

SESSION DE 2008

**CONCOURS EXTERNE
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS**

Section : GÉNIE MÉCANIQUE

ÉTUDE D'INDUSTRIALISATION

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche, y compris 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.

Ce sujet comporte:

- un fascicule sujet comprenant 3 parties identifiées, "Partie A", "Partie B", "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 "document-réponses" regroupés dans **trois chemises distinctes**:

PARTIE A : Etanchéité volumique du produit- relation matériau-procédé

PARTIE B : Industrialisation du corps de robinet

PARTIE C : Assemblage de l'ensemble « Détendeur HP »

Fascicule sujet

Avertissement :

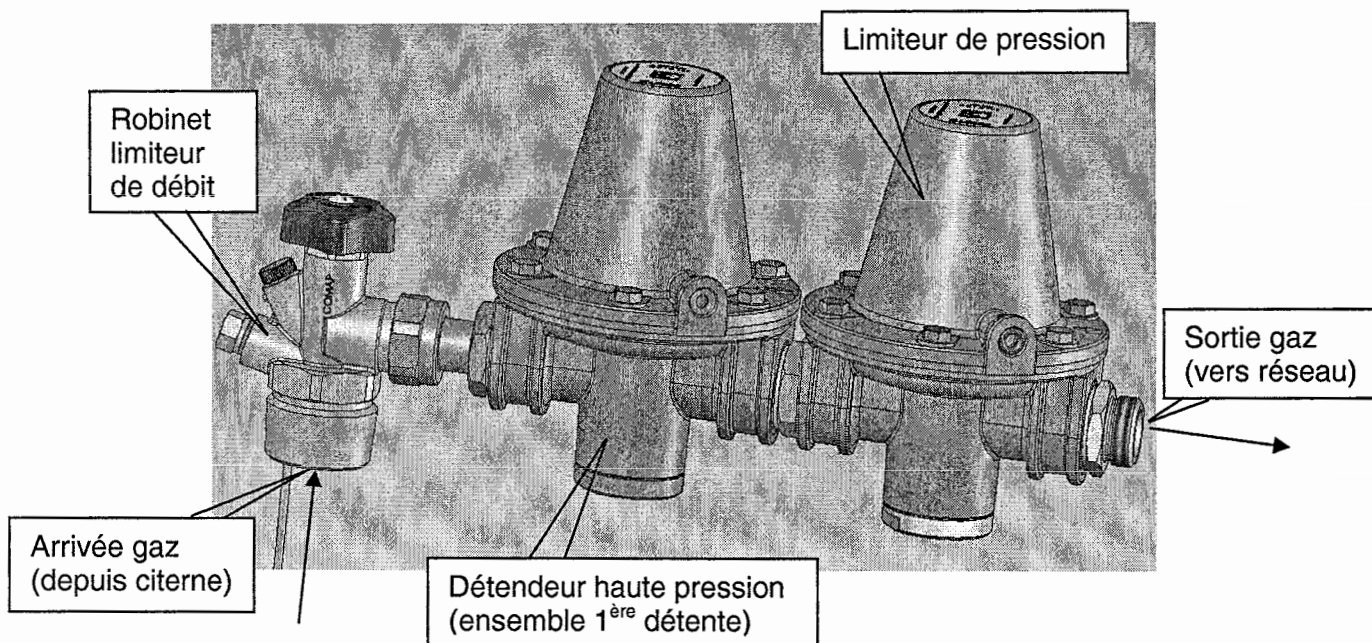
- Le candidat est invité à formuler toutes les hypothèses nécessaires à la résolution du problème posé.
- Il sera tenu compte dans la correction de la clarté et de la concision des réponses.

