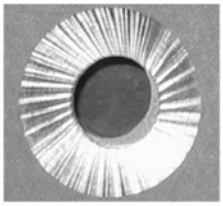



## 2. Opération de perçage typique nécessaire aux assemblages de structures d'avion



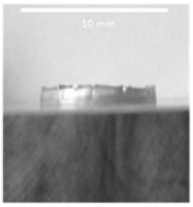

## 3. Différents types de défauts pouvant apparaitre sur les lignes d'assemblage, à la suite d'un processus non-maîtrisé



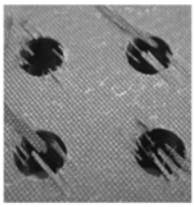
A. Fraisure vibrée



B. Copeaux à l'interface



C. Bavures (en sortie ou à l'interface)



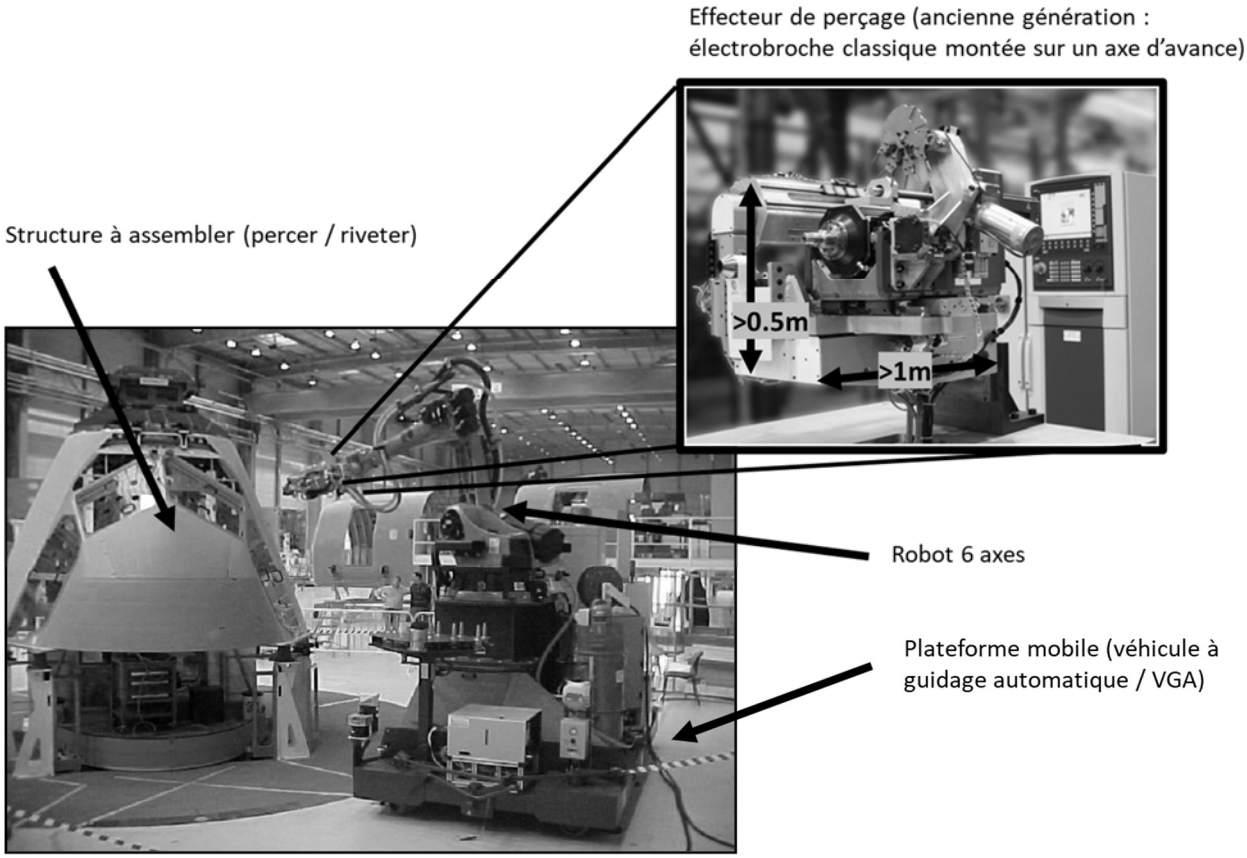
D. Ecaillages (composites)

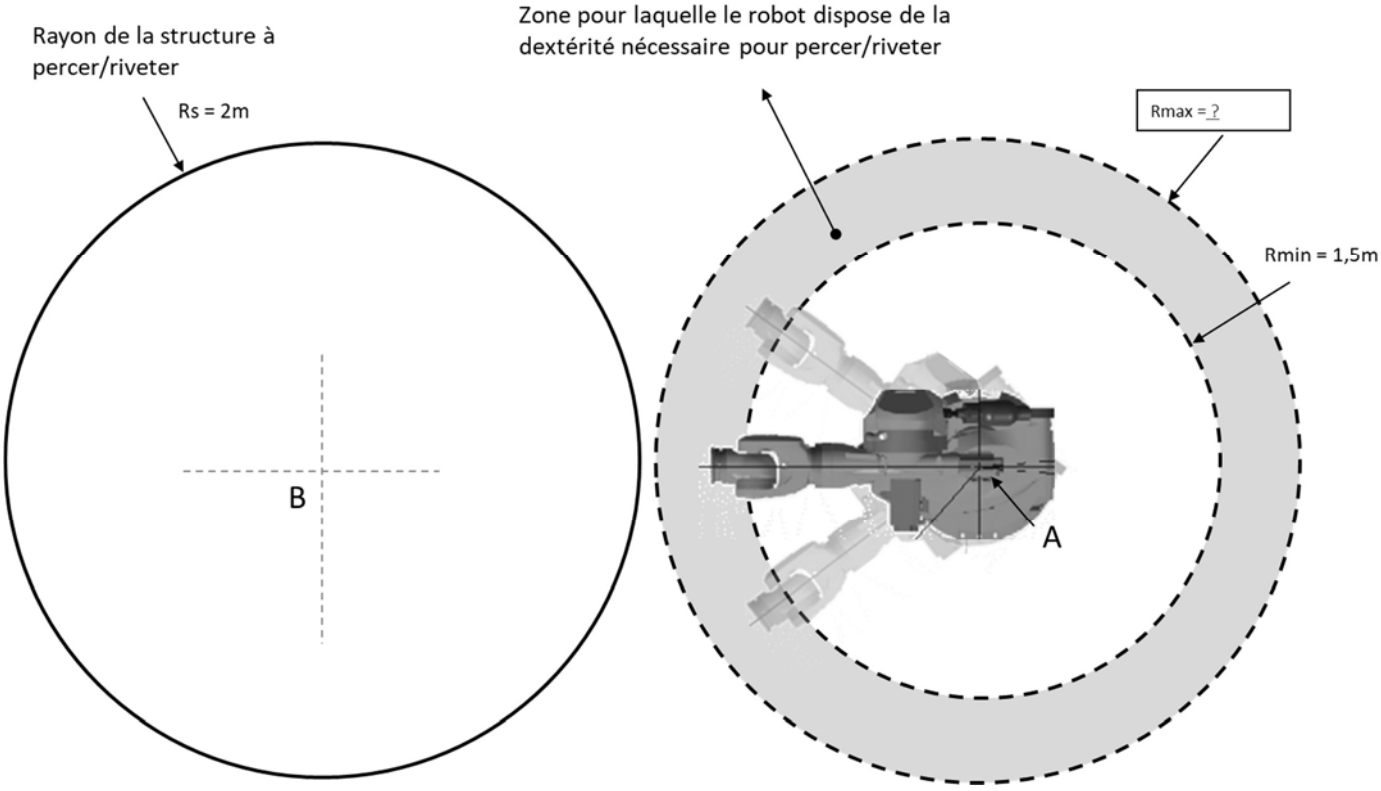


E. spécifications hors tolérances

**DOCUMENT RESSOURCE II**

Vue d'ensemble d'une cellule robotisée






Tournez la page S.V.P.

**DOCUMENT RESSOURCE III**

Relations mathématiques au sein des triangles (rappels)

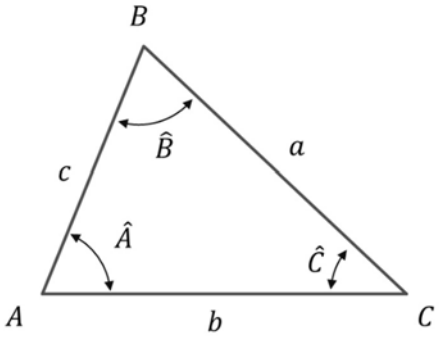
Soit ABC un triangle tel que BC = *a*, AC = *b* et AB = *c*. On note $\widehat{A}$, $\widehat{B}$ et $\widehat{C}$ les angles du triangle.

Notations :

*p* = (*a* + *b* + *c*) / 2 désigne le demi-périmètre,

S designe l'aire du triangle,

R désigne le rayon du cercle circonscrit au triangle.




1. Somme des angles d'un triangle

$$\hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = 180°$$

2. Inégalités triangulaires (A, B et C non colinéaires)

$$|b - c| < a < b + c$$

3. Formules d'Al Khashi (théorème de Pythagore généralisé, ou loi du cosinus)

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2\,b\,c\cos(\widehat{A})$$

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2\,c\,a\cos(\widehat{B})$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2\,a\,b\cos(\widehat{C})$$

4. Loi des sinus (R est le rayon du cercle circonscrit au triangle, S est l'aire du triangle)

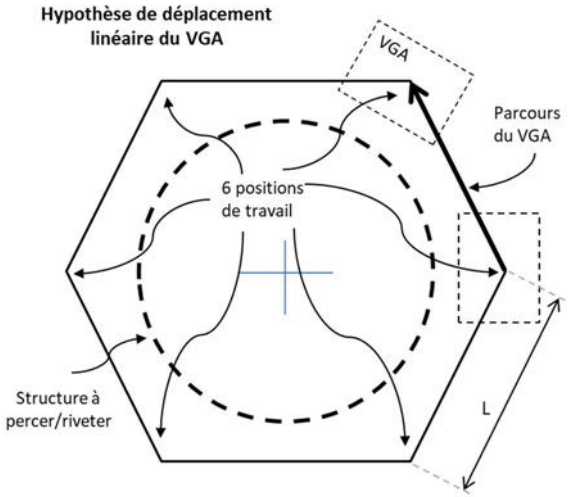
$$\frac{a}{\sin(\widehat{A})} = \frac{b}{\sin(\widehat{B})} = \frac{c}{\sin(\widehat{C})} = \frac{a\,b\,c}{2\,\mathrm{S}} = 2\,R$$

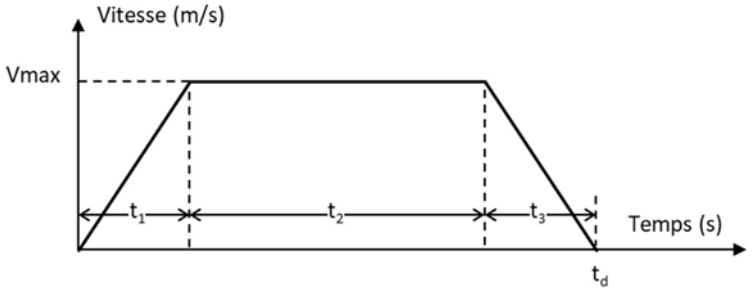
5. Formule de Héron d'Alexandrie (p est le demi-périmètre)

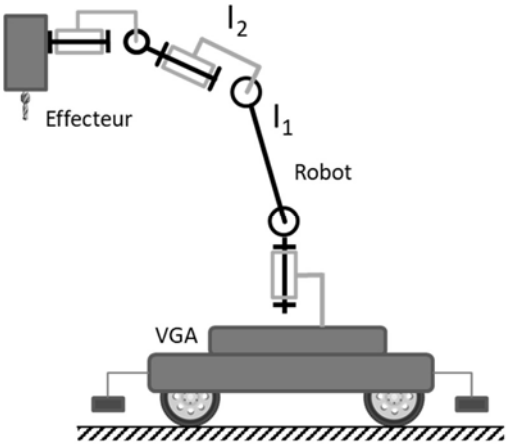
$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

