

Fascicule sujet

Sommaire:

Mise en situation	Page 2
Partie A Etude des procédés primaires d'obtention.	Page 3
Partie B Etude et définition de processus.	Page 9
Partie C Maîtrise des paramètres, qualité et contrôle	Page 11

Avertissement :

- Le candidat est invité à formuler toutes les hypothèses nécessaires à la résolution du problème posé.
- Les parties A, B et C utilisent le même support mais le candidat peut tirer avantage d'une lecture complète du sujet afin de valoriser au mieux ses compétences.

Organisation des documents associés au fascicule sujet :

- 1 chemise DOSSIER "TECHNIQUE " dans laquelle des documents spécifiques au support de l'étude, seront identifiés "DOCUMENT TECHNIQUE DT [n° du document]",
- 1 chemise DOSSIER "RESSOURCES" dans laquelle des documents extraits de catalogues seront identifiés "DOCUMENT RESSOURCE DRS [n° du document]",
- Les documents anonymables peuvent être utilisés comme « Document Réponse ».

MISE EN SITUATION

La boîte de vitesses présentée sur les documents DT0-1 et DT0-2 est prochainement appelée à équiper de nouveaux modèles de véhicules plus puissants. L'entreprise qui la commercialise et qui la fabrique est amenée à reconsidérer l'industrialisation du produit du point de vue des matériaux et des procédés. De nombreuses recherches de solutions seront mises en place. Elles pourront parfois être lourdes de conséquences sur les réaménagements de l'outil de production.

Chaque boîte de vitesses comporte actuellement le sous-ensemble (figure1) dont la production est de l'ordre de 1400 par jour. Le sujet se propose d'étudier différentes problématiques spécifiques à ce sous-ensemble.

Les commentaires installés sur la figure ci-dessous présentent les études à conduire.