Organisation des documents associés au fascicule sujet :

- Une chemise DOSSIER "TECHNIQUE " dans laquelle des documents spécifiques au support de l'étude, sont identifiés
"DOCUMENT TECHNIQUE DT- [n° du document]" ;
- Une chemise DOSSIER "RESSOURCE" dans laquelle des documents extraits de catalogues sont identifiés
"DOCUMENT RESSOURCE DRS- [n° du document]" ;
- Une chemise DOSSIER "REPONSE" dans laquelle des documents utilisés pour répondre aux questions sont identifiés
"DOCUMENT REPONSE DR- [n° du document]" ;
- Les feuilles de copie compléteront ces documents réponse ;
- Les trois parties du sujet sont indépendantes.

MISE EN SITUATION

Le produit étudié est un ensemble de détente monté en sortie de cuves et réservoirs de gaz GPL, principalement à destination de l'industrie.



L'entreprise est spécialisée dans la conception, la fabrication et la commercialisation de produits pour les installations de circuits gaz (matériels de détente domestique et industriel, produits pour la carburation automobile, équipements de citerne GPL, ainsi que de nombreux accessoires tels que les détecteurs de gaz, raccords, tubes, flexibles, vannes, robinets, systèmes électroniques de contrôle...).

Dans le cadre de l'ouverture des marchés du gaz, l'entreprise souhaite anticiper une éventuelle fluctuation des commandes afin de répondre au mieux aux besoins.

PRESENTATION GENERALE DU SUJET

Le sujet se décompose en trois parties distinctes :

- **Partie A – ETANCHEITE VOLUMIQUE DU PRODUIT - RELATION MATERIAU-PROCEDE** : l'objectif sera dans cette partie d'analyser et de justifier différents choix techniques concernant la conception et la réalisation des pièces de l'ensemble robinet, détendeur et limiteur.
- **Partie B – INDUSTRIALISATION DU CORPS DE ROBINET** : cette partie abordera dans un premier temps l'étude de la gamme de fabrication standard de la pièce puis sera suivie d'une réflexion sur différentes solutions de réduction des coûts de production (approche multiposage ou investissements machines-outils à cinématique multiaxe).
- **Partie C – ASSEMBLAGE DU DETENDEUR** : l'étude consistera à proposer un graphe d'assemblage de l'ensemble après identification des opérations critiques, puis d'étudier les solutions de vérification des spécifications fonctionnelles de cet assemblage.

PARTIE A : ÉTANCHÉITÉ VOLUMIQUE DU PRODUIT – RELATION MATERIAU – PROCÉDÉ

La norme ISO 23550 :2004 spécifie les exigences de sécurité, de construction et de performance ainsi que les essais des dispositifs de sécurité, de commande ou de régulation et des sous-ensembles éventuels des appareils utilisant des combustibles gazeux tels que le gaz naturel, les gaz manufacturés ou les gaz de pétrole liquéfiés (GPL). Elle n'est pas applicable aux gaz corrosifs ni aux gaz provenant de déchets.

L'ISO 23550 :2004 est applicable aux équipements suivants :

- robinets automatiques de sectionnement ;
- régulateurs de pression ;
- robinets manuels ;
- robinets multifonctionnels ;
- dispositifs de surveillance de pression ;
- dispositifs de vérification d'étanchéité des robinets ;
- détendeurs à zéro.

Cette première partie du sujet s'intéresse plus particulièrement à l'exigence d'étanchéité qui conduit à un contrôle final sous la pression de 20 MPa et ses conséquences sur le choix des matériaux et des procédés de fabrication. L'ensemble de détente est usuellement constitué d'un détendeur et d'un limiteur différents l'un de l'autre par des valeurs spécifiques de tarage – document technique **DT- 1** – et d'un robinet – document technique **DT- 2**. Le corps du robinet est défini sur le document technique **DT- 3** et les cuves du détendeur ou du limiteur sur le document technique **DT- 4**.

A.1 ETUDE DE LA FONCTION ETANCHEITE :

A.1.1 Sur le document réponse **DR-A11**, repérer le circuit du gaz et identifier les composants de l'ensemble qui interviennent dans l'obtention de la fonction étanchéité.

La suite de l'étude se limitera au corps du robinet et à la cuve du détendeur. L'étanchéité aux liaisons ne fait pas partie du problème traité.