**DOCUMENT RESSOURCE IV**

Parcours et caractéristiques de la cellule robotisée



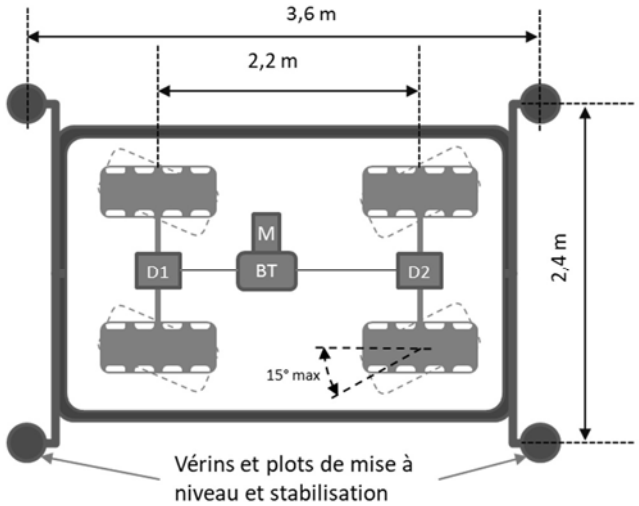




**Résistance au roulement et coefficient de résistance au roulement**
Le coefficient de Résistance au Roulement d'un pneu ($C_{RR}$), relie la force de résistance au roulement ($F_{RR}$) à la charge ($F_Z$). Dans l'industrie automobile, ce coefficient est exprimé en kg/t. La résistance au roulement d'un pneu ($F_{RR}$) est égale au coefficient de résistance au roulement ($C_{RR}$) multiplié par la charge portée par les pneus ($F_Z$).

$$F_{RR} = C_{RR} \times F_Z$$

La masse du robot est de 2440kg
La masse du VGA est de 1250kg
La masse de l'effecteur est de 300kg (ancienne génération)
Le VGA possède 4 pneus Michelin Energy Saver +, R = 250 mm, avec un coefficient $C_{RR}$ = 8,1 kg/t




**M = moteur électrique synchrone à aimants permanents :**
Pmax fournie = 10 kW
Nmax = 3000 tr/min
Cmax = 31 N.m, constant sur toute la plage de vitesses

**BT = boite de transmission**
Rendement $\eta_b$ = 0,87
Rapports de transmission (= $N_{sortie}/N_{entrée}$) identiques vers les deux essieux : $i_b$ = 1/10

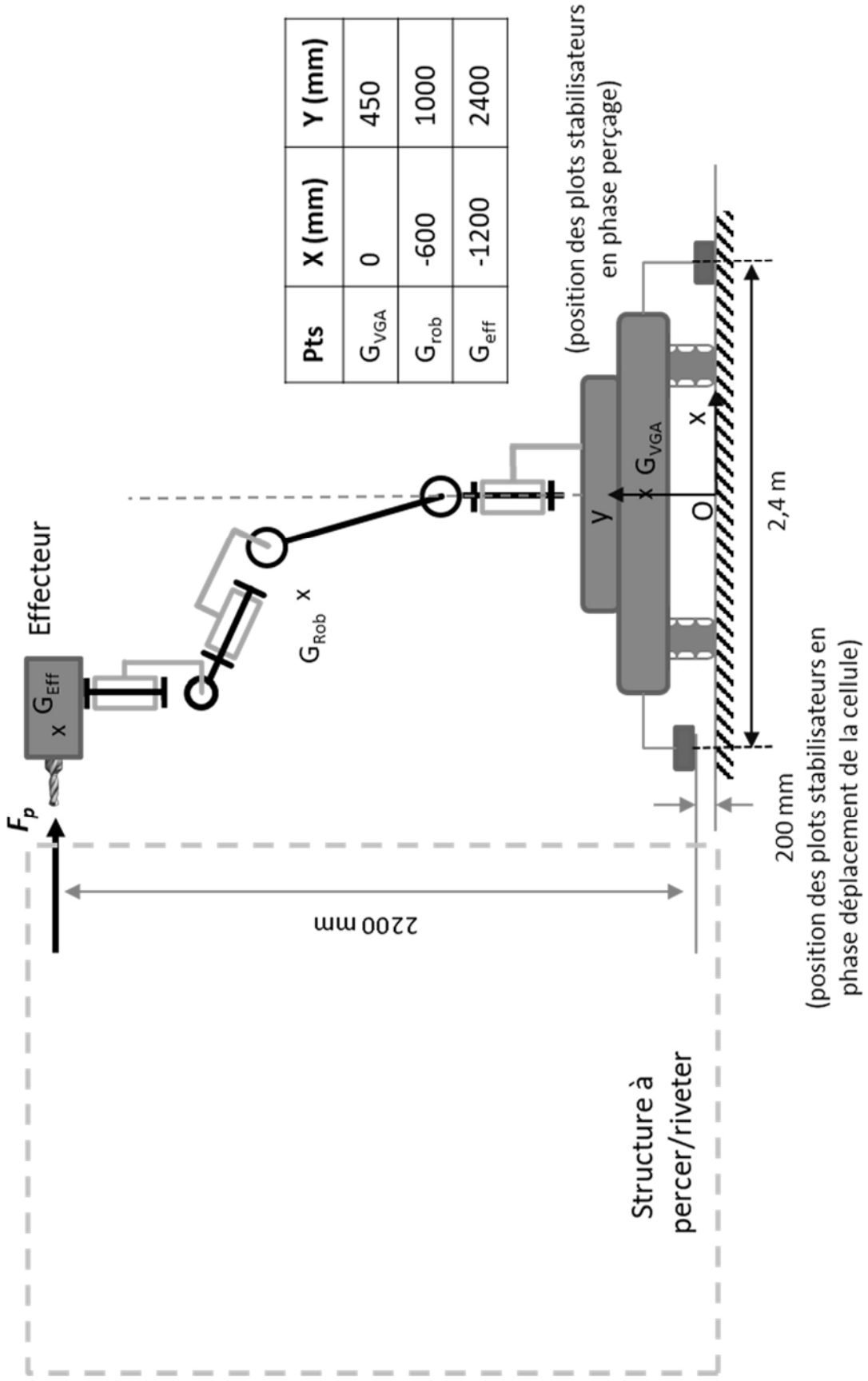
**D1, D2 = différentiels (identiques)**
Rendement $\eta_d$ = 0,92
Rapport de transmission (= $N_{sortie}/N_{entrée}$) : $i_d$ = 1/5



Tournez la page S.V.P.

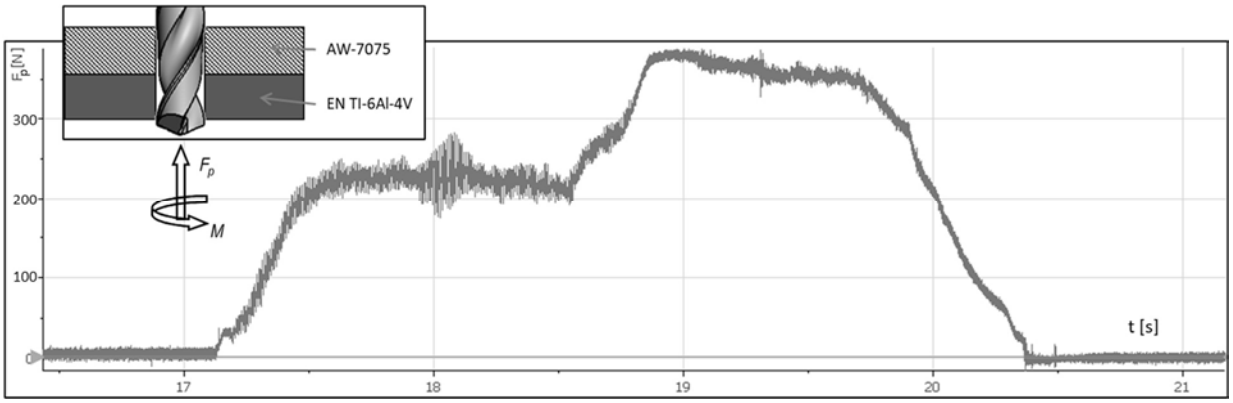
**DOCUMENT RESSOURCE V**

Position de la cellule en phase de perçage

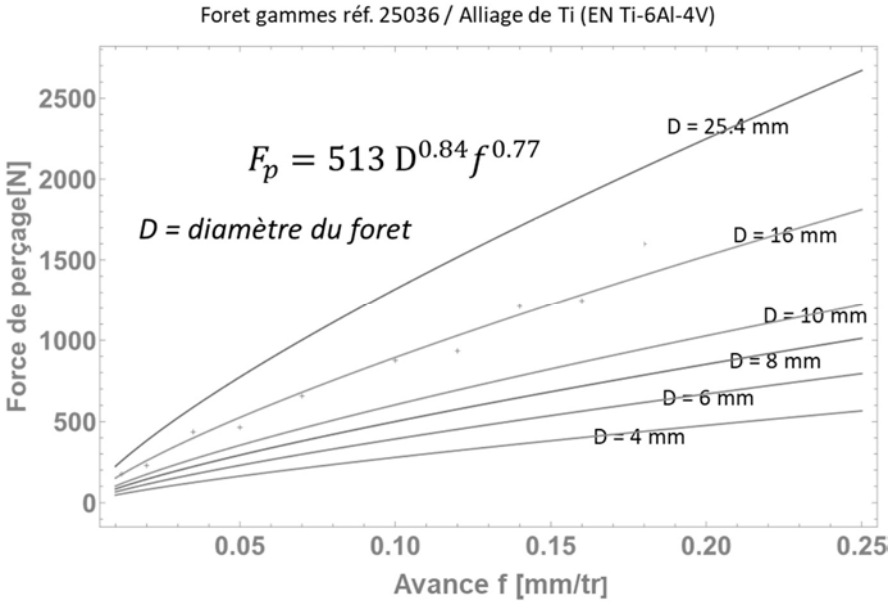


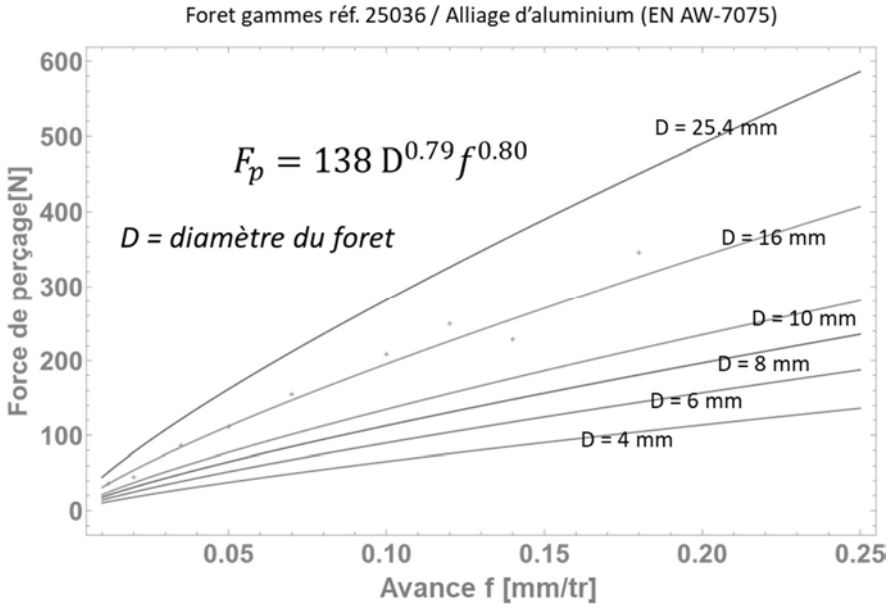
**DOCUMENT RESSOURCE VI**

Forces de perçage (empilement multi-matériaux)




*Exemple d'évolution de la force axiale lors du perçage d'un empilement de matériaux*



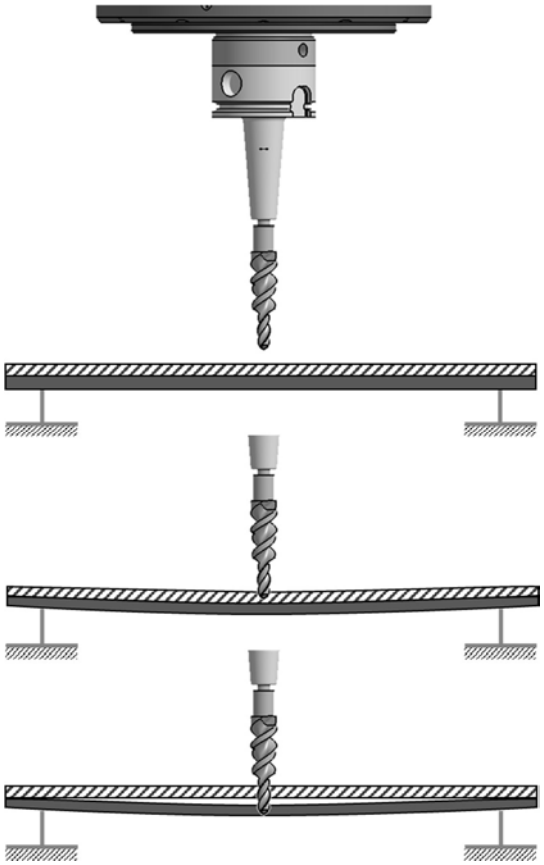



Tournez la page S.V.P.

