

EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B
PT SI-B : ETUDE D'UN DISPOSITIF DE TRANSLATION VERTICALE D'UN SITE
D'EXPERIENCE DE NANOTOMOGRAPHIE

Durée : 6 heures

PRESENTATION DU SUJET

Le sujet porte sur l'étude d'un site d'expérience de nanotomographie mis en place au synchrotron de Grenoble (ESRF).

Les auteurs du sujet tiennent à remercier particulièrement M. Yves Dabin, chef du département « service technique » à l'ESRF, pour les très nombreuses informations qu'il a transmises sur cette expérimentation, rendant ainsi possible l'écriture de ce sujet.

Cette expérience de nanotomographie met en œuvre différents dispositifs optiques et un échantillon qui sont positionnés sur un marbre. Pour les besoins des différentes recherches menées, ces appareillages doivent pouvoir occuper précisément deux positions distinctes, séparées d'une distance donnée.

Le sujet porte plus particulièrement sur le dispositif permettant d'effectuer le déplacement entre ces deux positions. Il utilise conjointement des cales pentées permettant principalement d'imposer le déplacement (leurs jeux internes, compte tenu de la précision nécessaire, ne permettent pas dans ce contexte d'expérimentation d'assurer le guidage), et un ensemble de 3 bielles permettant de guider le marbre sur lequel est posée l'instrumentation.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont :

- Notice justificative 42 %
- Dessin d'étude de construction mécanique 58 %

Thématiquement, sur la notice justificative, la répartition de la notation a été faite de la manière suivante :

- | | |
|--|-------|
| - Analyse des mouvements du marbre Q1 à Q6 | 8,5 % |
| - Analyse des cales pentées Q7 à Q9 | 4,5 % |
| - Analyse statique Q10 à Q15 | 10 % |
| - Vérification du moteur Q16 à Q20 | 5,5 % |
| - Résistance des matériaux Q21 et Q25 | 6,5 % |
| - Tolérancement Q26 | 3,5 % |
| - Joints d'accouplement Q27 | 2,5 % |
| - Matériaux Q28 | 1 % |

COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

Le sujet est structurellement long, les candidats peuvent ainsi s'exprimer sur l'ensemble de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité. Une lecture complète du sujet est conseillée en début d'épreuve afin de s'imprégner du sujet.

Le sujet était difficile à aborder ; c'est pourquoi l'introduction était particulièrement longue. Chaque partie avait pour but d'étudier une sous-partie du système afin de progressivement mieux appréhender ses spécificités. Au final, chaque sous-partie permettait de se focaliser sur un sous-système beaucoup plus accessible du point de vue de sa compréhension.

Toutes les questions posées sont au niveau des candidats (à chaque question, plusieurs candidats obtiennent le maximum des points, et, pour 75 % des questions, au moins 10 % des candidats obtiennent le maximum des points).

Dans toutes les parties du sujet, des connaissances de base sont évaluées. Bon nombre de candidats ne les maîtrise pas.

Une grande majorité des candidats a traité ou entamé chaque partie.

Les candidats ont à peu près respecté les consignes indiquées concernant le temps à consacrer à chacune des parties puisqu'ils obtiennent en moyenne 47 % de leurs points sur la notice et 53 % sur le dessin d'étude de construction mécanique.

ANALYSE PAR PARTIE

Remarques sur la partie notice justificative

Remarque générale :

Les candidats ont su profiter des parties indépendantes et ne sont que rarement restés bloqués.

La première partie est la mieux traitée du sujet. Elle permettait de comprendre quel est le rôle des bielles dans le guidage du dispositif de déplacement.

Les candidats maîtrisent le plus souvent l'utilisation du torseur cinématique et savent avec méthode déterminer une liaison équivalente par l'utilisation des torseurs cinématiques (70 % des candidats obtiennent la forme correcte du torseur cinématique associé aux deux liaisons rotules en série, mais seulement 25 % pour l'association des deux liaisons ponctuelles en parallèle). Les candidats ne sachant pas mener les calculs savent le plus souvent faire preuve de bon sens pour trouver intuitivement la liaison équivalente.

Les candidats oublient cependant le plus souvent que pour identifier une liaison mécanique, il faut donner le nom de cette liaison, mais aussi les caractéristiques géométriques qui lui sont associées (ils reconnaissent souvent par exemple une liaison ponctuelle, mais beaucoup moins souvent la normale qui lui est associée ; 37 % des candidats fournissent une réponse complète).