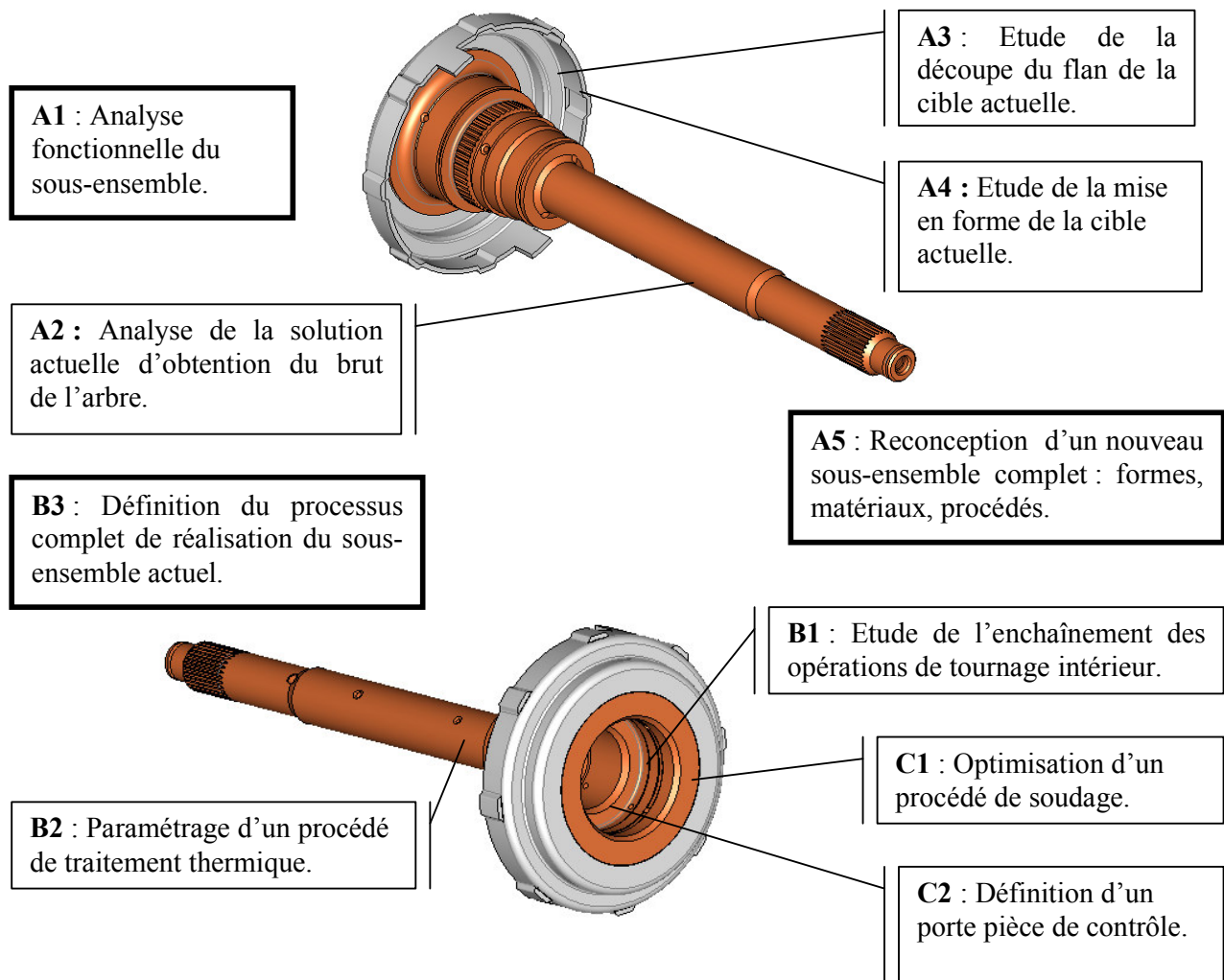


Figure 1.

A. ETUDE DES PROCEDES PRIMAIRES.

A.1 Analyse fonctionnelle du sous-ensemble : arbre + cible.

L'environnement direct du sous-ensemble est défini sur les documents DT0-1 et DT0-2.

Le sous-ensemble étudié est défini sur le document DT2.

La cible est définie sur le dessin document DT1, elle est liée complètement à l'arbre.

A.1.1 Justifier d'un point de vue fonctionnel pour le mécanisme étudié les groupes de spécifications suivantes :

-a- 8 x

	0,2	B	A
--	-----	---	---

 coupe E-E DT1

-b-

	$\varnothing 0,3$	E
--	-------------------	---

 coupe E-E DT1

-c-

	0,3	B	A
--	-----	---	---

 ; $\varnothing 132,2 \pm 0,2$ coupe D-D DT1

et ; $\varnothing 127,8 \pm 0,2$ coupe E-E DT1

-d- $\varnothing 80 H9$, R(sans cote numérique), $\varnothing 102,8 \pm 0,05$ coupe D-D DT1

et $\sqrt[4]{FG - ED}$ sur L3 coupe D-D DT1

A.1.2 La soudure laser assure la liaison complète de la cible avec l'arbre (document DT2), justifier la cotation installée au détail C du document DT1.

La cible comporte deux pattes.

A.1.3 Donner le rôle de ces deux pattes.

A.1.4 Justifier la difficulté à définir précisément la forme des congés de raccordement (définie Vue suivant H sur le document DT1).

A.2 Analyse de la solution actuelle d'obtention du brut de l'arbre.

Une étude préliminaire a permis de conclure, pour l'obtention du brut de l'arbre, au forgeage par refoulement à chaud.

A.2.1 Justifier soigneusement le choix d'un tel procédé et définir complètement les différentes formes avant décolletage.

A.2.2 Décrire complètement le processus permettant l'obtention de ce brut.

A.3 Etude de la découpe du flan de la cible actuelle.

La cible est réalisée par emboutissage d'une tôle d'épaisseur 2,5 mm en acier de nuance HE 360 D.

Pour cela, il est nécessaire de découper des flans capables. Le procédé retenu pour obtenir ces flans est la découpe dans une bande.