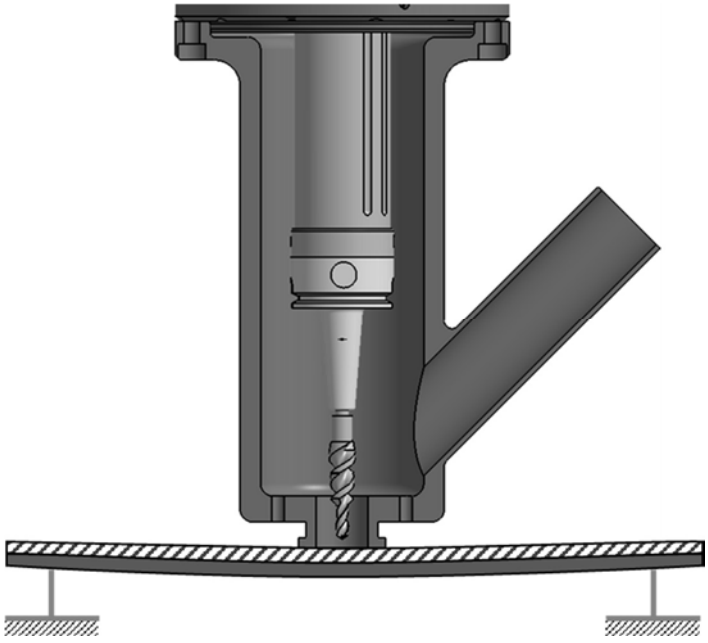
**DOCUMENT RESSOURCE VII**

Stratégies de perçage d'empilements multi-matériaux

1. **Perçage d'empilements de multi-matériaux sur systèmes « classiques »**

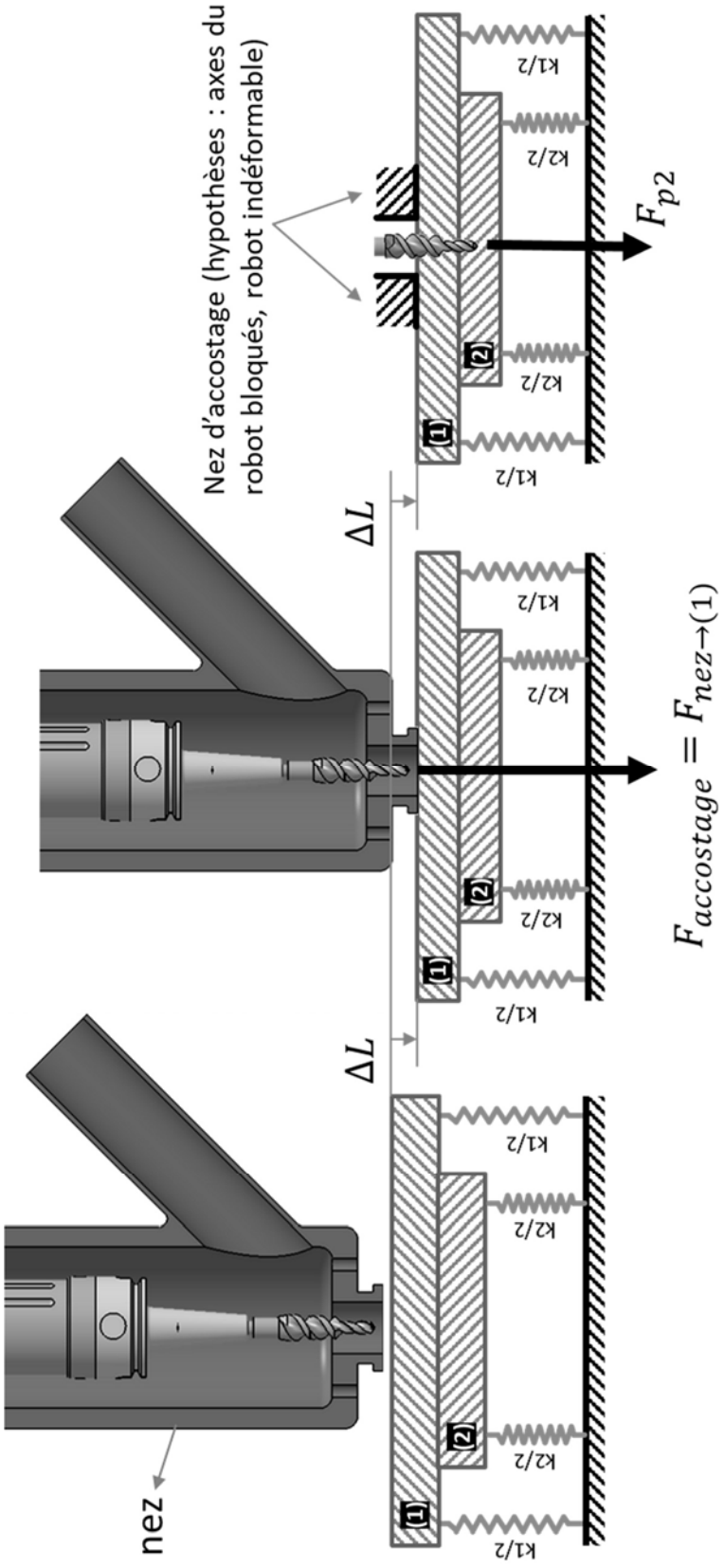


2. **Perçage d'empilements de multi-matériaux avec un effecteur doté de nez d'accostage**



**DOCUMENT RESSOURCE VIII**

Perçage d'empilements de multi-matériaux (tôles) : modélisation simplifiée





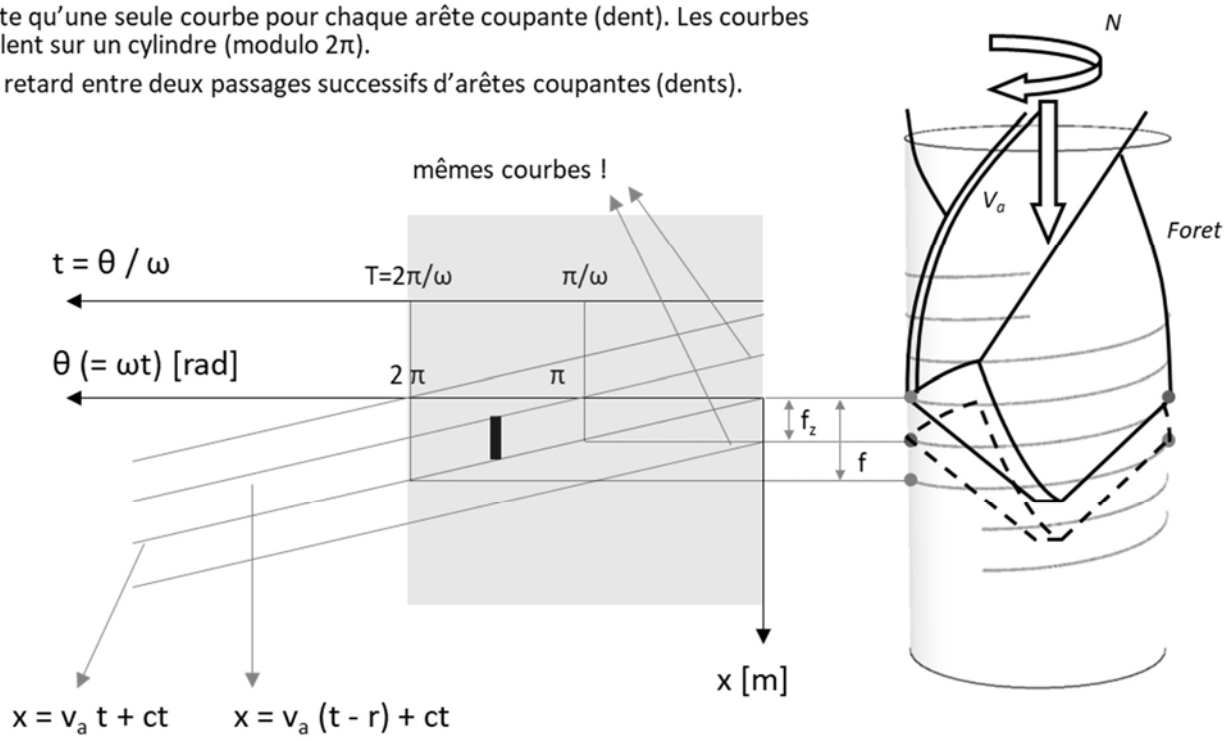

Tournez la page S.V.P.

**DOCUMENT RESSOURCE IX**

Cinématique du perçage classique

Il n'existe qu'une seule courbe pour chaque arête coupante (dent). Les courbes s'enroulent sur un cylindre (modulo 2π).

r est le retard entre deux passages successifs d'arêtes coupantes (dents).




Le retard *r* entre deux passages de dents dépend du nombre *z* de dents du foret (généralement 2). Elle vaut la demi-période du mouvement de rotation :

$$r = \frac{\mathrm{T}}{z} = \frac{1}{f_{rot}\,\mathrm{z}} = \frac{60}{N\,\mathrm{z}} = \frac{2\pi}{\omega_{rot}\,z}$$

où $f_{rot}$ est la fréquence du mouvement de rotation en Hz. L'épaisseur coupée s'écrit :

$$\mathrm{h(t)} = \mathrm{x(t)} - \mathrm{x(t-r)}$$

où x(t) est le mouvement relatif outil / pièce. Cette formule peut être utilisée pour calculer l'épaisseur coupée à chaque instant *t*.

