

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
INDUSTRIALISATION DES PRODUITS MÉCANIQUES

E4 : ÉTUDE DE PRÉINDUSTRIALISATION

SESSION 2017

CORRIGÉ

Ce document comporte 24 pages

Problématique 1 : Proposer un graphe d'assemblage

Question 1.1 : Compléter le graphe d'assemblage des différentes pièces équipant le collecteur, avant son montage sur l'ensemble pompe.



Problématique 2 : Étudier la relation produit - procédé - matériau

Question 2.1 : Le matériau actuel est un acier inoxydable **X 5 Cr Ni 18-10**. Préciser sa composition.

X	Acier fortement allié
5	0,05 % de carbone
Cr	Chrome
Ni	Nickel
18	18% de chrome
10	10% de nickel

Question 2.2 : Indiquer la nécessité du faible pourcentage de carbone dans l'obtention du collecteur (voir DRS1 (1/3)).

L'acier composé de nickel et de chrome est austénitique donc est apte au soudage.

Question 2.3 : Quelle est la résistance minimale à la rupture par extension de ce matériau (voir DRS1 (1/3)) ?

Rmini = 510MPa

Question 2.4 : Quelle est la température maximale à laquelle le matériau du collecteur peut être soumis (voir page 5/18) ?

Tmaxi = 220 °C

DR 2-2

Question 2.5 : A l'aide du graphique matière 1 « Résistance à la rupture par extension / Température maximale d'utilisation » (voir DRS1 (2/3)), indiquer par une croix dans le tableau, les matériaux compatibles avec l'exigence de résistance minimale à la rupture par extension et avec l'exigence de température d'utilisation. En synthèse indiquer, dans la dernière colonne, les matériaux compatibles avec ces deux critères.

	Critères		Matériaux compatibles avec les deux critères.
	Résistance à la rupture par extension	Température maximale d'utilisation	
Acier à basse teneur en carbone	X	X	X
Acier faiblement allié	X	X	X
Acier inoxydable	X	X	X
Alliage d'aluminium pour fonderie			
Alliage de d'aluminium pour forgeage et laminage susceptibles de durcissement par traitement thermique	X		
Alliage de magnésium pour fonderie			
Alliages de titane	X	X	X
Fonte à graphite lamellaire		X	
Fonte à graphite sphéroïdal	X	X	X
Mousses polymériques rigides (haute densité HD)			

DR 2-3

Question 2.6 : A l'aide du graphique procédé « Taille de la série / Coût relatif de l'outillage » (voir DRS1 (2/3)), indiquer les procédés compatibles avec l'exigence de taille de série. On rappelle que la série est envisagée sur 5 ans. Indiquer dans ce même tableau les procédés compatibles avec le coût relatif faible de l'outillage pour réaliser le collecteur (formes générales et dimensions). En synthèse indiquer, dans la dernière colonne, les procédés compatibles avec ces deux critères.

	Critères		Procédés compatibles avec les deux critères.
	Taille de la série	Coût relatif faible de l'outillage (formes générales et dimensions)	
Fonderie en sable	X	X	X
Fonderie en moule vaporisable avec coquille céramique	X	X	X
Fonderie à la cire perdue	X	X	X
Fonderie en sable avec modèle vaporisable	X	X	X
Forgeage	X		
Impression 3D		X	

Question 2.7 : Ce choix de procédé d'obtention du brut fait par la société Adixen vous paraît-il approprié ? Justifier.

Le procédé d'obtention du brut par moulage en sable est approprié en regard de la taille de la série et du faible coût de l'outillage.

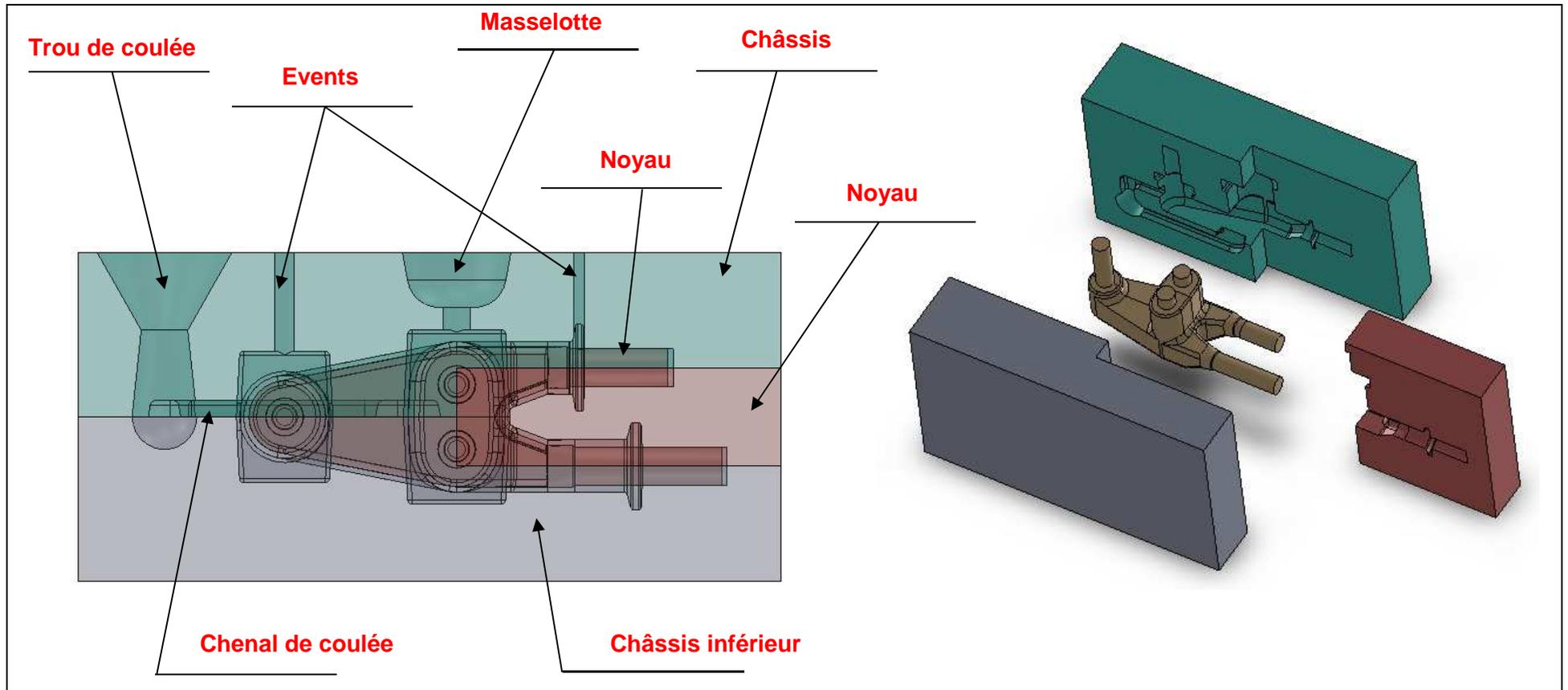
Question 2.8 : A l'aide du graphique matière 2 « Coulabilité / Prix matière », en tenant compte de votre réponse à la question 2.5 (voir DRS1 (3/3)), indiquer si ce choix de matériau est approprié. Justifier.