Cette partie s'intéresse à définir cette opération, c'est-à-dire :

- la forme optimale du flan de départ
- la largeur de bande et le pas d'avance pour un taux de chute minimum
- l'effort mis en jeu dans cette opération

A.3.1 A partir du document DT1, définir la géométrie de la remise à plat de la cible et la surface S_f du flan minimum obtenu. Justifier la méthode et les hypothèses de calcul (pour simplifier la ligne neutre est considérée confondue avec la ligne moyenne).

En considérant maintenant un flan circulaire de \varnothing 171 mm avec deux oreilles (largeur x hauteur : 18mm x 9mm) pour l'obtention des deux pattes de la cible :

A.3.2 Justifier le diamètre du flan, la largeur et la hauteur des oreilles.

A.3.3 En respectant les préconisations de mise en bande du document DT4, proposer un schéma montrant une disposition des flans sur deux rangées parallèles qui minimise le taux de chute T_c , calculer celui-ci. $T_c = \frac{S_{b/f} - S_f}{S_{b/f}}$ avec $S_{b/f}$ = surface

de bande utilisée pour un flan. Précisez sur le schéma les valeurs du pas d'avance et de la largeur de bande.

A.3.4 Comparer le taux de chute final T_c obtenu avec celui d'une disposition sur une seule rangée, conclure.

A.3.5 Donner la signification du nombre 360 et de la lettre D dans HE 360 D

A.3.6 En considérant une vague de coupe de 5° en bout de poinçon, déterminer à nouveau l'effort nécessaire maximal à cette opération. Conclure sur l'intérêt de cet aménagement de la géométrie du poinçon ; quelle conséquence y aura-t-il sur le bruit occasionné par la découpe ?

Sur le document DT1, figure une spécification  imposant qu'un tiers, au moins, de l'épaisseur soit découpée et non arrachée.

A.3.7 Expliquer l'existence de deux zones sur la tranche découpée et les paramètres qui influent sur leur proportion.

Le procédé de découpage fin (non retenu ici) permettrait d'obtenir 100% de zone de découpe et aucune zone d'arrachement.

A.3.8 Présenter succinctement ce procédé et expliquer précisément ce qui permet le découpage sans rupture.

A.4 Etude de la mise en forme de la cible actuelle.

Le flan précédemment étudié est ensuite mis en forme suivant la gamme de fabrication présentée au document DT5. Le moyen de fabrication retenu est une presse unique à huit postes équipée d'un outil transfert et de pinces pour le transfert des pièces.

Cette partie s'intéresse à l'expression de la déformation de la tôle dans l'opération d'emboutissage OP10, à la justification du détournage dans l'opération OP20, ainsi qu'à la justification des opérations de finition OP 60 et OP 70.

Analyse de l'opération d'emboutissage cylindrique OP10.

Dans cette partie, la tôle sera considérée comme un matériau isotrope.

Les modes de déformation dans ce type d'opération peuvent être en expansion ($\epsilon_1 > 0$, $\epsilon_2 > 0$) ou en rétreint ($\epsilon_1 > 0$, $\epsilon_2 < 0$)

En tout point du plan de la tôle, ϵ_1 représentera la déformation radiale du flan au cours de l'OP10, ϵ_2 la déformation perpendiculaire à ϵ_1 , ϵ_3 la déformation dans l'épaisseur.

A.4.1 Définir les causes, lors de la mise en œuvre, qui empêcheraient la tôle de glisser (déformation en expansion). Quel danger cela présente-t-il ?

Pour observer l'état de déformation de la tôle en tout point, des réseaux de cercle peuvent être gravés par procédé électrolytique sur le flan. Ils ont souvent un diamètre de 5 mm et une répartition sous forme d'une grille qui les rend tangents par exemple.

Pendant l'OP10, on se place dans le cas idéal d'emboutissage où l'épaisseur de la tôle ne varie pas (cisaillement pur).

A.4.2 Dessiner la déformée d'un cercle en un point de cisaillement pur, de compression uni axiale, de traction uni axiale. Justifier les dimensions données aux cercles déformés.

A.4.3 Montrer que la zone 1 (document DT3) située entre le serre flan et la matrice est une zone de rétreint.

A.4.4 Calculer la déformation ϵ_2 maximale obtenue au cours de l'opération. Justifier et situer celle-ci.