Rappels de certaines formules trigonométriques utiles pour les calculs :

$$\cos(a) + \cos(b) = 2\cos\left(\frac{a+b}{2}\right)\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

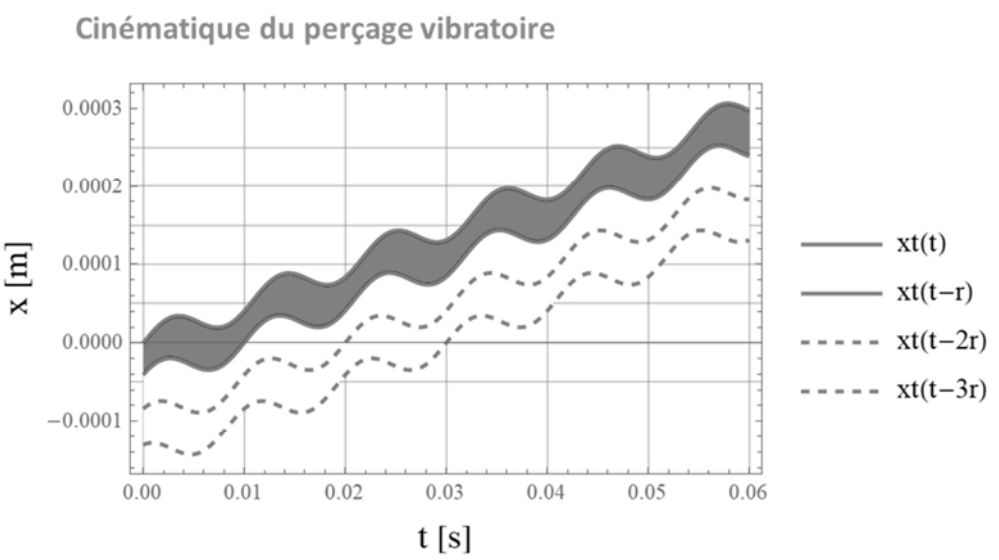
$$\cos(a) - \cos(b) = -2\sin\left(\frac{a+b}{2}\right)\sin\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

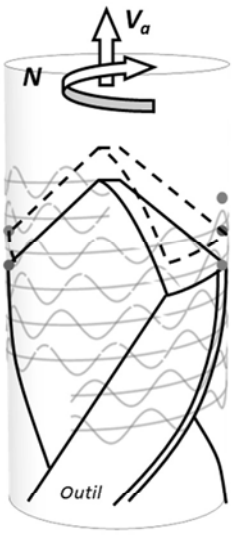
$$\sin(a) + \sin(b) = 2\sin\left(\frac{a+b}{2}\right)\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

$$\sin(a) - \sin(b) = 2\cos\left(\frac{a+b}{2}\right)\sin\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

**DOCUMENT RESSOURCE X**

Cinématique du perçage assisté par vibrations



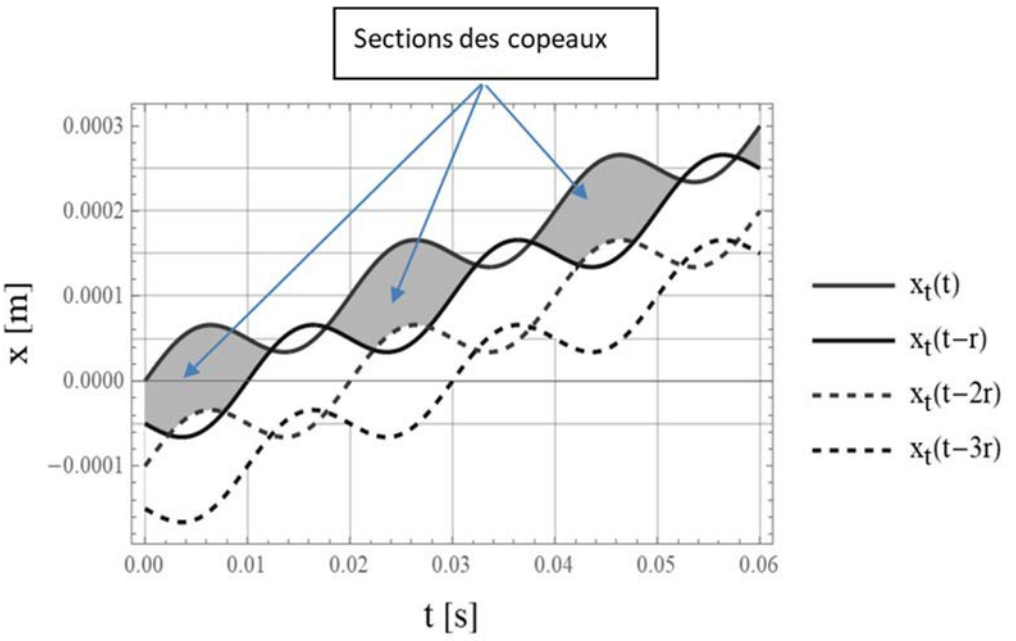




$A$ – amplitude d'oscillations

$f_{osc}$ – fréquence d'oscillations

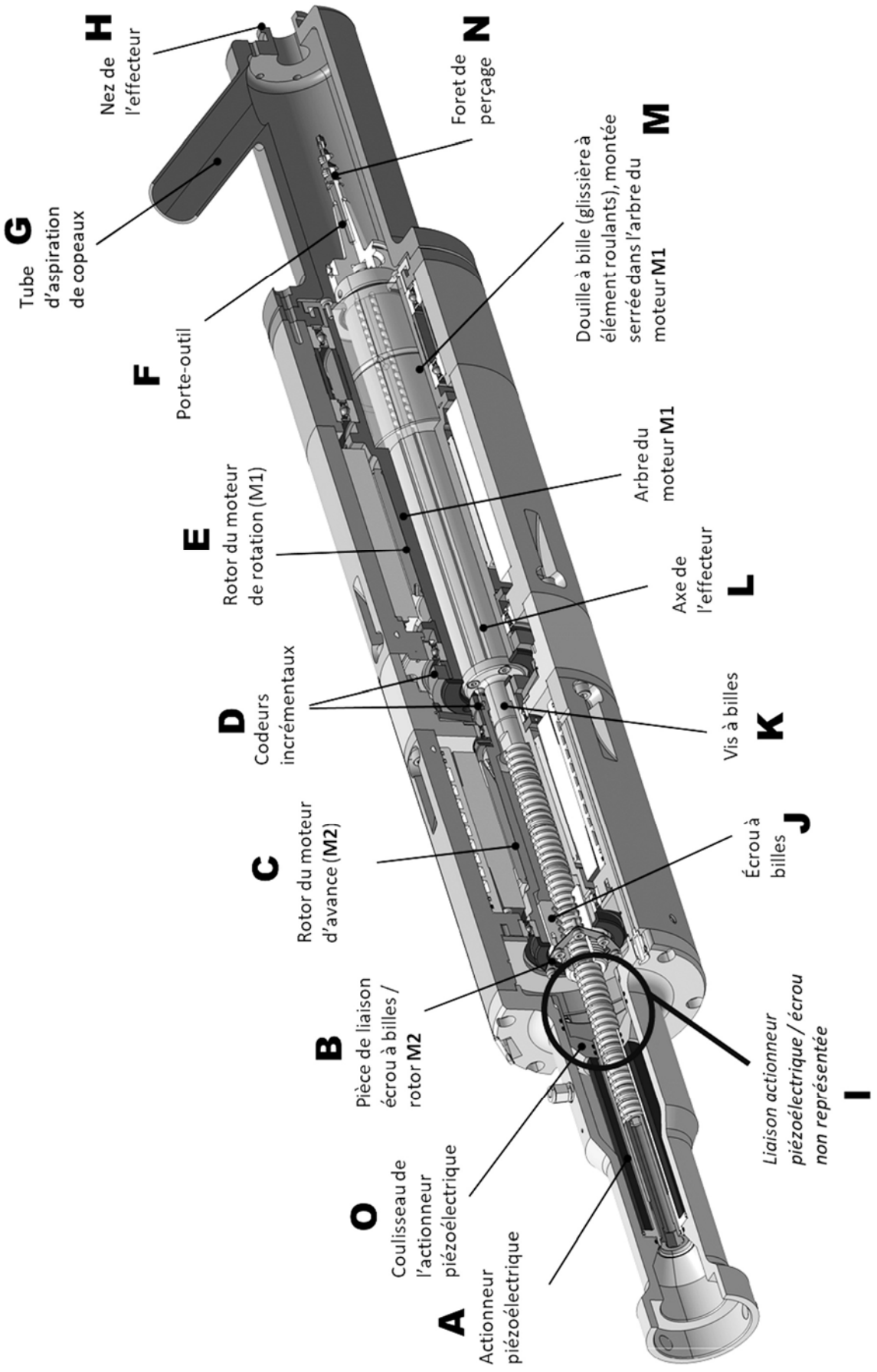
$$x_t(t) = x_a(t) + x_v(t) = x_a(t) + A\sin(2\pi f_{osc}\, t)$$

L'objectif du réglage des oscillations est de fragmenter le copeau, en faisant intersecter la trajectoire d'une arête coupante (dent) avec celle de l'arête précédente :



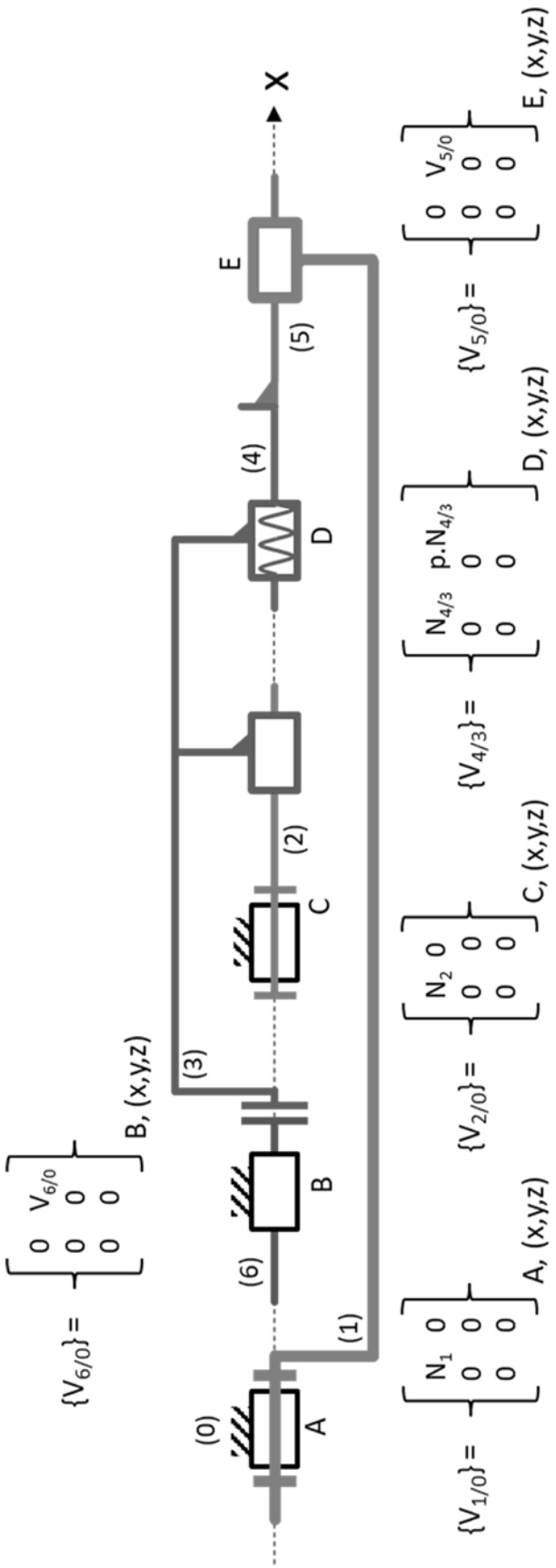
**DOCUMENT RESSOURCE XI**

Vue d'ensemble et nomenclature simplifiée de l'effecteur



**DOCUMENT RESSOURCE XII**

Schéma cinématique de la solution actuelle de l'effecteur






Tournez la page S.V.P.