Le choix de ce matériau EN-GJS 500-7 est approprié.

- 1 – La résistance minimale à la rupture par extension de 500 MPa est compatible avec le cahier des charges.**
- 2 – La température maximale d'utilisation est bien supérieure à celle imposée par le cahier des charges.**
- 3 – C'est une fonte à graphite sphéroïdal avec un indice de coulabilité important donc compatible avec le procédé d'obtention du brut choisi.**
- 4 – Le prix matière est faible.**

Problématique 3 : Étudier la faisabilité d'un procédé d'obtention de brut

Question 3.1 : Repérer les deux châssis, les noyaux intérieur et extérieur, le(s) chenal(aux) de coulée, les événements, la masselotte.



Question 3.2 : Justifier la présence d'un noyau intérieur et d'un noyau extérieur.

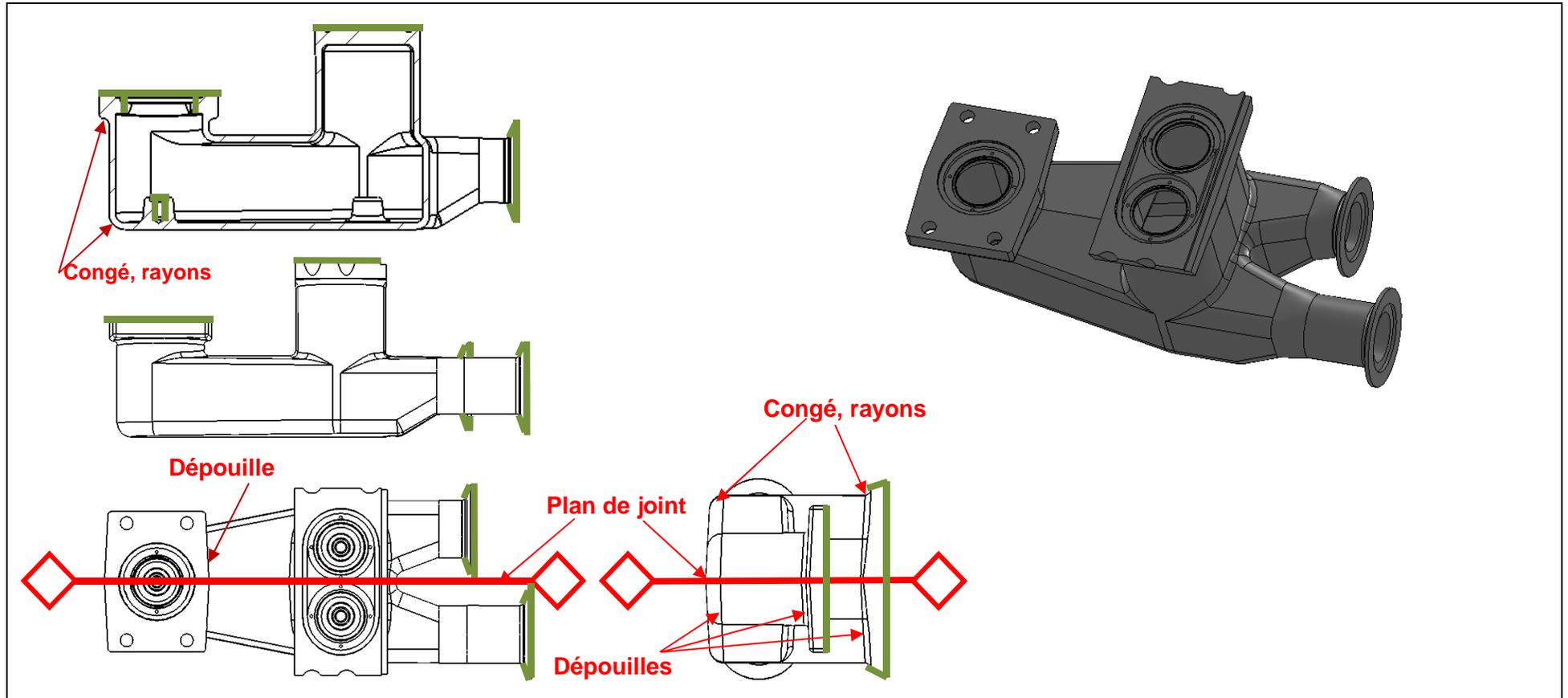
**Les noyaux intérieurs permettent d'obtenir toutes les formes intérieures de la pièce.
Le noyau extérieur permet d'éviter les contre dépouilles.**

DR 3-2

Question 3.3 : Désigner et repérer par une flèche le plan de joint.