A.1.2 Quelles sont les principales causes de fuite que l'on peut rencontrer sur ce type de pièces. De quoi dépendent-elles ?

A.2 OBTENTION DE LA CUVE, ETAT BRUT – ETUDE DU RINÇAGE :

Les cuves de détendeur ou de limiteur sont produites à 1000 exemplaires par mois.

A.2.1 Compte tenu de la géométrie visée et des contraintes d'étanchéité, quelles sont les associations de matériaux et de procédés qui vous paraissent les plus aptes à remplir la fonction ?

Les pièces sont ensuite traitées par un procédé d'étanchage par imprégnation – **DRS-A21** – à base de résine polymérisable – **DRS-A22**.

A.2.2 A quelle place de la gamme générale de fabrication peut-on envisager de positionner ce traitement ?

Le procédé d'imprégnation impose un lavage des pièces avant polymérisation et la fiche « sécurité-produit » précise les risques écologiques liés à la toxicité et à l'élimination des produits.

La réglementation exige, quant à elle, une consommation maximale de 8 L/m² par fonction rinçage – Arrêté du 30 juin 2006 relatif aux installations de traitements de surfaces (JO n° 205 du 5 septembre 2006).

Les questions suivantes ont pour objet de comparer différents modes de rinçage et sélectionner celui le plus apte.

Données techniques utiles :

- Surfaces de la pièce : $s = 0,06 \text{ m}^2$;
- Rinçage par panier de 10 pièces ;
- Surface équivalente du panier : $S = 0,1 \text{ m}^2$;
- Débit d'entraînement : $e = 0,25 \text{ L/m}^2$. Le débit d'entraînement correspond au volume de liquide – eau+résine - emporté, par la surface d'un panier chargé, d'un bac de rinçage vers un autre. Il dépend de la géométrie générale des surfaces et de la nature du produit. Dans le cas étudié ce débit est considéré constant ;
- *La densité de la résine est approximée à la valeur 1 ;*
- Le bon déroulement de la phase de polymérisation impose sur la surface de la pièce une concentration maximale de résine de 10g/L d'eau de rinçage.

Notation :

- Rd : Le rapport de dilution de rinçage. Rd est égal au rapport des concentrations Cb du bain précédent et Cr du bain de rinçage ;
- V : volume du bac de rinçage ;
- Q : débit d'eau en L/h

A.2.3 Dans le cas d'un rinçage à l'eau courante, déterminer la quantité d'eau nécessaire au rinçage d'un mètre carré.

A.2.4 Dans le cas d'un rinçage statique, la concentration du bac de rinçage, d'une contenance de 100 L, évolue en fonction de la surface rincée et est changée quand la concentration limite (10 g/L) est atteinte. Déterminer l'évolution de la concentration en fonction de la surface. Calculer la surface rincée à la concentration limite et rapporter le résultat au volume d'eau nécessaire au rinçage d'un mètre carré.

A.2.5 Dans un rinçage cascade, la pièce circule à contre courant par rapport à l'eau. L'eau part de la dernière cuve de rinçage pour finir par passage en cascade dans la première cuve. Le débit d'eau est donc le même pour chaque cuve de rinçage. Déterminer le nombre de bacs à placer en cascade.

A.3 OBTENTION DU CORPS DE ROBINET, ETAT BRUT :

Le brut du corps de robinet est en laiton et le procédé retenu pour son obtention est le matriçage au moyen d'une matrice ouverte.

A.3.1 Quelles sont les raisons qui conduisent au choix de ce procédé?

A.3.2 Justifier l'organisation géométrique de la pièce au regard du procédé de brut et indiquer les surfaces de joints possibles sur le document réponse **DR-A32**. Faites un choix.

A.3.3 Les deux alliages retenus en première approche pour la pièce sont le CuZn39Pb2 (CW612N) et le CuZn40Pb2 (CW617N). Quelle est la raison qui conduit au choix de matériaux contenant l'élément d'alliage Pb? Comment peut-on se passer de cet élément d'addition ?