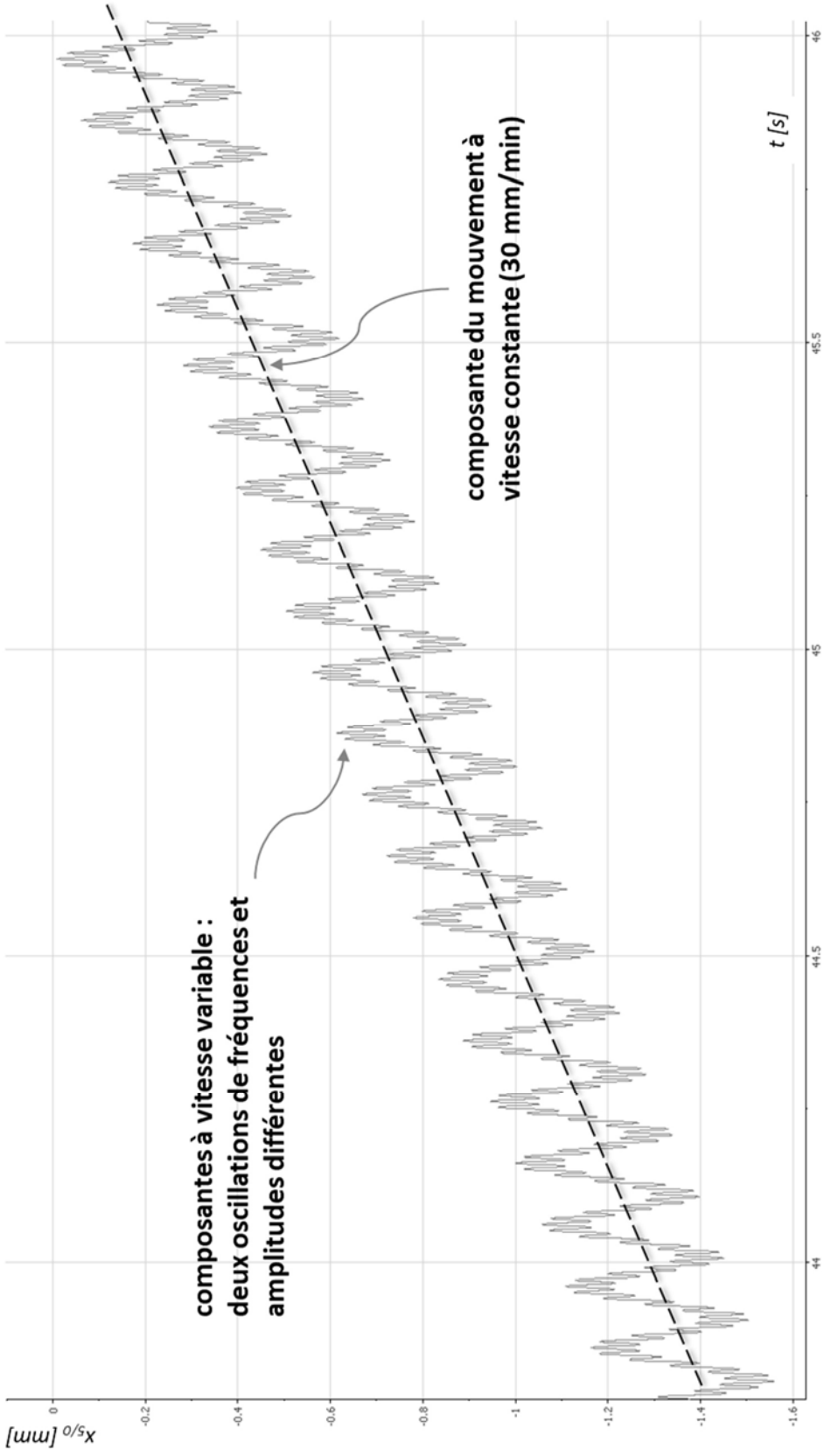
**DOCUMENT RESSOURCE XIII**

Description du composant « flector », pièce **(B)** sur **DOCUMENT RESSOURCE XI**

**DOCUMENT RESSOURCE XIV**

Déplacement du foret avec les deux assistances vibratoires (essai de démonstration)

*assistance électrique : ($N_{osc}$ = 100 rpm, $f_{osc}$ = 10Hz) + assistance piézoélectrique (U = 0-900 V, $f_{osc}$ = 100Hz)*






Tournez la page S.V.P.

**DOCUMENT RESSOURCE XV**

Fonctionnement d'un actionneur piézoélectrique en régime quasi-statique



L'actionneur piézoélectrique utilisé est constitué d'un nombre *n* de couches de céramiques piézoélectriques empilées, placées en parallèle d'un point de vue électrique, capables de provoquer un allongement de la longueur de l'actionneur qui est proportionnel à la tension appliquée, lorsqu'aucun effort ne s'y oppose :

$$\Delta L_{max} = n\, d_{33} U_{max}$$

où $d_{33}$ [m/V] est une constante caractérisant le matériau piézoélectrique utilisé, U [V] est la tension appliquée aux électrodes de chaque couche de céramique.

Lorsqu'un effort résistant *F* s'oppose à cet allongement, si la fréquence d'opération est bien inférieure à celle de résonance, un modèle simple donne son comportement :

$$\Delta L = n\, d_{33} U - {}^{F}/_{k_p}$$

$$k_p\, \Delta L = k_p\, n\, d_{33} U - F = F_e(U) - F$$

où $k_p$ est la raideur de l'actionneur et $F_e(U) = k_p\, n\, d_{33} U$ modélise l'effet piézoélectrique (la force provenant de l'effet piézoélectrique).

Si les deux faces de l'actionneur sont bloquées (il est face à une raideur considérée comme infinie), alors son allongement sera nul mais il appliquera un effort à la structure qui le contraint de valeur :

$$F = F_e(U) = k_p\, n\, d_{33} U$$

L'effort généré sera considéré donc proportionnel à la tension appliquée.

L'actionneur piézoélectrique utilisé est de type « haute tension » (U = 0-1000V). Les caractéristiques de cet actionneur sont :

$d_{33} = 400\ 10^{-12}$ m/V (céramique « soft »)

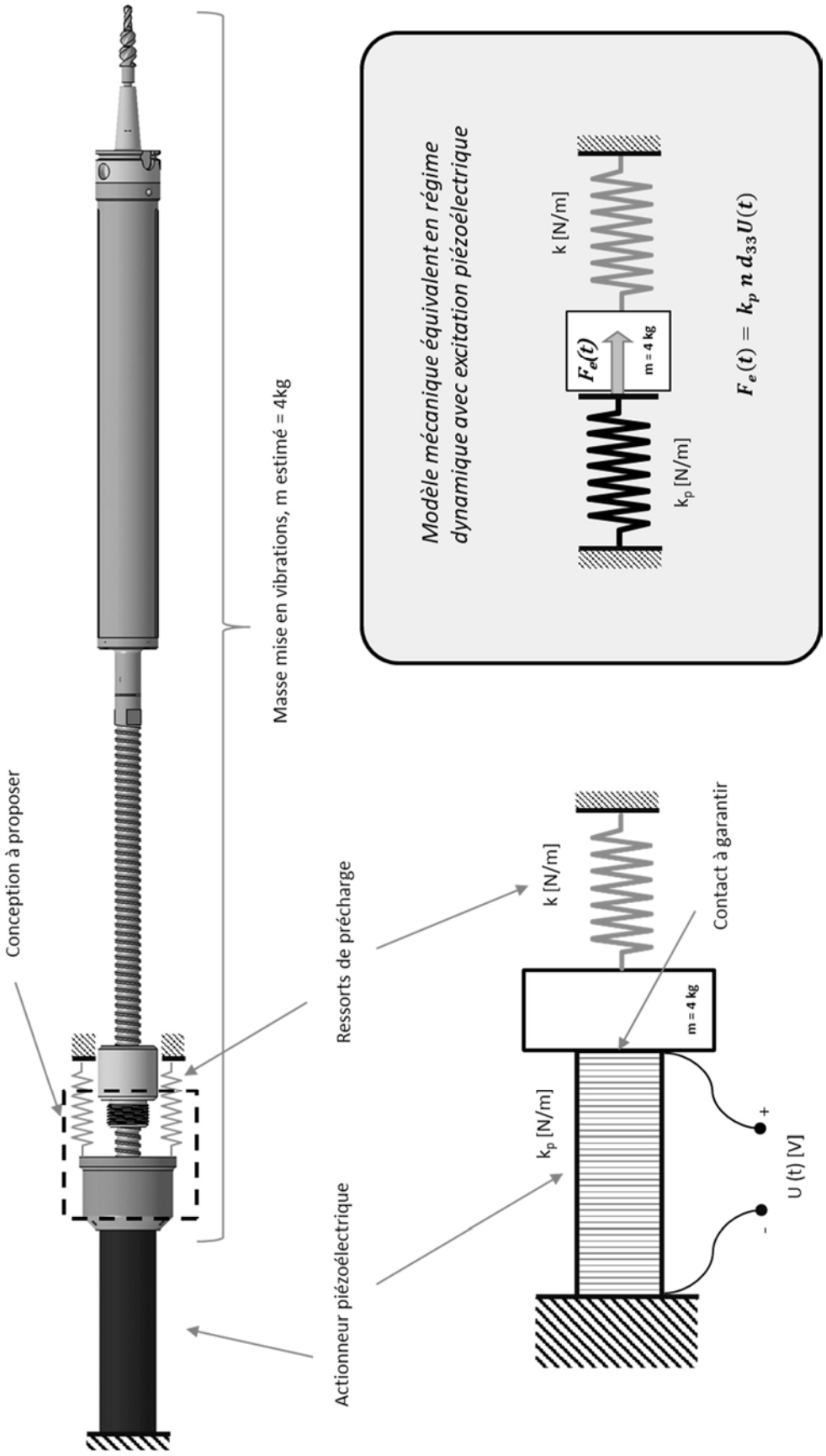
$k_p = 150$ N/µm

L = 140mm

$\Delta L_{max} = 130 \mu m$

**DOCUMENT RESSOURCE XVI**

Génération d'oscillations avec actionneur piézoélectrique préchargé

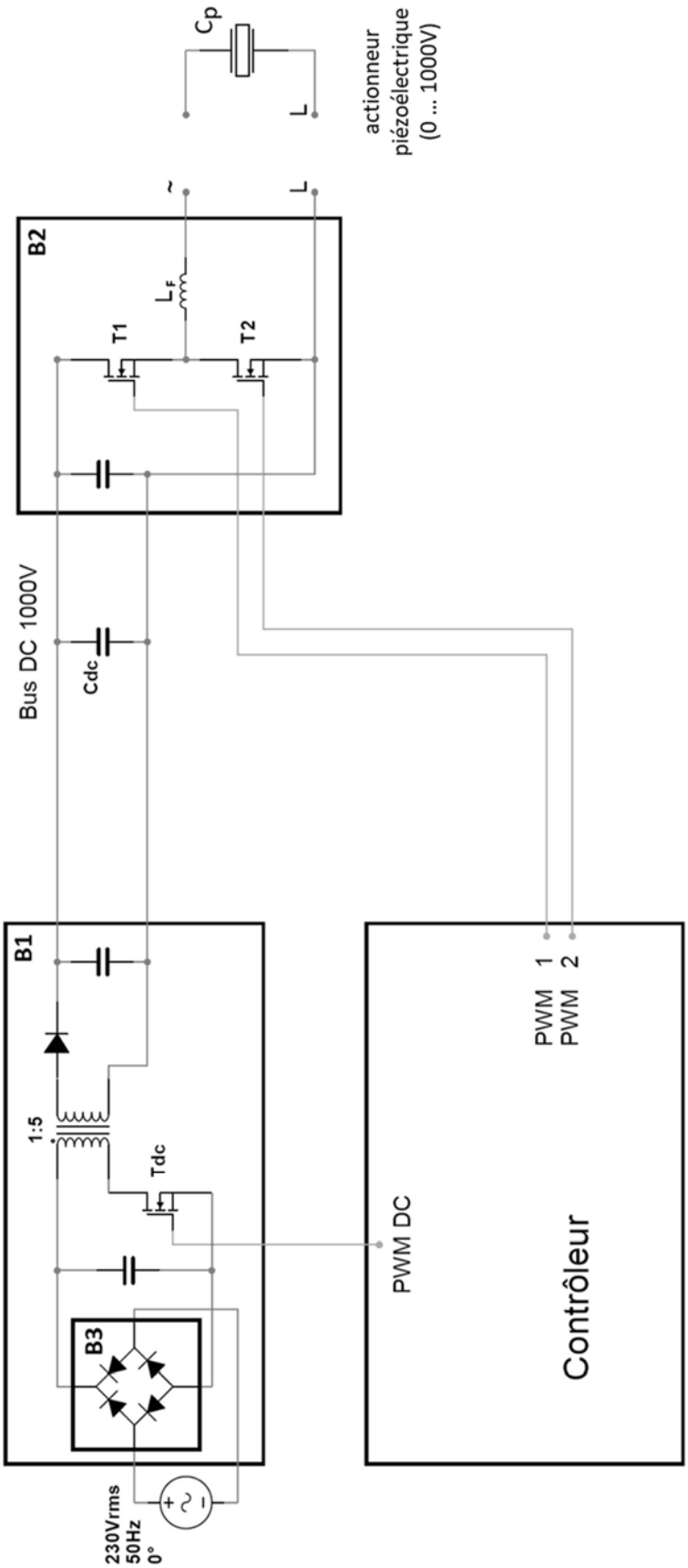





Tournez la page S.V.P.