Question 3.4 : Mettre en place sur toutes les vues, en vert, les surépaisseurs d'usinage.

Question 3.5 : Mettre en place sur toutes les vues, en bleu, les dépouilles et congés nécessaires à l'extraction du modèle.



Problématique 4 : Choisir un procédé en fonction de critères économiques

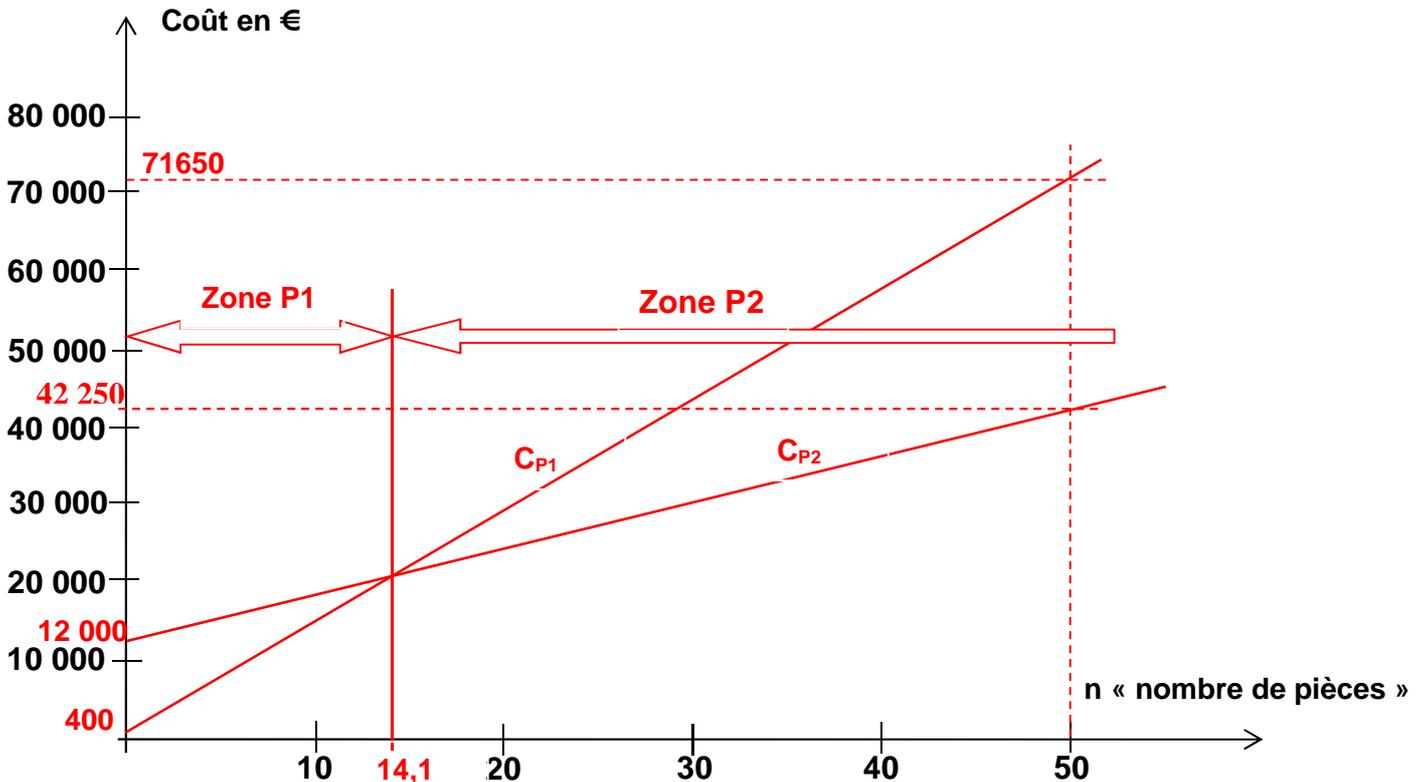
Question 4.1 : Compléter le tableau des données.

	Coût outillage	Coût pièce (hors outillage)
Processus actuel P1	400	1200 + 25 + 200 = 1425
Processus envisagé P2	12000	400 + 5 + 200 = 605

Question 4.2 : Pour chaque procédé, écrire les équations donnant le coût de revient $C_{P1} = f(n)$ et $C_{P2} = g(n)$. La variable n représente le nombre de pièces réalisées.

Processus actuel P1	$C_{P1} = 1425 \cdot n + 400$
Processus envisagé P2	$C_{P2} = 605 \cdot n + 12000$

Question 4.3 : Sur le graphe, tracer les deux courbes $C_{P1} = f(n)$ et $C_{P2} = g(n)$.