On demandait ensuite de déterminer le déplacement transverse imposé par les deux bielles disposées parallèlement. 70 % des candidats parviennent à déterminer la valeur de ce déplacement, mais lorsqu'on demande de conclure sur cette valeur, la plupart fait référence à la précision indiquée dans le cahier des charges, et n'a donc visiblement pas compris que la trajectoire entre les deux positions d'expérimentation importait peu, et qu'il s'agissait ici simplement de comparer ce déplacement transverse au déplacement admissible par les cales pentées.

L'analyse de l'inclinaison à partir d'une courbe a posé en revanche beaucoup de difficultés aux candidats. Les erreurs les plus fréquentes sont deux tracés avec des angles d'inclinaison opposés alors qu'ils étaient identiques sur la courbe fournie, ou une inclinaison dans le mauvais sens : les candidats n'ont pas été vigilants sur l'orientation du repère d'étude. Au final, seuls 15 % des candidats obtiennent un tracé correct.

La deuxième partie, concernant principalement l'étude statique des cales pentées, a mis en évidence des lacunes beaucoup plus inquiétantes.

Le calcul du degré d'hyperstatisme d'une cale pentée est souvent abordé (32 % de bonnes réponses), mais lorsqu'on sort de la simple application d'une formule de cours et qu'on demande aux candidats de faire des propositions d'évolution de modèle pour tendre vers un modèle isostatique, le bon sens mécanique des candidats semble faire défaut. Les solutions proposées donnent souvent des modèles comportant beaucoup plus de mobilités que le modèle initial. Les candidats ne pensent pas à des solutions simples telles que remplacer des guidages longs par des guidages courts.

La mise en place des tolérances demandée dans le sujet montre des difficultés d'utilisation d'un langage normalisé.

Pour aider les candidats dans le traitement de l'étude statique, il était demandé aux candidats de représenter dans un premier temps des actions de contact se faisant avec frottement. Le traitement de cette partie est satisfaisant (64 % de bonnes réponses) ; c'est la suite qui est beaucoup plus inquiétante. Si le modèle de Coulomb est bien maîtrisé, la résolution d'un problème de statique met les candidats beaucoup plus mal à l'aise. La plupart des candidats a du mal à dégager les équations utiles à la résolution du problème posé (seules deux équations issues de deux applications du PFS étaient nécessaires), et, beaucoup plus grave, les candidats ont de grandes difficultés à faire un bilan d'actions qui soit correct : le poids du marbre supérieur s'est ainsi très souvent retrouvé appliqué au coin des cales pentées. Les candidats s'en sortent alors par une pirouette pour résoudre le problème en invoquant une (fausse) symétrie par rapport à un plan horizontal.

Les membres du jury rappellent donc aux candidats les deux points suivants :

- Un problème de statique, aussi simple soit-il, ne peut être résolu correctement que si chaque étape de la démarche suivante est correctement appliquée : choix des solides à isoler – bilan des actions mécaniques extérieures – application des équations utiles issues du PFS ;
- Un problème de statique est symétrique s'il y a symétrie d'un point de vue géométrique mais aussi du point de vue des actions mécaniques.