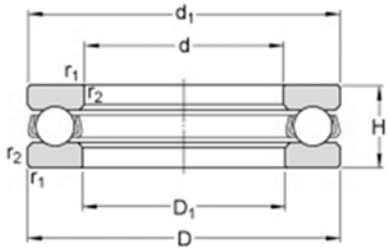
**DOCUMENT RESSOURCE XVII**

Electronique de puissance pour piloter un actionneur piézoélectrique



**DOCUMENT RESSOURCE XVIII**

Composants pour la conception de la liaison **(O)** / **(J)**

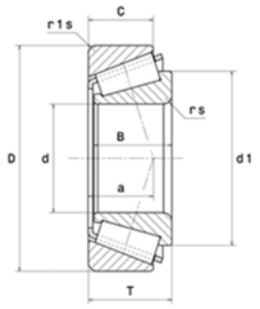



Butées à billes
(Catalogue de roulements SKF)

| Dimensions principales | | | Charges limites (kN) | Vitesses limites (tr/min) | Désignations/Références |
|---|---|---|---|---|---|
| D (mm) | D (mm) | H (mm) | | | |
| 60 | 95 | 26 | 140 | 3800 | 51212 |
| 60 | 95 | 28 | 140 | 3600 | 53212 |
| 60 | 110 | 35 | 224 | 3000 | 51312 |
| 60 | 130 | 51 | 430 | 2200 | 51412 |
| 65 | 90 | 18 | 108 | 4800 | 51113 |

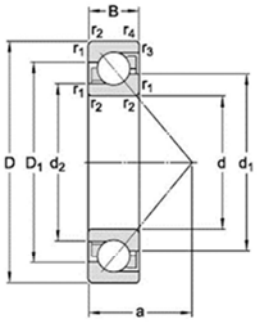
**DOCUMENT RESSOURCE XIX**

Composants pour la conception de la liaison **(O)** / **(J)**




## Roulements à rouleaux à contacts obliques (Catalogue de roulements SKF)

| Dimensions principales | | | Charges limites (kN) | Vitesses limites (tr/min) | Désignations/Références |
|---|---|---|---|---|---|
| d (mm) | D (mm) | T (mm) | | | |
| 25 | 52 | 17 | 33 | 13000 | 30205 |
| 25 | 52 | 20 | 44 | 13000 | 32205 |
| 65 | 140 | 36 | 193 | 4800 | 31313 |
| 70 | 100 | 20 | 112 | 6000 | 32914 |
| 70 | 110 | 25 | 153 | 5600 | 32014 |

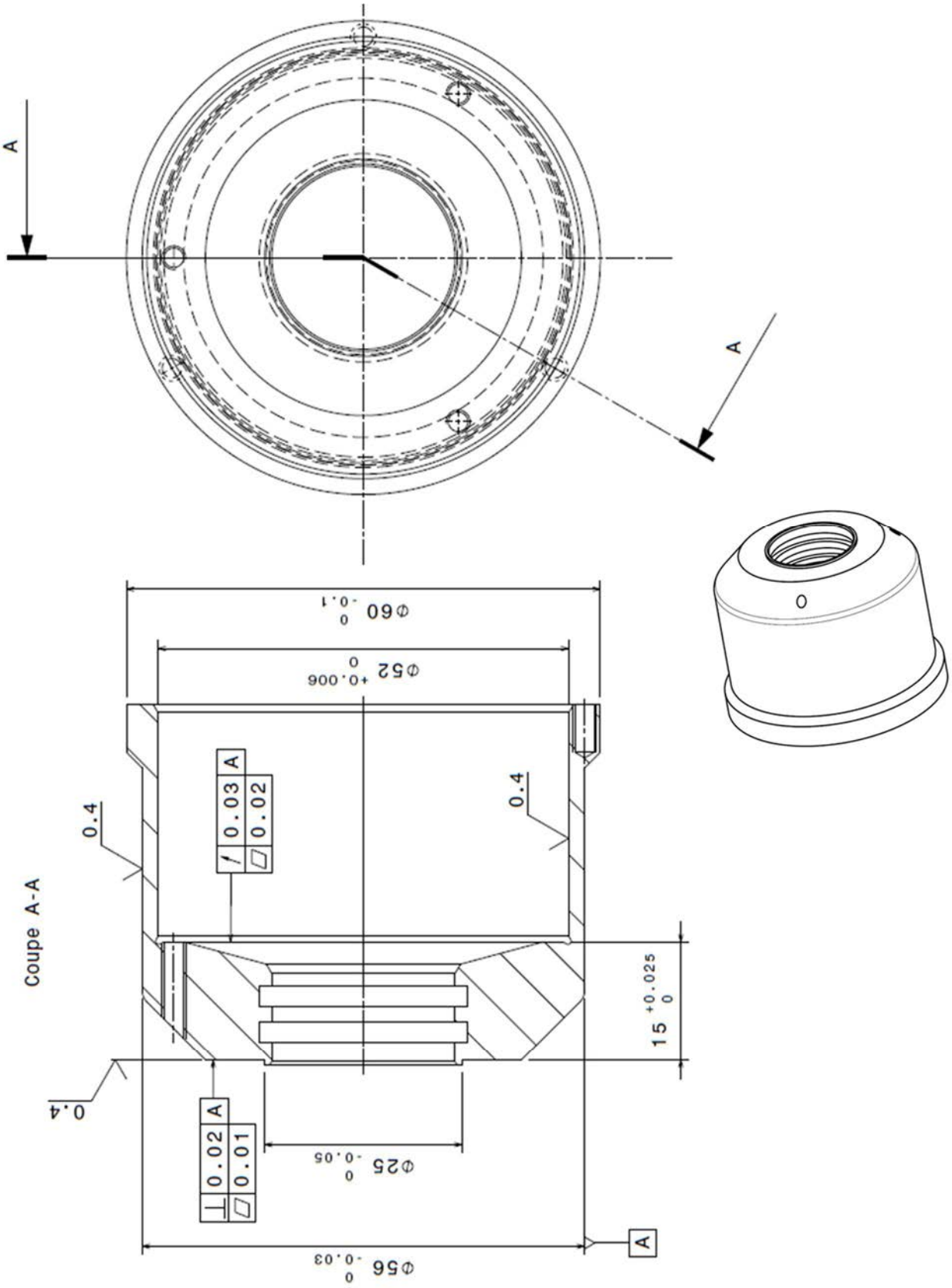



## Roulements à billes à contacts obliques (Catalogue de roulements SKF)

| Dimensions principales | | | Charges limites (kN) | Vitesses limites (tr/min) | Désignations/Références |
|---|---|---|---|---|---|
| d (mm) | D (mm) | B (mm) | | | |
| 17 | 47 | 14 | 8 | 15000 | 7303 BE/2RZP |
| 25 | 52 | 15 | 7 | 38000 | 7205 CD/HCP4A |
| 30 | 62 | 16 | 27 | 15000 | 7206 AC/CBM |
| 70 | 110 | 20 | 17 | 15500 | 7014 ACE/P4AL1 |

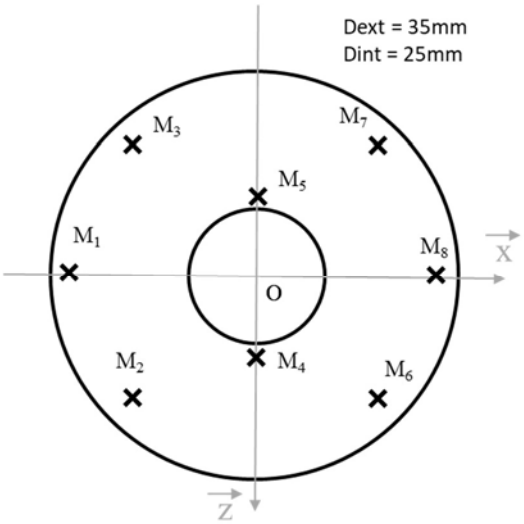
**DOCUMENT RESSOURCE XX**

Mise en plan de la pièce **(O)** : coulisseau de l'actionneur piézoélectrique



**DOCUMENT RESSOURCE XXI**

Données mesurées pour le contrôle de la pièce




| Points mesurés | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $M_5$ | $M_6$ | $M_7$ | $M_8$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X (mm) | -17 | -16 | -15 | 0 | 0 | 15 | 16 | 17 |
| Y (µm) = ξ | -2 | 0 | 0 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 |
| Z (mm) | 0 | -15 | 15 | -13 | 13 | -15 | 15 | 0 |

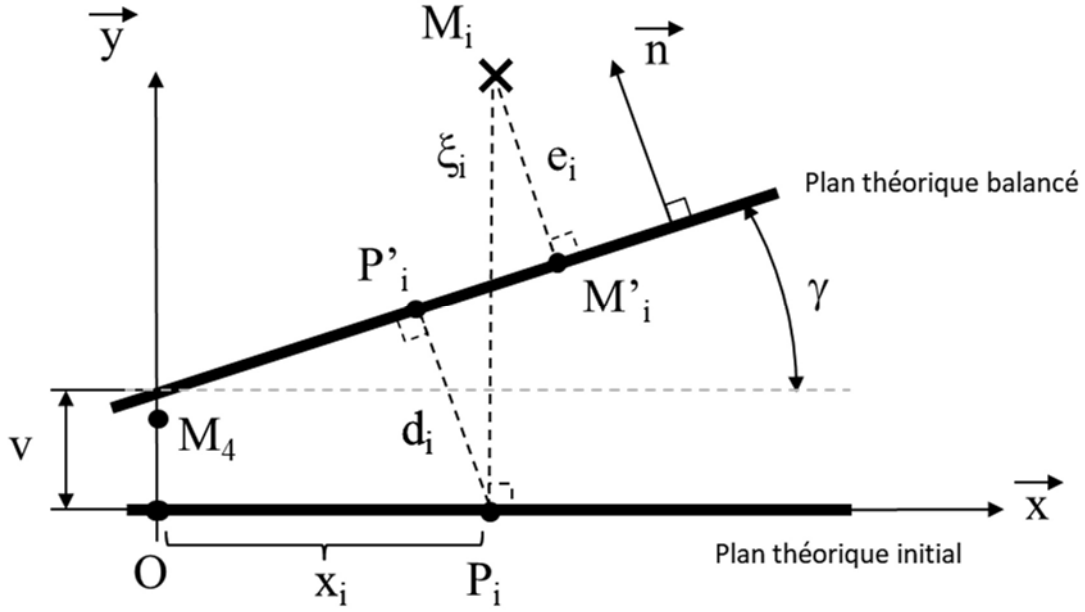
| Points mesurés | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $M_4$ | $M_5$ | $M_6$ | $M_7$ | $M_8$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X (mm) | -17 | -16 | -15 | 0 | 0 | 15 | 16 | 17 |
| Y (µm) = e | -4,55 | -2,64 | -2,73 | -0,08 | -0,08 | 0,57 | 0,48 | 0,39 |
| Z (mm) | 0 | -15 | 15 | -13 | 13 | -15 | 15 | 0 |