Pour mettre en évidence la modification relative du diagramme d'équilibre des laitons biphasés sous l'effet d'un élément d'alliage, on applique la théorie du titre fictif qui consiste à donner à tout élément d'addition au laiton binaire une équivalence en zinc.

$$\text{Soit } Cu' \% = Cu \% \cdot \frac{100}{100 + \delta \cdot (k - 1)}$$

avec $Cu' \%$: titre fictif,

$Cu \%$: titre réel,

δ : teneur de l'élément considéré,

k : coefficient d'équivalence.

Les coefficients d'équivalence des principaux éléments d'addition sont :

Ni = -1,2	Mn = 0,5	Sn = 2
Co = 1	Cd = 0,7	Al = 6
Pb = 0	Fe = 0,9	Si = 10

A la température de mise en œuvre, l'opération de matriçage nécessite la présence d'une structure biphasée, avec une proportion de phase β comprise entre 50 et 100%.

A.3.4 Pour chacun des alliages retenus, calculer le titre fictif en cuivre et déterminer en utilisant le document réponse **DR-A34** les plages optimales de température de matriçage.

A.3.5 Déterminer lequel des deux alliages est le mieux adapté au contexte de production ainsi que la température de mise en œuvre. Justifier les choix.

A.3.6 La norme NF EN 12165, relative aux barres corroyées et brutes d'alliages de cuivre pour matriçage, définit la composition des alliages retenus CW612N et CW617N (en version standard "Pb2" du fournisseur, voir **DRS-A36**).

Déterminer l'influence des variations de composition matière admissibles par la norme sur l'opération de matriçage.

A.3.7 Conclure quant au choix de l'alliage et à la mise au point de la phase de matriçage.

PARTIE B : INDUSTRIALISATION DU CORPS DE ROBINET

L'étude porte sur la réalisation du corps de robinet ECG612 (DT-3).
L'ensemble "Robinet" est présenté sur DT-2.

B.1 ETUDE DE LA GAMME STANDARD DE FABRICATION DES CORPS DE ROBINET :

L'entreprise réalise déjà plusieurs références dans la famille de pièces "corps de robinet". Le plan de production prévisionnel (environ 300 pièces/mois) étant proche des autres productions de la famille, le service "méthodes industrialisation" se propose donc tout naturellement d'appliquer à cette pièce la gamme standard mise en œuvre pour les autres références (DT-5).

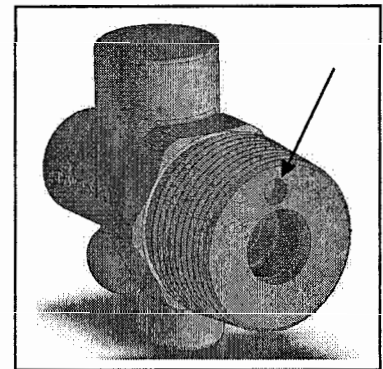
Prise de pièce en phase 20 :

B.1.1 Sur DR-B1.1 définir une solution de prise de pièce pour la phase 20 et justifier les choix effectués. (Toute solution usuelle de représentation acceptée : schématisation technologique des éléments, croquis 3D à main levée, vues projetées et coupes ...)

Réalisation du Ø6 mm : (groupe 1)

B.1.2 Justifier, d'un point de vue fonctionnel, la présence du Ø6 et analyser le tolérancement qui lui est associé sur le dessin de définition (DT-3).

B.1.3 Détailler la cinématique machine minimale nécessaire à la réalisation du groupement des entités "groupe 1" et justifier le choix du moyen mis en œuvre.



B.1.4 Proposer une définition des contrôles à mettre en place pour cette phase dans le contexte de production étudié.