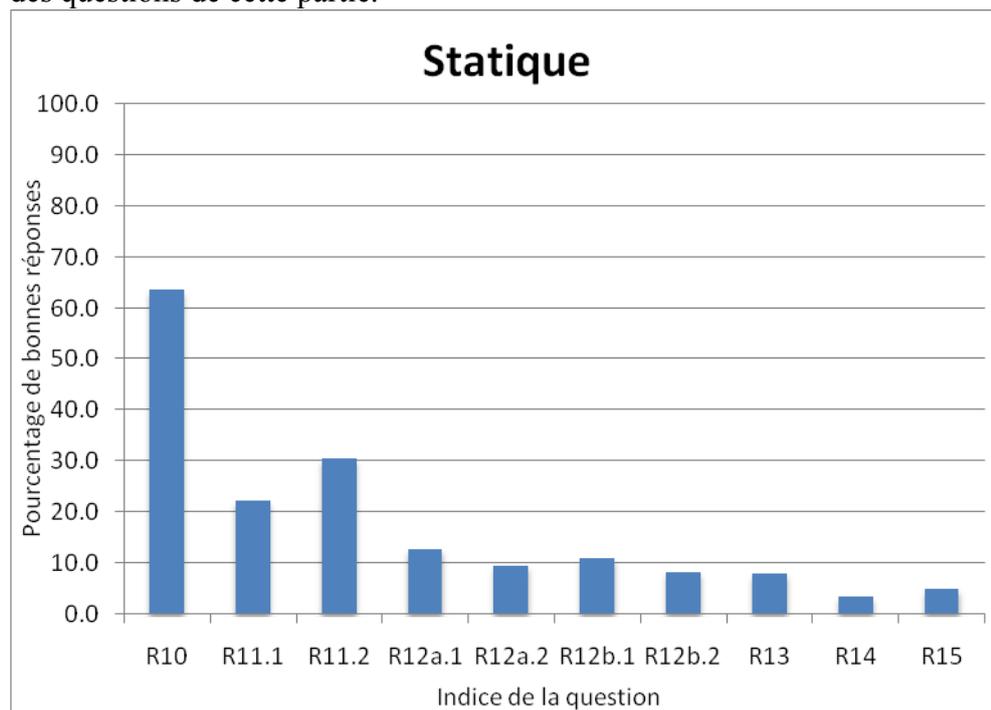
Pour finir, un nombre important de candidats propose d'isoler le marbre inférieur qui représente ici le bâti du mécanisme...

Comme ces questions ont le plus souvent été mal traitées, seuls 10 % des candidats parviennent à obtenir les bonnes valeurs numériques permettant de connaître les efforts moteurs à la montée et à la descente.

Les candidats pensent spontanément au système vis-écrou comme dispositif permettant d'obtenir l'irréversibilité.

Le cycle à hystérésis est visiblement peu connu. En revanche, les candidats font preuve de beaucoup d'imagination lorsqu'il s'agit de donner un nom : cycle nœud papillon, cycle trapèze, cycle de Carnot, cycle Beau de Rochas, cycle Diesel, cycle conservatif, cycle fermé, cycle expérimental, cycle 4 temps...

L'histogramme ci-dessous résume le pourcentage de réponses correctes apportées à chacune des questions de cette partie.



La troisième partie avait pour but de valider le choix du moteur vis-à-vis du cahier des charges, d'abord du point de vue de la résolution, ensuite du point de vue du couple.

On demandait d'abord de trouver la loi entrée-sortie du mécanisme. L'erreur la plus fréquente a été l'oubli du fait que les Airloc superposent deux cales pentées.

45 % des candidats parviennent à définir les bons sens de rotation pour les différents arbres en sortie des boîtiers de renvoi conique, et seuls 12 % donnent le bon sens d'hélice pour les systèmes vis-écrou des Airloc. Ceci est peut-être dû au fait que les candidats manquent de manipulation sur des systèmes réels.

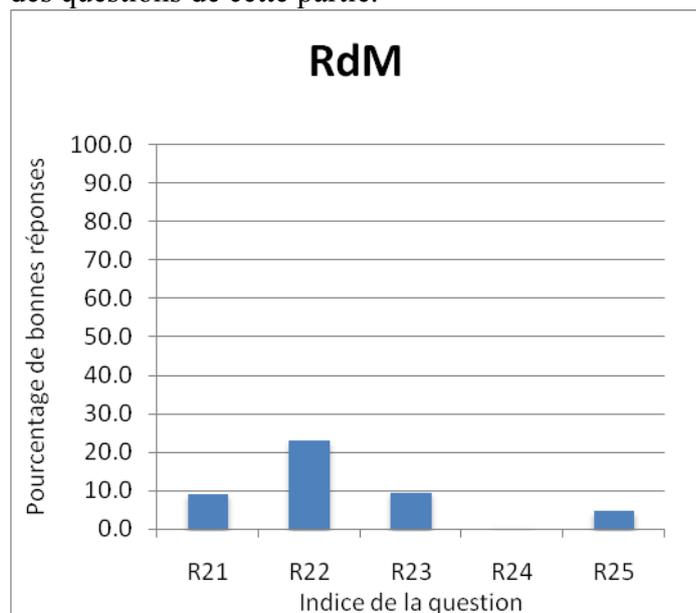
Le calcul du couple moteur est de loin la partie la moins traitée du sujet : les candidats ne pensent quasiment pas à appliquer le théorème de l'énergie puissance qui s'imposait pourtant ici naturellement. Leurs difficultés remontent déjà probablement au fait qu'ils ont le plus souvent du mal à déterminer la loi entrée- sortie : il n'était pourtant plus ici nécessaire d'avoir bien appréhendé le comportement des cales pentées, puisque dans cette question, seuls intervenaient les boîtiers de renvoi conique et les systèmes vis-écrou. Sur cette partie, moins de 1 % des candidats apportent une réponse correcte.