Forme du torseur théorique complet

$$\{T_{pd}\} = \begin{Bmatrix} u & \alpha \\ v & \beta \\ w & \gamma \end{Bmatrix}_{O,(x,y,z)}$$

Forme du torseur théorique proposé

$$\{T_{pd}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ v & 0 \\ 0 & \gamma \end{Bmatrix}_{O,(x,y,z)}$$



# Cahier réponse
# Épreuve de Sciences Industrielles C

## AVERTISSEMENT

**Toutes les calculatrices sont interdites, quel qu'en soit le type, ainsi que les agendas électroniques et les téléphones portables…**

## INSTRUCTIONS

- Remplir sur chaque copie A3 en MAJUSCULES toutes vos informations d'identification : nom, prénom, numéro inscription, date de naissance, le libellé du concours, le libellé de l'épreuve et la session.
- **Une feuille dont l'entête n'a pas été intégralement renseignée, ne sera pas prise en compte.**
- **Vérifiez que votre cahier réponse comporte le nombre de pages indiqué et qu'il est correctement imprimé.**
- Composer lisiblement sur les copies avec un stylo à encre foncé : bleue ou noire. D'autres couleurs peuvent être utilisées uniquement dans les schémas.
- L'usage de stylo à friction, stylo plume, stylo feutre, liquide de correction et dérouleur de ruban correcteur est interdit.
- **À la fin de l'épreuve, rendre toutes les pages dans l'ordre mêmes celles non renseignées. Toute réclamation ultérieure ne pourra pas être prise en compte.**
- Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

**Nom de famille :**
*(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)*

**Prénom(s) :**

**Numéro Inscription :**

**Né(e) le :** ../../....

*(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)*

*(Remplir cette partie à l'aide de la notice)*

**Concours / Examen :** ..... **Section/Spécialité/Série :** .....

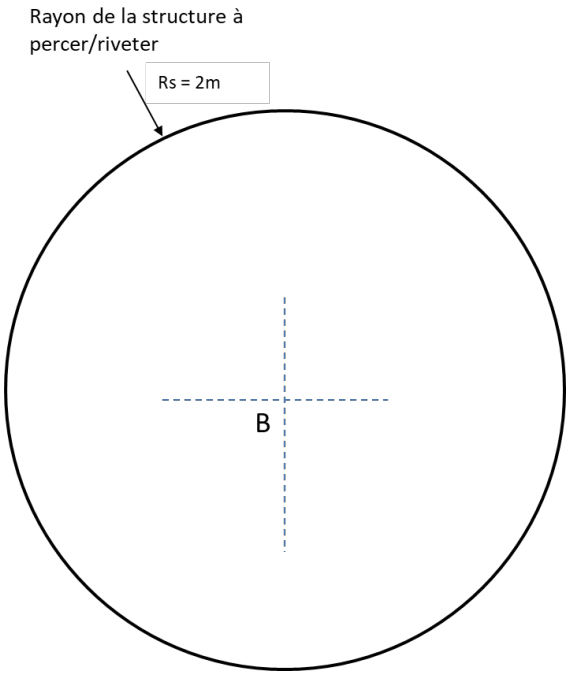
**Epreuve :** ..... **Matière :** ..... **Session :** .....

**CONSIGNES**

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

063

## 1. Secteur angulaire de travail de la cellule




---

## 2. Calcul du rayon Rmax de la zone de travail et de la longueur L de parcours



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

Ca

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

3. *Calcul de la vitesse maximale du VGA*

---

4. *Expression de la force de traction/propulsion F (liaison au sol du VGA)*

---

5. *Accélération maximale du VGA pour la première phase*

6. *Calcul de la durée $t_1$ et de la distance parcourue $d_1$ lors de la phase d'accélération*

---

***7.*** *Temps total $t_d$ du parcours du VGA*

---

8. *Calcul de l'effort de perçage maximal sans basculement*

9. *Type de défauts et explications (mécanisme d'apparition, solution par « accostage »)*

---

10. *Expression de $\Delta \boldsymbol{L}$ (déplacement du point de contact effecteur / tôles)*

---

***11.*** *Détermination de l'effort de contact $F_{2/1}$*

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

**CONSIGNES**

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

*12. Détermination de la force d'accostage minimale (expression littérale et valeur)* 063

---

*13. Expression de la vitesse d'avance du foret et de l'épaisseur coupée*

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

*14. Epaisseur coupée en présence d'oscillations*

*15. Preuve de l'expression littérale donnée pour l'épaisseur coupée à l'instant t*

16. *Preuve de la condition de fragmentation du copeau*

---

17. *Détermination de l'amplitude minimale pour provoquer la fragmentation et détermination des fréquences optimales.*

*18. Correspondance entre nomenclatures du schéma cinématique et de l'architecture*

| Nomenclature cinématique | Nomenclature architecture |
|---|---|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |

---

*19. Calcul de l'hyperstatisme de l'effecteur avec la cinématique donnée*

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

**CONSIGNES**

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

063

*20. Avantages et inconvénients de l'hyperstatisme*

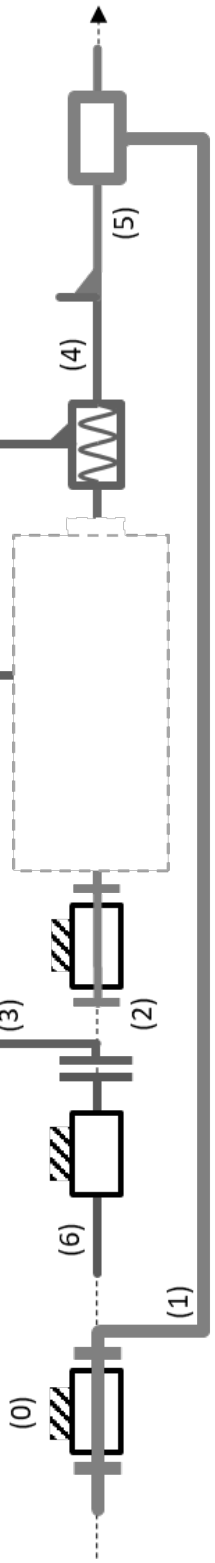


**Tournez la page S.V.P.**

Cc

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

*21. Schéma cinématique avec prise en compte du composant « flector »*



*22. Calcul de l'hyperstatisme de l'effecteur avec modélisation du « flector »*

---

*23. Proposition de modification(s) supplémentaire(s) pour réduire le degré d'hyperstatisme*

*24. Calcul de $V_{5/0}$ = f ($N_1$,$N_2$, p)*

---

*25. Formulation analytique de $N_2$ dans le cas d'une vitesse d'avance constante*

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

**CONSIGNES**

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

063

*26. Résolution des codeurs*

---

*27. Expression du mouvement d'avance $X_{5/0}(t)$ en présence d'oscillations*



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

Cd

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

28. *Valeurs de $N_{osc}$ et $\omega_{osc}$ pour les conditions imposées*

---

29. *Course maximale d'un actionneur piézoélectrique préchargé*

*30. Choix de la raideur du ressort de précharge*

---

***31.*** *Force de précharge à imposer pour éviter la perte de contact (expression et calcul)*

*32. Fréquence de résonance du système mécanique proposé*

---

*33. Noms usuels et rôles des blocs B2 et B3*

063

34. Valeur de l'inductance $L_F$ pour une fréquence de coupure du filtre $f_F$ = 3000Hz

---

35. Résistance pour un facteur d'amortissement de 0,25

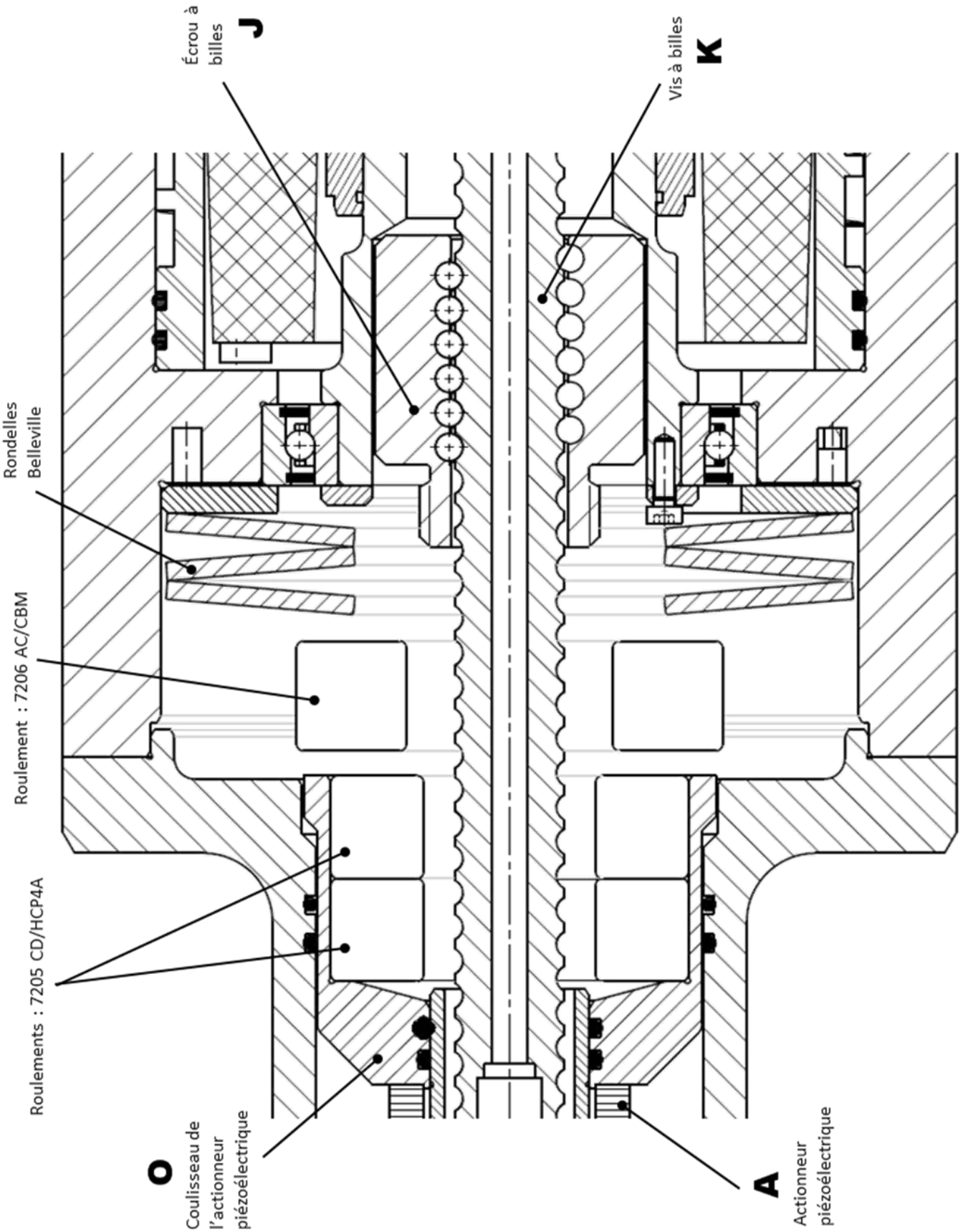
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

36. *Fréquence de découpage de la MLI pour une atténuation de -40dB.*

---

37. *Justification des choix des roulements*

*38. Dessin technique : proposer une solution de liaison*



*39. Justification de la disposition des centres de poussées des roulements*

---

*40. Justification du montage des rondelles élastiques (Belleville)*

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

**CONSIGNES**

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

## *41. Grilles GPS pour spécifications*

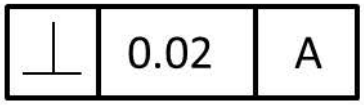
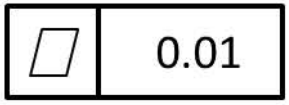
063