DR 4-2

Question 4.4 : Sur le graphe délimiter les zones de rentabilité **Zone P1** et **Zone P2** de chaque procédé. En déduire, par la méthode de votre choix (graphique ou par calcul), le seuil de retour sur investissement.

Au seuil de retour sur investissement :

$$1425 \cdot n + 400 = 605 \cdot n + 12000 \rightarrow 820 \cdot n = 11600 \rightarrow n = 14,1$$

On prendra 15 comme seuil de retour sur investissement.

Question 4.5 : Le nombre de pièces par série étant connu, le groupe de travail peut-il à ce stade entériner le choix du deuxième procédé ? Justifier.

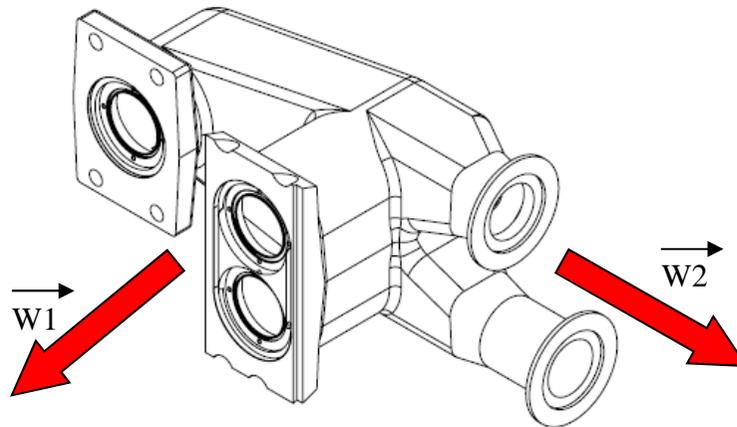
Le processus d'obtention du brut par moulage en sable est rentable dès la 15^{ème} pièce. La série étant de 2000 pièces, il faut choisir ce procédé.

DR 5-1

Problématique 5 : Définir le processus prévisionnel de fabrication

Question 5.1 : Définir les différentes directions principales d'usinage de la pièce. Sur la vue en perspective du collecteur, noter par **Wi** chacune des directions principales d'usinage, **i** étant le numéro de cette direction (1, 2, 3,)

Dessiner les différentes directions principales d'usinage



Question 5.2 : Proposer différents processus d'usinage soit avec une fraiseuse 3 axes à broche verticale (FR3A BV) ou bien d'une fraiseuse 4 axes à broche horizontale (FR4A BH).

		Ordonnement des Phases			
Type MOCN	Nb posages	Phase 10	Phase 20	Phase 30	Phase 40
FR3A BV	2	W1	W2		
FR4A BH	1	W1, W2			

Question 5.3 : Choisir le processus le mieux adapté aux objectifs cités ci-dessus.

Le Centre d'Usinage 4axes à Broche Horizontale = CU4AB

Question 5.4 : Élaborer l'avant-projet d'étude de fabrication pour le processus avec la fraiseuse 4 axes à broche horizontale (FR4A BH).

AVANT PROJET D'ETUDE DE FABRICATION		Ensemble	
		Elément	
		Matière	
Date	Nom	Programme de fabrication	
N° de Ph	Désignation	Machines et outillages	Schéma de Phase
10	<p>FRAISAGE</p> <p>Mise en position Appui plan sur brut A Centrage court sur B Appui ponctuel sur D</p> <p>Rotation palette B0</p> <p>a – Usiner le groupe de surfaces N°2</p> <p>b - Usiner le groupe de surfaces N°3</p> <p>Rotation palette B-90</p> <p>a – Usiner le groupe de surfaces N°1</p>	CU4ABH	