La quatrième partie portait sur l'influence des déformations des bielles et de l'arbre reliant les boîtiers de renvoi conique sur la précision du mécanisme.

Les bielles sont liées à leurs pièces voisines par deux liaisons rotules. Sous les hypothèses énoncées dans le sujet, on se situe donc dans un cas assez classique de traction-compression (solide en équilibre sous l'action de deux glisseurs). Et pourtant, seuls 9 % des candidats expriment la bonne forme de torseur de cohésion.

On s'intéressait ensuite à deux calculs : l'un en traction-compression, l'autre en torsion. Ces deux parties ont mis en évidence la plus grande confusion qui règne dans l'esprit des candidats : calcul en traction en utilisant le moment quadratique, calcul en torsion en utilisant le moment quadratique par rapport à un axe, calcul de la déformation angulaire unitaire au lieu de la déformation totale... La plupart des candidats maîtrise donc mal les formules issues de la résistance des matériaux, ainsi que leur domaine d'emploi.

L'histogramme ci-dessous résume le pourcentage de réponses correctes apportées à chacune des questions de cette partie.



La fin du sujet balayait ensuite plusieurs thématiques du programme qui étaient un peu plus déconnectées de l'étude du système, et de la validation du respect du cahier des charges. Ces

questions s'apparentaient donc plus à des questions de cours même si elles étaient remises dans le contexte du dispositif étudié. Les candidats ont curieusement mieux traité ces questions.

Les spécifications géométriques sont dans leur ensemble bien traitées. L'analyse des éléments réels et des éléments idéaux est le plus souvent bien faite. L'erreur la plus fréquente était l'oubli du fait que la tolérance portait sur les quatre axes de cylindres. En conséquence, l'ensemble des cotes encadrées indiquées n'était pas toujours pris en compte.

En revanche, la signification de spécifications dimensionnelles est très mal maîtrisée (7 % de réponses correctes). On rappelle aux futurs candidats qu'une spécification dimensionnelle porte uniquement sur les dimensions locales (distance entre deux points).

L'analyse des désignations de matériaux est correctement traitée par 50 % des candidats. Le nom exact des matériaux est cependant souvent fantaisiste : le molybdène est donc devenu mobdiline, mobildène, mobtène, mobylène, molebdum, moltène, molybdelne...

Remarques sur la partie « dessin d'étude de construction mécanique »

Remarques générales :

Les solutions constructives devant être représentées étant des solutions classiques (montages de roulements, liaisons encastrement), les candidats semblent avoir pu exprimer au mieux leurs compétences en dessin de construction mécanique. Dès qu'il est nécessaire d'avoir des pièces d'adaptation ayant des formes moins classiques, les candidats ont alors plus de mal à proposer des solutions satisfaisantes.

Calque 1 :

Il y avait principalement trois zones à compléter.

- Guidage en rotation des arbres du boîtier de renvoi conique

Il s'agissait de réaliser le guidage en rotation de deux pignons coniques arbrés en utilisant des roulements à rouleaux coniques. Compte tenu de l'implantation imposée des roulements, un montage en « X » pour l'arbre d'entrée et un montage en « O » pour l'arbre de sortie s'imposaient, ce qui a bien été appréhendé par les candidats. On trouve le plus souvent l'existence d'un dispositif de réglage même si la mise en œuvre de celui-ci n'est pas toujours des plus simples. Quelques rares candidats dessinent des paliers lisses au lieu ou en plus des roulements, voire même parfois des surfaces de guidage par contact direct. Heureusement, ces copies sont assez rares. Trop de candidats omettent de préciser les ajustements, qui sont pourtant une donnée essentielle pour assurer le bon fonctionnement.

La notion de réglage du sommet des cônes primitifs des pignons a par contre posé beaucoup plus de difficultés. Les candidats ayant opté pour une solution utilisant un montage en boîtier ont représenté des solutions tout à fait satisfaisantes. Pour les autres, dans le meilleur des cas, il existe un dispositif de réglage, mais couplé avec le dispositif de réglage de précharge dans les roulements. Dans le pire des cas (75 % des candidats), il n'y a pas de dispositif de réglage du tout.