On considère maintenant que l'opération OP10 transforme un flan de diamètre 171 mm en un embouti de diamètre intérieur 103 mm.

A.4.5 Montrer que l'on n'atteint jamais la limite à rupture dans la zone de traction tubulaire, même si l'on emboutissait complètement le flan (zone 3 du document DT3).

A.4.6 Indiquer le parcours de déformation dans le plan (ϵ_1 , ϵ_2) d'un point de la périphérie du flan au cours de l'emboutissage.

Justification du détourage dans l'opération OP20

L'opération OP20 comprend une opération de détourage rendue nécessaire par l'anisotropie de la tôle. Ce phénomène est représenté par le coefficient d'anisotropie $r = \frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_3}$ où \mathcal{E}_2 et \mathcal{E}_3 sont respectivement les déformations rationnelles principales en largeur et en épaisseur lors d'un essai de traction.

Au document DT6 est donnée la variation de ce coefficient r en fonction de l'angle θ (angle entre la direction de traction et la direction de laminage de la tôle) : $r(\theta)$.

On peut calculer un coefficient d'anisotropie moyen $\bar{r} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} r(\theta) d\theta$

A.4.7 Justifier qu'une forte valeur du coefficient \bar{r} traduit une bonne aptitude à l'emboutissage de la tôle.

A.4.8 Exprimer \mathcal{E}_1 en fonction de \mathcal{E}_2 et de \bar{r} .

A.4.9 Calculer l'allongement du métal suivant un rayon lors de l'emboutissage cylindrique complet d'un flan de rayon R_{flan} en un embouti de rayon intérieur $r_{\text{poinçon}}$. Exprimer cet allongement en fonction de R_{flan} , $r_{\text{poinçon}}$, et $r(\theta)$. La démarche s'appuiera sur le document DT7. Pour simplifier le calcul géométrique, les rayons d'entrée matrice, rayon de bout de poinçon et l'épaisseur de la tôle seront considérés comme nuls.

A.4.10 Tracer l'évolution de cet allongement en fonction de l'angle θ . (On prendra $R_{\text{flan}} = 85,5$ mm et $r_{\text{poinçon}} = 51,5$ mm).

A.4.11 Dessiner une perspective isométrique de cet embouti en situant les cornes d'emboutissage en fonction de l'angle θ .

A.4.12 Justifier la nécessité d'effectuer un détourage à l'opération OP20 en s'appuyant sur la cotation installée au document DT1.

Justification des opérations OP60 et OP70

A.4.13 Indiquer les surfaces concernées par ces opérations.

A.4.14 Indiquer les particularités de déformation du métal qui sont associées à ces opérations de finition.

A.5 Reconception partielle d'un nouveau sous-ensemble complet

L'évolution prochaine de la boîte de vitesse nécessite cette reconception qui pourra agir sur les formes, les matériaux et les procédés.

Le cahier des charges minimum de ce sous-ensemble pourra être le suivant :

- Limite minimale à la fatigue de 550 Mpa pour l'arbre d'entrée.
- Contrainte de cisaillement élastique compatible avec les nouvelles performances : puissance nominale à transmettre de 110Kw à 3500 tr/min.
- Procédés de grande série.

Remarques : La remise en cause des formes pourra être importante (exemple : les cannelures peuvent être remplacées par toutes autres formes équivalentes en termes de fonction). Vous attacherez une attention particulière à l'adéquation entre formes, matériaux et procédés.

On souhaite minimiser la masse et le coût matière de l'arbre d'entrée. Pour simplifier les calculs, l'arbre d'entrée sera considéré comme plein.

A.5.1 Montrer que la masse de l'arbre plein soumis essentiellement à la torsion admet la relation suivante : $m \geq \left(\frac{4 \times \sqrt{\pi} \times T}{L^3} \right)^{2/3} \times L^3 \times \frac{\rho}{\sigma_l^{2/3}}$ avec T(Nm) le couple de torsion, ρ (kg/m³) la masse volumique, L(m) la longueur de l'arbre et σ_l (Mpa) la contrainte limite en endurance (ou limite élastique) telle que $\sigma_l = 2 \times \tau_l$ (Critère de TRESCA).