(voir pages suivantes)



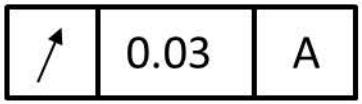
**Tournez la page S.V.P.** Cf

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

| TOLERANCEMENT NORMALISE | Analyse d'une spécification par zone de tolérance | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Eléments non Idéaux**<br>extraits du « Skin Modèle » | | **Eléments Idéaux** | | |
| **Type de spécification**<br>Forme Orientation<br>Position Battement<br>..... | **Eléments Tolérancé(s) *** | **Eléments de référence *** | **Référence(s) spécifiée(s) *** | **Zone de tolérance *** | |
| **Condition de conformité :**<br>L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance. | unique<br>groupe | unique<br>multiples | simple commune<br>système | simple<br>composée | **Contraintes**<br>orientation position<br>par rapport à<br>la référence spécifiée |
| **Schéma**<br>extrait du dessin de définition<br> | | | | | |
|  | | | | | |

* Rayer la (les) mention(s) inutile(s)

Tournez la page S.V.P.

| TOLERANCEMENT NORMALISE | Analyse d'une spécification par zone de tolérance | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Eléments non Idéaux**<br>extraits du « Skin Modèle » | | **Eléments Idéaux** | | |
| **Type de spécification**<br>Forme Orientation<br>Position Battement<br>..... | **Eléments Tolérancé(s) *** | **Eléments de référence *** | **Référence(s) spécifiée(s) *** | **Zone de tolérance *** | |
| **Condition de conformité :**<br>L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance. | unique<br>groupe | unique<br>multiples | simple commune<br>système | simple<br>composée | **Contraintes**<br>orientation position<br>par rapport à<br>la référence spécifiée |
| **Schéma**<br>extrait du dessin de définition<br> | | | | | |

* Rayer la (les) mention(s) inutile(s)

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

**Nom de famille :**
*(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)*

**Prénom(s) :**

**Numéro Inscription :**

*(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)*

**Né(e) le :** / /

*(Remplir cette partie à l'aide de la notice)*

**Concours / Examen :** ..... **Section/Spécialité/Série :** .....

**Epreuve :** ..... **Matière :** ..... **Session :** .....

***CONSIGNES***

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

*42. Description des différentes phases de cémentation et de trempe superficielle* 063



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

Cg

*43. Ordonnancement des opérations de fabrication et justification*

| Oui / Non | Ordonnancements admissibles des opérations de fabrication | Argumentation |
|---|---|---|
| | 1. Ebauche surfaces extérieures et intérieures avec la même mise en position sur un tour CN<br>2. Cémentation<br>3. Traitement de Trempe<br>4. Finition surfaces extérieures et intérieures avec la même mise en position sur un tour CN | |
| | 1. Ebauche surfaces extérieures et intérieures avec la même mise en position sur un tour CN<br>2. Cémentation<br>3. Finition surfaces extérieures et intérieures avec la même mise en position sur un tour CN<br>4. Traitement de Trempe | |
| | 1. Ebauche surfaces extérieures et intérieures avec la même mise en position<br>2. Cémentation<br>3. Traitement de Trempe<br>4. Finition surfaces extérieures<br>5. Retournement de la pièce sur le tour CN<br>6. Finition surfaces intérieures | |

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

*44. Equation vectorielle du calcul de $e_l$*

---

*45. Hypothèse simplificatrice du torseur des petits déplacements*

*46. Expression analytique de $e_i$ en fonction de $\xi i$, $\gamma$ et v*

---

*47. Ecriture matricielle littérale pour le calcul de $\gamma$ et v*

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription :

Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : ..... Section/Spécialité/Série : .....

Epreuve : ..... Matière : ..... Session : .....

**CONSIGNES**

- *Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.*
- *Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.*
- *Numéroter chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.*
- *Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.*
- *N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.*

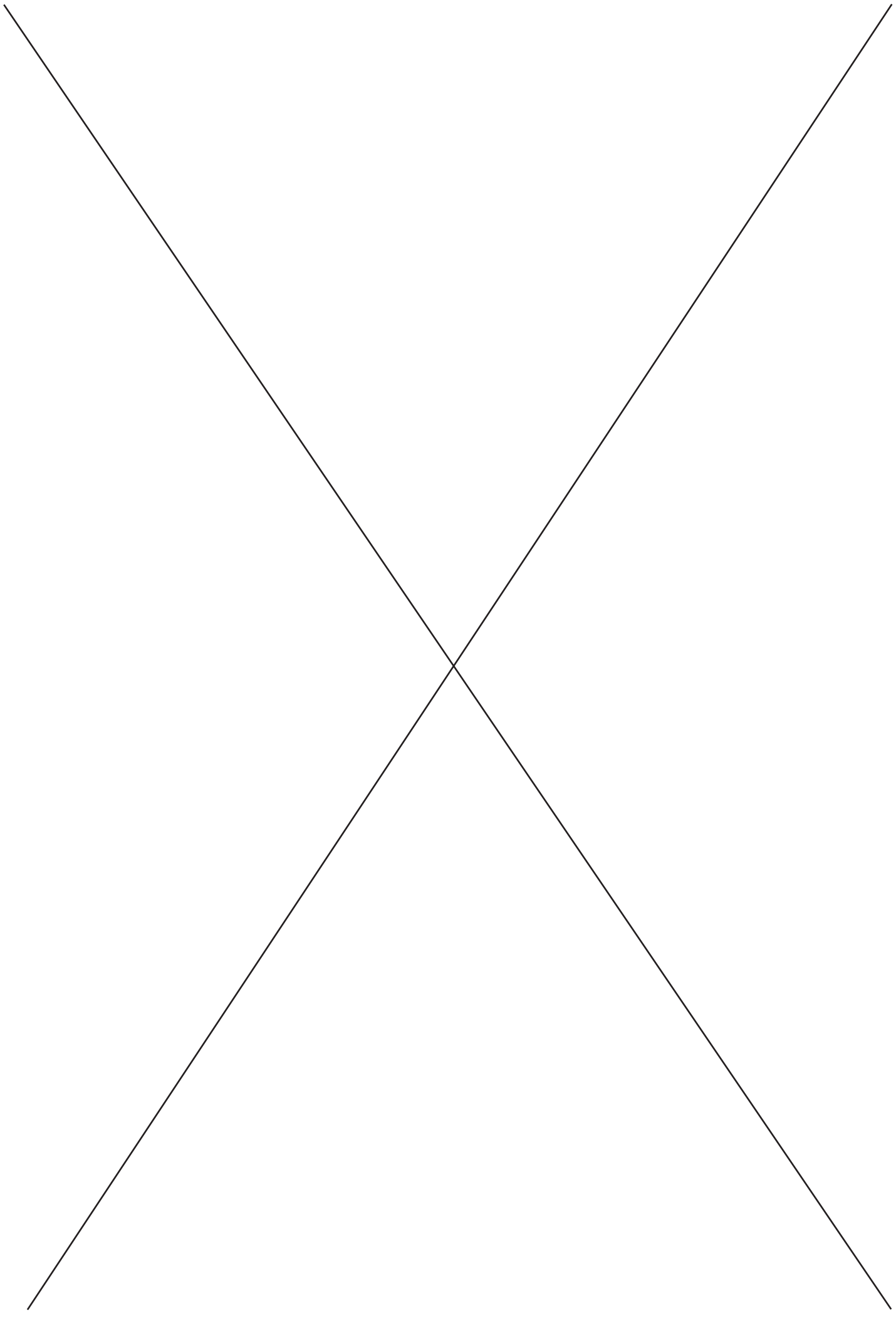
*48. Calcul de $\gamma$ et v*

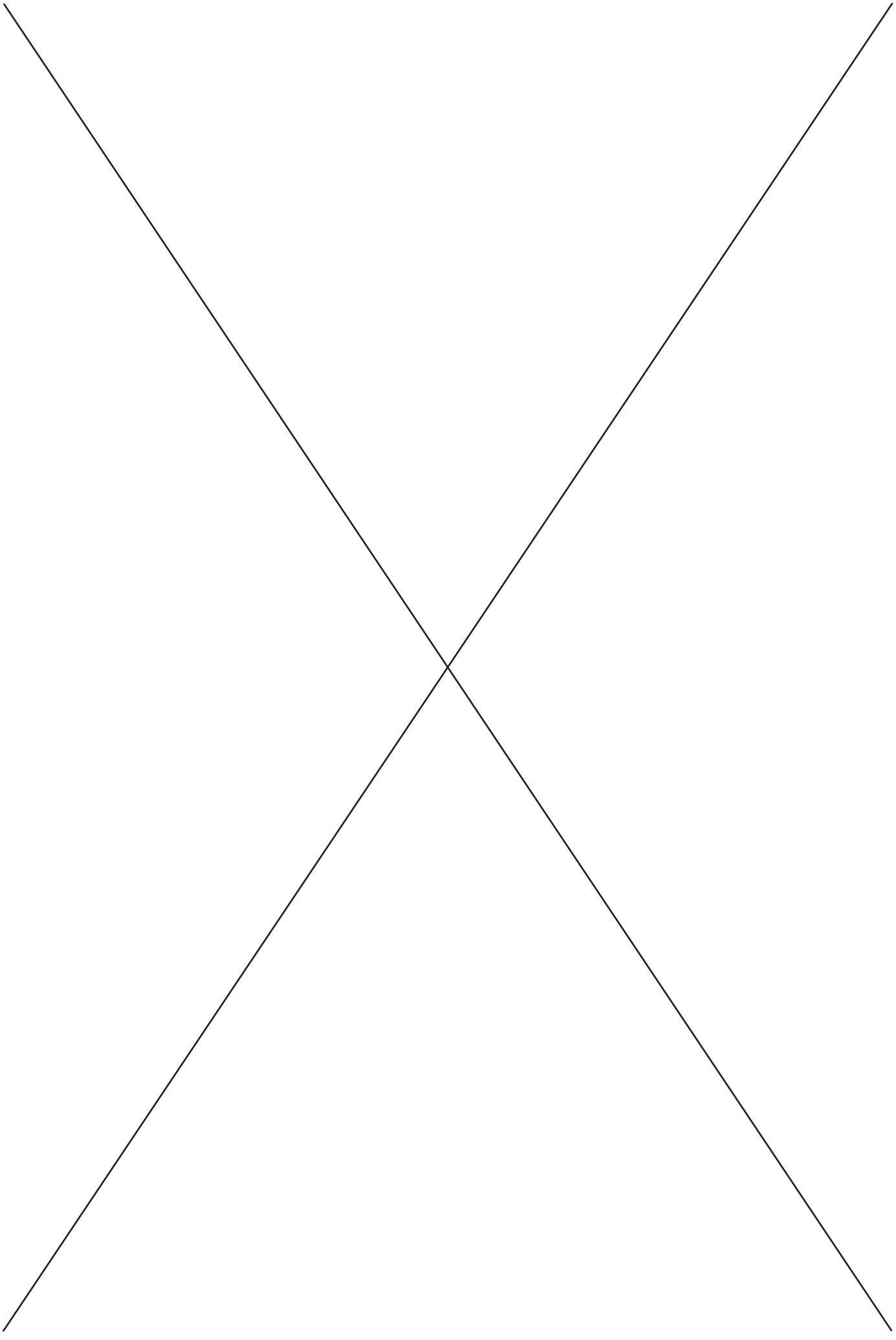
063

---

*49. Conclure sur la spécification*

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE





# Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PT chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

## Chapitres liés à ce sujet

- Cinématique du solide : paramétrage, vitesse, taux de rotation et torseur cinématique
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique
- Mobilité, hyperstatisme et petits déplacements
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Équations différentielles linéaires du second ordre
- Filtrage linéaire

## Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

**prepahelp.com/#essai**

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/banque-pt/pt