Pour le dessin du carter du boîtier, il fallait proposer des formes adaptées à la réalisation d'une pièce de fonderie. Il a donc été tenu compte du respect de règles tels que des épaisseurs adaptées pour le moulage, les plus constantes possibles, des formes facilement moulables. Le tracé devait également permettre de faire apparaître distinctement les surfaces brutes et les surfaces usinées.

Pour l'étanchéité, la plupart des candidats a bien proposé l'utilisation de joints à lèvres. Ici, la lubrification se faisant à la graisse, il fallait penser à orienter les lèvres des joints vers l'extérieur du boîtier (17 % des candidats ont proposé la bonne orientation).

- Accouplement rigide par plateaux avec l'arbre intermédiaire

La représentation de la solution proposée est souvent trop approximative : des boulons dont le diamètre nominal est identique au diamètre des trous de passage dans lesquels ils sont implantés, des rainures de clavette dans un alésage non débouchantes, l'utilisation de pions de centrage alors que le centrage est déjà réalisé par un centrage court, des formes laissant apparaître deux appuis-plans distincts... Les candidats doivent être plus vigilants à appliquer des règles de tracé montrant qu'ils ont bien conscience de la manière dont seront fabriquées les pièces qu'ils proposent, et que l'ensemble sera bien montable.

- Accouplement par frette conique

Les candidats sont moins habitués à représenter ce type de solutions que la précédente. On trouve alors beaucoup plus de solutions aberrantes : des frettes coniques montées dans le vide, des frettes coniques montées dans le manchon d'entrée du joint de cardan, alors que la rainure existant dans celui-ci suggérerait largement l'utilisation d'une pièce intermédiaire pour laquelle l'entraînement en rotation se fait par une clavette.

Au final, quelques candidats proposent une solution globalement tout à fait satisfaisante fonctionnellement, mais aussi du point de vue des formes des pièces, ce qui est très appréciable compte tenu de la densité du sujet tant dans la partie notice que dans la partie de dessin de construction.

Calque 2 :

Cette partie située tout à fait en fin de sujet a été naturellement moins abordée. Un nombre non négligeable de candidats propose cependant des solutions intéressantes. C'est la liaison de la bielle avec la rotule qui a posé le plus de difficultés puisqu'elle nécessitait l'emploi d'une ou plusieurs pièces d'adaptation pour tenir compte de l'importante différence de diamètre. Les solutions proposées ont été souvent assez peu réalistes.

En revanche, la liaison de la rotule avec les paliers a été plutôt bien traitée. Le plus souvent, les candidats ont bien fait attention à centrer les différents composants et à annuler le jeu axial. Ils n'ont par contre une fois de plus pas le réflexe d'indiquer les ajustements pour préciser les jeux radiaux.

La liaison du palier avec le marbre devait se faire simplement par un appui-plan. Effectivement, le positionnement dans la direction de la bielle n'a pas d'intérêt puisque la bielle est de longueur réglable. Un positionnement dans la direction transverse est même gênant puisqu'il complique alors la liaison palier/rotule obligeant alors à avoir un dispositif de réglage du jeu axial.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Ne pas négliger la partie « dessin d'étude de construction mécanique ». Dans cette partie, ne pas oublier de dessiner correctement les éléments simples (roulements, joints à lèvres, éléments de visserie...), et indiquer les jeux fonctionnels ainsi que les ajustements.

Regarder l'ensemble du sujet afin d'aller chercher les parties dans lesquelles ils se sentent le plus à l'aise.

Ne pas appliquer systématiquement des solutions types (par exemple lorsqu'un encastrement par appui-plan est demandé, ne pas immédiatement proposer une solution de type appui-plan + pieds de centrage) mais prendre le temps d'analyser les spécificités du système étudié.

Connaître et maîtriser les connaissances de base : torseur de cohésion, formules de résistance de matériaux, application du PFS, application du théorème de l'énergie puissance, interprétation de tolérances au sens de la norme, désignation des matériaux, réalisation des liaisons élémentaires (encastrement, pivot), représentation de la visserie...

Développer leur culture technologique afin de proposer des solutions réalistes, par exemple en multipliant les activités d'analyse sur des systèmes réels.