A.5.2 A partir des abaques proposés (DRS1-1, DRS1-2, DRS1-3, DRS1-4), mettre en place une démarche graphique montrant que le matériau actuel de l'arbre d'entrée (XC38H2) peut être remplacé par un acier faiblement allié. Cette recherche sera basée sur l'optimisation de $\frac{\rho}{\sigma_l^{2/3}}$ et/ou $\frac{C_m \times \rho}{\sigma_l^{2/3}}$ (indices de performance pour le choix de matériaux). C_m (EUR/kg) désigne le coût massique.

A.5.3 Quel(s) intérêt(s) économique(s) y a-t-il à effectuer ce changement de matériau.

B. Etude et définition de processus.

L'arbre d'entrée fait référence à un processus relativement complexe que l'on peut décomposer en trois étapes :

- première étape : obtention d'un brut primaire.
- deuxième étape : obtention des différentes surfaces intérieures et extérieures par décolletage, de sorte qu'une surépaisseur constante demeure sur les surfaces délicates.
- troisième étape : finition de l'arbre d'entrée et assemblage avec la cible d'entrée.

Dans cette partie, il sera plus précisément question de cette troisième étape.

B.1 Définition d'un processus de fabrication.

Le processus complet relatif à cette troisième étape comprend les opérations suivantes : Trempe hautes fréquences, perçages des différents trous radiaux, tournage extérieur + gorges, tournage intérieur + galetage, rectification extérieure, roulage des deux cannelures, ébavurage électrochimique, soudage laser de la cible d'entrée sur l'arbre d'entrée, redressage. Pour chacune de ces opérations vous disposez des temps de cycle avant optimisation ainsi que des modalités de fonctionnement de la ligne de production sur le document DRS2.

B.1.1 Justifier la nécessité d'assembler la cible d'entrée sur l'arbre d'entrée avant certaines opérations de fabrication.

B.1.2 Etablir un graphe chronologique des opérations du processus complet de réalisation du sous-ensemble actuel.

B.1.3 Déterminer la cadence de production de la ligne actuelle. Proposez une (ou plusieurs) modification(s) de la ligne de production afin de respecter la cadence initialement souhaitée.

B.2 Etude de l'enchaînement des opérations de tournage intérieur.

La qualité des surfaces de contact avec le moyeu d'alimentation relié au distributeur hydraulique (DT0-1, DT0-2, DT2 détails F et G) justifie la mise en place d'opérations de galetage ($\phi 54H7$ et $\phi 32H7$). Ces opérations se déroulent sur un tour classique à commande numérique 2 axes.

B.2.1 Enumérer en le justifiant, les spécifications à porter sur les surfaces avant galetage pour obtenir la qualité finale souhaitée.

B.2.2 Montrer que ces spécifications sont conditionnées en partie par le choix du rayon de bec et de la vitesse d'avance.

B.2.3 Elaborer le contrat de la phase de tournage des surfaces intérieures: Documents réponses DR2-1 et DR2-2. DR2-2 comporte un certain nombre de silhouettes que vous complétez. Indiquer sur ces documents :

- Le choix des outils
- Le choix des conditions de coupe
- Le choix des cycles (trajectoires de finitions)
- L'organisation des différentes opérations.
- La définition de la prise de pièce (seconde partie de la norme)

Nota Bene : Les bavures ne sont pas tolérées. Des stratégies pourront être adoptées afin d'en faciliter l'élimination. Les trous $\phi 12$, $\phi 16 \pm 0.1$, le chanfrein d'angle 49.82° et trou $\phi 31.9$ mini ne sont pas à étudier.

B.2.4 Définir la cotation de fabrication de cette phase de tournage.

B.3 Paramétrage d'un procédé de traitement thermique.

Dans cette partie, on s'intéresse à l'obtention sur l'arbre d'une dureté de surface HV10 > 500 pour la zone à traiter définie au document DT2.