Etude de l'opération de perçage profond (Ø 2,5 mm) :

Pour l'opération considérée, un carburier propose les outils suivants :

Diamètre du trou d ₁ :	2,500 mm	Sens de coupe:	A droite
Profondeur du trou T:	51,50 mm	Type de trou:	Trou débouchant
Long. supplémentaire L:	0,00 mm	Lubrification:	Externe
Longueur de raffûtage:	0,00 mm	Type d'usinage:	avec lubrifiant

Choix du groupe matières: 4.3 Laitons cassants

Valeurs de coupe:

Conseil : pour obtenir d'autres informations sur les différents outils, cliquez sur le code de commande

Code de commande		Vc m/min	n tr/min	f mm/tr	Vf mm/min	Lubrifiant	Fv kN	Md Nm	P kW	Temps copeaux	Nombre trous	L m	T min
A1547-2.5	■ ■	48	8112	0,05	308	Em. 5%	0,1	0	0,1	10,4	408	21,0	69
A1511-2.5	■ ■	43	5475	0,05	274	Em. 5%	0,2	0	0,1	11,6	408	21,0	77
A1522-2.5	■ ■	43	5475	0,05	274	Em. 5%	0,1	0	0,1	11,6	408	21,0	77
A1549TIP-2.5	TIP	61	7767	0,05	388	Em. 5%	0,1	0	0,1	8,2	544	28,0	72
A1549TFL-2.5	TFL	69	8785	0,05	439	Em. 5%	0,1	0	0,1	7,3	680	35,0	80

B.1.5 Définir les critères permettant d'identifier une opération de perçage profond, dresser la liste des paramètres influents ainsi que leur action sur la qualité de la réalisation.

B.1.6 Choisir la référence d'outil convenant le mieux au contexte de production en justifiant vos choix (voir **DRS-B16** pour les détails concernant les références proposées).

B.1.7 Proposer une stratégie d'usinage adaptée à l'opération.

B.1.8 Le passage sur un banc de cet ensemble outil/porte-outil de 750g (cône SA40 + pince type ER + foret) donne comme résultat d'équilibrage statique un balourd résiduel de 15 g.mm. Pour respecter un degré de qualité d'équilibrage $G=6,3$ la vitesse de rotation de l'ensemble est limitée à 3000 tr/min

Expliquer le phénomène par un croquis et dresser la liste des actions à entreprendre.

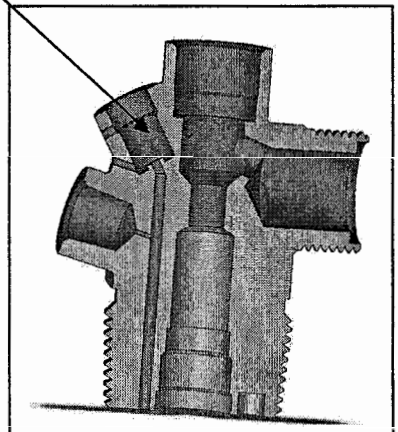
B.1.9 Pour la réalisation de ce perçage, des outils carbures monobloc ou à plaquette rapportée de type foret $\frac{3}{4}$ (appelés également foret une lèvre ou foret canon) peuvent être utilisés. Préciser les avantages de cette solution et donner, selon vous, la raison principale pour laquelle le carburier ne propose pas ce type d'outil (pourtant disponible à son catalogue) pour cette opération.

Réalisation de l'assise de bouchon de niveau maxi : (groupe 4)

Ces surfaces de la pièce permettent l'assemblage d'un bouchon. Lors de la phase de remplissage de la cuve, ce bouchon est desserré manuellement. Lorsque le niveau maximum est atteint (85% du volume de la cuve), le gaz en phase liquide s'évacue par le perçage $\varnothing 1,5$ mm.

B.1.10 Expliciter le critère micro-géométrique d'état de surface utilisé et justifier sa présence d'un point de vue fonctionnel.

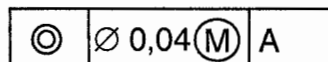
B.1.11 Proposer un ordonnancement des opérations relatives au groupe de surfaces 4 (voir **DT-5**) en détaillant et en justifiant les choix réalisés. (Opérations, géométries d'outils, ordonnancement...)



B.1.12 Proposer une solution de contrôle adaptée à la spécification microgéométrique réalisée.