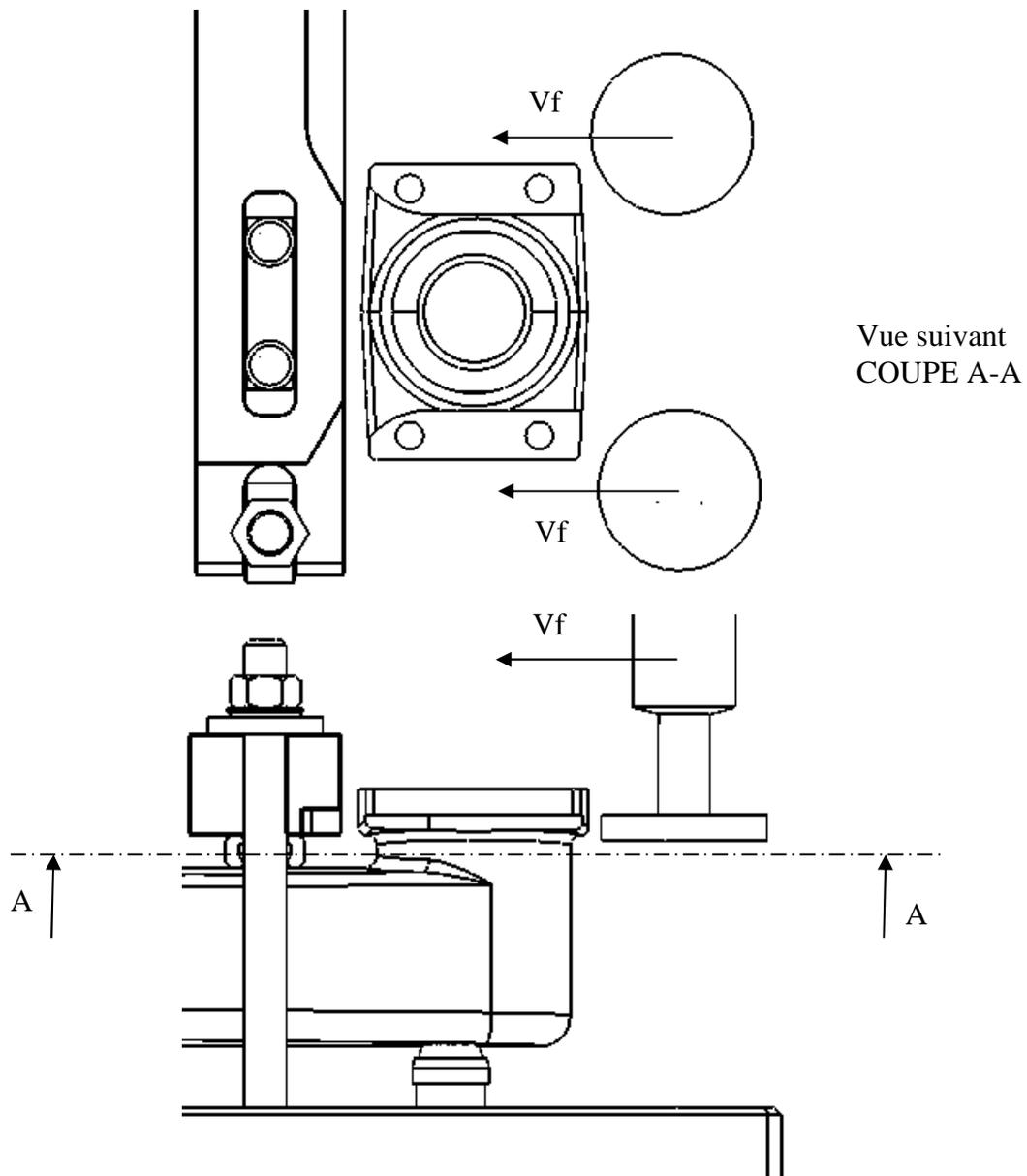
Problématique 6 : Remettre en cause éventuellement une forme

Question 6.1 : Donner la désignation de l'outil permettant de réaliser les lamages (voir DRS5 1/2 et 2/2).

Seul choix possible pour respecter la cotation du lamage $\varnothing 17$:

Fraise à lamer en tirant pour trou $\varnothing 10$: réf. : 90- 10/17 – CS10

Question 6.2 : A partir de l'outil proposé et du sens de déplacement imposé, représenter sur les deux vues la modification des formes des 4 lamages qui deviennent alors des épaulements usinés par contournage extérieur du groupe n°3.



DR 6-2

Question 6.3 : Faire le choix entre un outil à lamer en tirant ou une fraise à Té (qui nécessite une modification de forme du collecteur) (voir DRS5 2/2). Justifier par un calcul de temps d'usinage.

Type fraise	n en tr/min	f en mm/tr	Lg usinée en mm	Taux horaire en €/min	Calcul temps usinage en min
Fraise à Té	165	0.4	2 x 100	2	$T_c = 2 \times 100 / (165 \times 0.4) = 3.03$
Fraise à lamer en tirant	250	0,15	4 x 20	2	$T_c = 4 \times 20 / (250 \times 0.15) = 2.13$

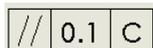
Choix de l'outil :

**Le coût outil étant similaire, le critère à considérer est le temps d'usinage.
On choisira donc l'outil avec le temps le plus faible.**

-> Fraise à lamer en tirant pour trou Ø10 : réf. : 90- 10/17 – CS10

Problématique 7 : Décoder une spécification géométrique

Question 7.1 : Décodage de la spécification géométrique

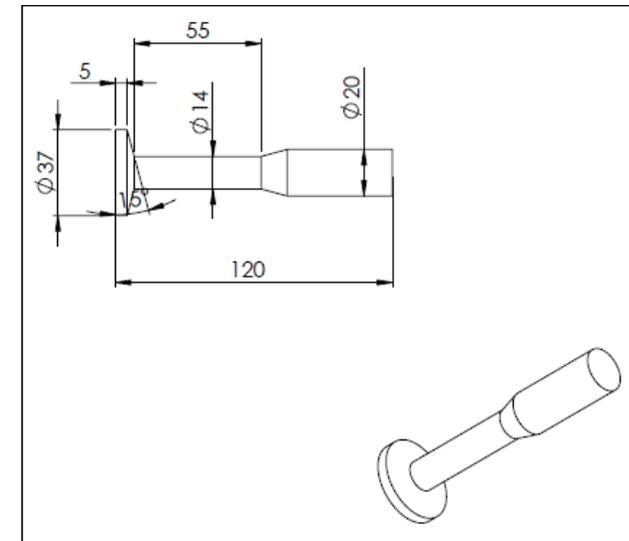
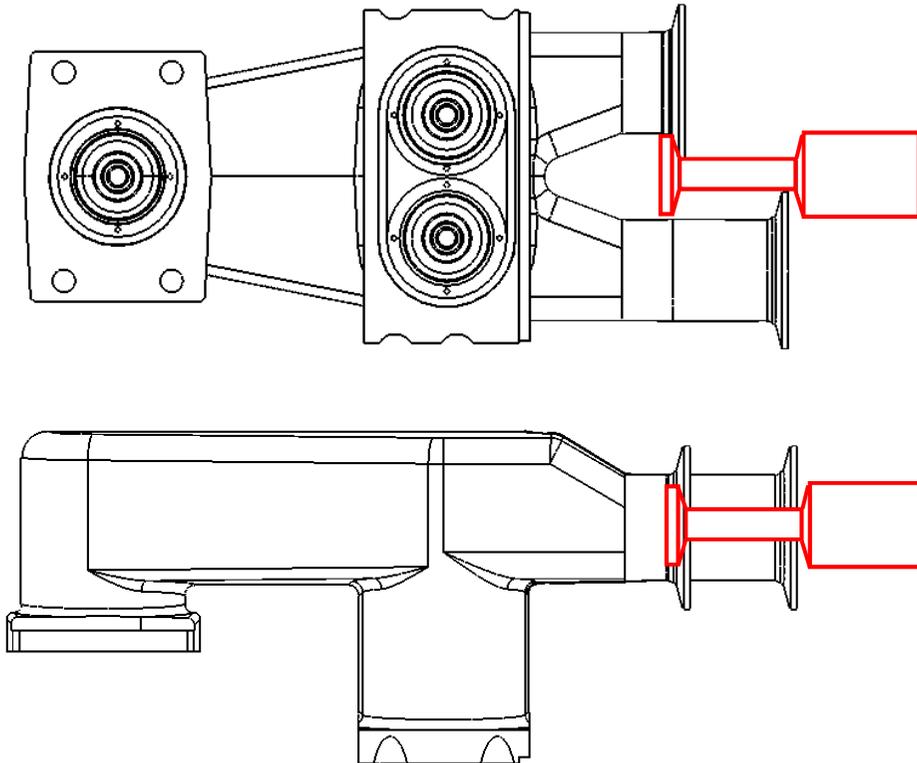


TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
Symbole de la spécification: // Nom de la spécification: Parallélisme	5 Eléments non idéaux extraits du « Skin Modèle »		6 Eléments idéaux		
Type de spécification	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
<input type="checkbox"/> Forme <input checked="" type="checkbox"/> Orientation <input type="checkbox"/> Position <input type="checkbox"/> Battement	Unique Groupe	Unique Multiple	Simple Commune Système	Simple Composée	Contraintes orientation et position par rapport à la référence spécifiée
Extrait du dessin de définition : 	Surface nominale plane 	Surface C nominale plane 	Plan C , associée à la surface C , tangent coté libre matière 	Volume défini par 2 plans // distants de 0,1 	2 plans // Plan C
Condition de conformité: L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance					

Problématique 8 : Définir un outil de coupe

Dessiner la partie active de l'outil coupant ainsi que la queue d'attache de celui-ci :

Forme et dimensions de l'outil.



DR 8-2

Question 8.1 : Pour chaque matériau, calculer la flèche au bout de l'outil lors de l'usinage.

OUTIL EN ARS $f = \frac{Fc * L^3}{3 * E * I} = 0,13$

OUTIL EN CW $f = \frac{Fc * L^3}{3 * E * I} = 0,05$

Question 8.2 : Sur quelle cote va agir la déformation de l'outil précédent ?

Sur l'angle du cône de 15°

Problématique 9 : Étudier et valider une mise en position

Question 9.1 : Quelle devra être la valeur minimale de l'effort de bridage pour assurer le maintien du collecteur sur les appuis O, A et B ? Justifier.

Il faut que toutes les coordonnées soient positives.

$Z_A > 0$ pour un effort de bridage $> 500\text{N}$

$Z_B > 0$ pour un effort de bridage $> 4250\text{ N}$

Cela impose un effort minimum de bridage de 4250 N .

Problématique 10 : Vérifier une déformation

Question 10.1 : Après calcul des angles **a** et **b** (arrondir les valeurs à 10^{-4}° près), déterminer la valeur **DEF** du défaut théorique de parallélisme.

Dans le triangle A H1 B $\rightarrow \sin a = \frac{(30 - 8) \cdot 10^{-3}}{80} = 2,75 \cdot 10^{-4}$

soit a = 0,0158 °

Dans le triangle C H2 D $\rightarrow \sin b = \frac{(27 - 3) \cdot 10^{-3}}{90} = 2,67 \cdot 10^{-4}$

soit b = 0,0153 °

Dans le triangle A H3 B $\rightarrow \sin(a + b) = \frac{DEF}{80} = 5,428 \cdot 10^{-4}$

On en déduit un défaut de parallélisme de DEF = $80 \times 5,428 \cdot 10^{-4} = 0,043$ mm

Question 10.2 : Quelle conclusion peut tirer le groupe de travail au regard de la tolérance imposée par le cahier des charges ?

La tolérance de parallélisme demandée est de 0,1mm.

La valeur trouvée est de 0,043 mm, bien inférieure à la valeur demandée. Le groupe de travail peut valider le bridage au regard des déformations générées.

Problématique 11 : Calculer l'effort de serrage et proposer un outillage pour assurer le bridage

Question 11.1 : Isolement de la bride 2. Compléter le tableau des actions mécaniques extérieures agissant sur la bride. Mettre un ? dans toute case ne pouvant être renseignée.

Isolement de la bride 2 - Bilan des actions mécaniques extérieures.

Point	Actions	Direction	Sens	Intensité en N	Modélisation dans le repère (0, Y, Z)
A	$\overrightarrow{A_{5/2}}$	Z	Z ↑	4500	$\overrightarrow{A_{5/2}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 4500 \end{pmatrix}$
B	$\overrightarrow{B_{1/2}}$?	?	$\overrightarrow{B_{1/2}} = \begin{pmatrix} 0 \\ Z_B \end{pmatrix}$
O	$\overrightarrow{O_{6/2}}$?	?	?	$\overrightarrow{O_{6/2}} = \begin{pmatrix} Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix}$

Question 11.2 : Etude de l'équilibre de la bride 2. En appliquant le principe fondamental de la statique en O, déterminer la force que devra indirectement exercer l'écrou 9 sur la bride 2. Précision des résultats : 2 chiffres significatifs.