Au document DR3, six micrographies sont présentées. Elles correspondent à des coupes réalisées dans une éprouvette JOMINY aux distances JOMINY suivantes : 1mm, 5mm, 7mm, 14mm, 20mm et 45mm.

B.3.1 Ordonner les différentes micrographies en indiquant le repère sur la courbe TRC et la profondeur JOMINY associée. Définir la composition correspondant à chacune des micrographies. Répondre sur le document DR3.

B.3.2 Justifier le choix de ce traitement thermique pour l'obtention de la spécification de dureté définie sur le document DT2.

B.3.3 Déterminer les valeurs des paramètres du traitement thermique nécessaire à l'obtention de cette dureté.

B.3.4 Etudier la composition dans l'épaisseur du matériau après trempé.

B.3.5 On observe, à l'issue de ce traitement thermique, une déformation de l'arbre nécessitant une opération de redressage. Enoncer les causes possibles de ces déformations.

C. Maîtrise des paramètres, qualité et contrôle.

C.1 Optimisation d'un procédé de soudage.

L'opération d'assemblage de la cible sur l'arbre est réalisée par soudage laser.

C.1.1 Enoncer les principaux avantages de ce procédé.

C.1.2 Justifier l'importance des paramètres suivants dans la qualité du cordon de soudure obtenu.

- Vitesse de déplacement
- Débit de gaz
- Puissance du faisceau
- Valeur focale

La mise au point d'un tel procédé s'effectue en utilisant la méthode des plans d'expériences. La démarche adoptée est basée sur la méthodologie de GENICHI TAGUCHI.

Il s'agit de maîtriser deux objectifs :

- la profondeur de la pénétration,
- la largeur du cordon.

L'étude porte également sur les interactions :

- Débit/Puissance.
- Vitesse/Puissance.
- Vitesse/Débit.

Des deux objectifs précédents, on étudie seule la profondeur de pénétration est étudiée (documents : DT9, DRS5-1 et DRS5-2).

C.1.3 Calculer, représenter et commenter les effets simples.

C.1.4 Calculer, représenter et commenter les effets des interactions.

C.1.5 Effectuer une analyse de la variance, conclure sur la significativité des différents termes du modèle.

Une seconde série de données est présentée au document DT10.

C.1.6 Refaire l'analyse de la variance et conclure en citant les paramètres ou interactions significatifs en s'appuyant sur le document DRS5-2. Cette analyse est basée sur l'étude du rapport des variances $\frac{VA}{Vr}$ ou $\frac{VAB}{Vr}$ suivant qu'il s'agit d'un facteur simple ou d'une interaction. Dans les tables du document DRS5-2 ν_1 désigne le nombre de degrés de liberté du numérateur et ν_2 le nombre de degrés de liberté du dénominateur. Le seuil de confiance retenu sera de 0.05.

NOTA BENE : Pour être significatif le rapport des variances observé doit être supérieur à celui contenu dans les tables.

C.1.7 Proposer un modèle matriciel de l'étude.

On souhaite obtenir une pénétration de 2,5 mm

C.1.8 Tracer la courbe d'iso réponse pour cette pénétration.

C.2 Définition d'un porte pièce de contrôle.

La réalisation de la cote 52.1 doit être maîtrisée (détail G document DT2), cela nécessite d'effectuer plusieurs usinages (Document DT12).

C.2.1 Tester cette distribution et conclure sur la surveillance du procédé par carte de contrôle.

C.2.2 Réaliser un croquis détaillé à main levée d'un outillage de contrôle sur poste (document réponse DR4) permettant de qualifier la spécification de position définie sur le détail G du document DT2 relativement à la dimension théorique de 52,1.

L'élément mesurant retenu sera le capteur « ETAMIC » LVDT ZDB103 (documents DT13, DT14, DRS6-1 et DRS6-2).

On s'intéressera en particulier aux fonctions :

- FP1 : le contrôle doit respecter au mieux l'interprétation de la spécification au sens de la norme
- FC1 : montage/démontage rapide la pièce
- FC2 : positionner la pièce sous la tête de mesure.

C.2.3 Proposer une cotation d'aptitude à l'emploi du montage de contrôle.