Alésages du robinet : (groupe 3)

B.1.13 Sur **DR-B1.13**, détailler la spécification :



B.1.14 Justifier la présence de cette spécification d'un point de vue fonctionnel.

B.1.15 Définir le problème posé par la réalisation de cette spécification dans le cadre d'une industrialisation de produit en série et proposer une organisation de travail permettant de le traiter.

B.2 OPTIMISATION DE LA PRODUCTION :

En prévision d'une forte fluctuation des commandes et afin de pouvoir choisir la stratégie adéquate en fonction de la charge de production, l'entreprise désire étudier deux solutions alternatives de fabrication des corps de robinet.

Approche multiposage :

La première solution envisagée est de réduire le temps série pour la phase de fraisage. Une étude préliminaire montre que la solution la plus intéressante est de réaliser plusieurs pièces simultanément, ce qui est difficilement envisageable sur le centre horizontal.

L'option retenue est donc de transférer la production sur un centre d'usinage vertical équipé d'un diviseur à commande numérique et d'une poupée mobile (voir **DRS-B21**). Le positionnement des pièces est obtenu par un porte pièce permettant l'usinage en panoplie de la phase 30.

B.2.1 Sur **DR-B21**, choisir et représenter l'implantation de solutions technologiques pour les éléments de liaison porte-pièce / machine et définir la cotation d'aptitude à l'emploi du porte-pièce.

B.2.2 Le diviseur à commande numérique qui équipe le centre d'usinage est piloté par le directeur de commande et permet une indexation rapide à la vitesse de 120°/s. Justifier le fait qu'il ne soit considéré que comme un ½ axe.

B.2.3 Déterminer la stratégie la mieux adaptée d'un point de vue temps de cycle pour la réalisation d'une phase d'usinage à l'aide de cet équipement.

Approche avec investissement machine :

L'entreprise souhaite étudier l'intérêt d'un éventuel investissement dans un centre de tournage fraisage bi-broche.

Son choix se porte sur le Genymab 400 équipé d'une seconde broche (poupée mobile) et d'un axe B (voir **DRS-B24**).

B.2.4 Justifier le choix de ces deux options dans le cadre de la fabrication étudiée.

B.2.5 Le fabricant propose également en option une tourelle avant équipée de porte-outils de tournage. Cette option présente-t-elle un intérêt dans le contexte étudié?

Comparaison des différentes solutions :

B.2.6 Proposer une analyse comparative des différentes solutions envisagées, en précisant toutes les hypothèses utiles, notamment concernant les écarts attendus sur les temps manuels, techno-manuels, masqués et série.

PARTIE C : ASSEMBLAGE DE L'ENSEMBLE "DETENDEUR HP"

C.1 TRAVAIL PREPARATOIRE A L'ELABORATION DE LA GAMME :

C.1.1 À partir du dessin d'ensemble du détendeur – **DT-1** –, déterminer la nature des liaisons d'assemblages présentes dans le produit et les contraintes techniques de réalisation.

C.1.2 Identifier les sous-ensembles d'assemblage.

C2 DEFINITION DE L'ASSEMBLAGE

C2.1 Proposer, avec le modèle de représentation de votre choix, une gamme d'assemblage de l'ensemble « Détendeur HP ». Préciser si besoin les procédés mis en œuvre et outillages spécifiques à concevoir.

C2.2 Proposer une organisation des postes en indiquant les critères retenus.

C3 CONTROLE DE L'ETANCHEITE

Le contrôle de l'étanchéité est fait pour l'intégralité de la production.

C3.1 Quelles sont les différentes techniques envisageables ?

L'entreprise utilise un poste de travail manuel équipé d'un sablier « 3 minutes » et d'un manomètre sur lequel l'opérateur vérifie le non déplacement de l'aiguille à l'issue du temps de mise en pression.

C3.2 Afin d'améliorer la qualité du contrôle, on souhaite modifier le protocole. Identifier les principales causes d'erreur sur l'appréciation de l'étanchéité et proposer un nouveau protocole.