Principe fondamental de la statique appliqué en O.

$$\overrightarrow{A_{5/2}} + \overrightarrow{B_{1/2}} + \overrightarrow{O_{6/2}} = \vec{0}$$

$$\text{projection sur Y : } 0 + 0 + Y_0 = 0 \quad (1)$$

$$\text{projection sur Z : } 4500 + Z_B + Z_0 = 0 \quad (2)$$

$$\overrightarrow{M_{(O, A_{5/2})}} + \overrightarrow{M_{(O, B_{1/2})}} + \overrightarrow{M_{(O, O_{6/2})}} = \vec{0}$$

$$\text{projection sur X : } 93 \times 4500 + 250 \times Z_B = 0 \quad (3)$$

On en déduit que : (1) $\rightarrow Y_0 = 0$

$$(3) \rightarrow Z_B = -4500 \times \frac{93}{250} = -1674$$

$$(2) \rightarrow Z_0 = -4500 + 1674 = -2826$$

L'intensité de l'action $\overrightarrow{B_{1/2}}$ que devra exercer l'écrou sur la bride sera de 1674 N

DR11-2

Question 11.3 : Rechercher le couple de serrage à exercer sur l'écrou.

On devra exercer un couple de serrage sur l'écrou de 8,2 N.m

Question 11.4 : Proposer, par sa référence, l'outillage le plus approprié qui permettra d'assurer le couple de serrage. Justifier.

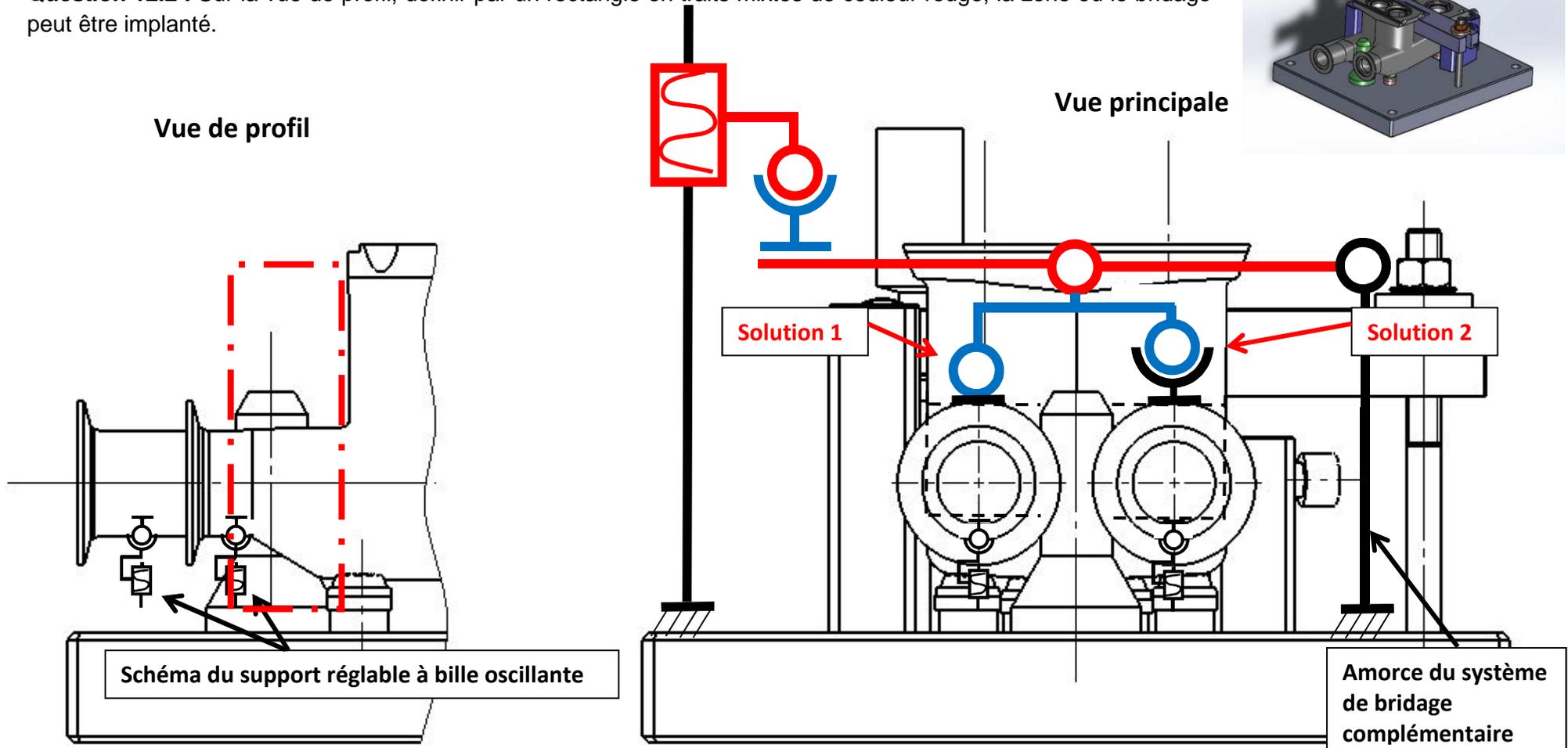
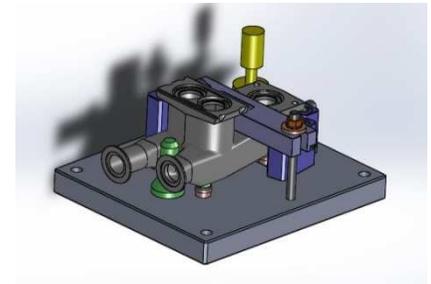
La référence de la clé dynamométrique est R 306.A25 pour un couple compris entre 5 et 10 N.m

DR12

Problématique 12 : Définir un complément au système de maintien en position

Question 12.1 : Sur la vue principale, définir sous forme d'un schéma cinématique minimal, le bridage complémentaire. On prendra soin de différencier les différents groupes cinématiques par des couleurs.

Question 12.2 : Sur la vue de profil, définir par un rectangle en traits mixtes de couleur rouge, la zone où le bridage peut être implanté.



SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Question 13.1 : Compléter le tableau de synthèse des différents résultats.

Données initiales concernant le collecteur objet de l'étude :

- Le brut du collecteur est actuellement obtenu en mécano-soudé.
- La matière est un acier inoxydable **X 5 Cr Ni 18-10**.
- La masse actuelle du collecteur est de l'ordre de **5 kg**.
- La température maximale d'utilisation est de **220 °C**.
- La cellule d'usinage qui assure la reprise des surfaces fonctionnelles est composée de 3 centres d'usinage 4 axes à broche horizontale KITAMURA 800 Hi et d'un FASTEM automatisé de stockage et chargement/déchargement de 60 palettes.

Donnée concernant le contexte de production :

- La production prévue est de **400 ensembles** par an renouvelable sur **5 ans**.

Problématiques posées	Conclusions du groupe de travail	
	OUI ou NON	Commentaires - Justifications
Peut-on envisager un changement de matériau ?	OUI	EN-GJS 500-7 qui respecte : - résistance minimale et température d'utilisation - coulabilité et prix
Peut-on envisager un procédé d'obtention du brut plus rentable ?	OUI	Moulage en sable. - faisabilité validée - amortissement assuré à partir de la 15 ^{ème} pièce.
L'usinage du collecteur peut-il se faire un seul posage ?	OUI	Usinage en un seul posage possible. Mais choix d'un outil spécifique pour usinage des lamages ou demande d'une modification de forme.
Le maintien en position du collecteur sur ses appuis peut-il être assuré ?	OUI	A la condition d'avoir un effort de bridage > 4250N.
Le maintien en position ne va-t-il pas être préjudiciable à la tolérance de parallélisme ?	NON	Le défaut calculé à partir de données logicielles est bien inférieur à la tolérance indiquée sur le cahier des charges.
L'effort principal de bridage peut-il se faire de manière aléatoire ?	NON	Obligation de brider à l'aide d'une clé dynamométrique.
La mise en place d'un bridage complémentaire, afin de limiter les déformations et les vibrations, est-il possible ?	OUI	Un schéma cinématique propose une solution. L'espace disponible est clairement identifié.

PROPOSITION DE BARÈME

PARTIE 1 sur 80

.....

Question 1.1 sur 12 pts

Problématique 2 sur 18 pts

.....

Question 2.1 sur 3 pts

.....

Question 2.2 sur 1 pt

.....

Question 2.3 sur 1 pt

.....

Question 2.4 sur 1 pt

.....

Question 2.5 sur 3 pts

.....

Question 2.6 sur 3 pts

.....

Question 2.7 sur 3 pts

.....

Question 2.8 sur 3 pts

Problématique 3 sur 10 pts

.....

Question 3.1 sur 4 pts

.....

Question 3.2 sur 1,5 pt

.....

Question 3.3 sur 1 pt

.....

Question 3.4 sur 1,5 pt

.....

Question 3.5 sur 2 pts

Problématique 4 sur 10 pts

.....

Question 4.1 sur 1 pt

.....

Question 4.2 sur 2 pts

.....

Question 4.3 sur 2 pts

.....

Question 4.4 sur 3 pts

.....

Question 4.5 sur 2 pts

Problématique 5 sur 15 pts

.....

Question 5.1 sur 2 pts

.....

Question 5.2 sur 6 pts

.....

Question 5.3 sur 1 pt

.....

Question 5.4 sur 6 pts

Problématique 6 sur 15 pts

.....

Question 6.1 sur 4 pts

.....

Question 6.2 sur 5 pts

.....

Question 6.3 sur 6 pts

PARTIE 2 sur 80 pts

Problématique 7 sur 10 pts

.....

Question 7.1 sur 10 pts

Problématique 8sur 15 pts

.....
.....
.....
.....

Question 8.1 sur 4 pts
Question 8.2 sur 5 pts
Question 8.3 sur 4 pts
Question 8.4 sur 2 pts

Problématique 9sur 5 pts

.....

Question 9.1 sur 5 pts

Problématique 10sur 10 pts

.....
.....

Question 10.1 sur 8 pts
Question 10.2 sur 2 pts

Problématique 11sur 15 pts

.....
.....
.....
.....

Question 11.1 sur 3 pts
Question 11.2 sur 8 pts
Question 11.3 sur 2 pts
Question 11.4 sur 2 pts

Problématique 12sur 15 pts

.....
.....

Question 12.1 sur 12 pts
Question 12.2 sur 3 pts

SYNTHESE sur 10 pts

TOTAL sur 160 pts