



**MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE,
DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : AGRÉGATION INTERNE et CAERPA

Section : Sciences industrielles de l'ingénieur

Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique

Session 2020

Rapport du jury présenté par : Jean-Marc DESPREZ, Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche (IGÉSR), Président du jury

SOMMAIRE

ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE	5
ÉLÉMENTS DE CORRECTION	5
COMMENTAIRES DU JURY	16
ÉPREUVE D'ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE ORGANISATION.....	21
ÉLÉMENTS DE CORRECTION	21

Avant-propos

L'agrégation interne s'attache à valider le niveau de maîtrise des compétences pour synthétiser les connaissances mobilisables pour répondre à un problème donné et pour élaborer des séquences pédagogiques.

Aussi, les épreuves d'admissibilité sont définies ainsi :

1^{ère} épreuve : Analyse et exploitation pédagogique d'un système pluritechnologique

Cette épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de mobiliser ses connaissances scientifiques et techniques pour conduire une analyse systémique, élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances globales et détaillées d'un système des points de vue matière, énergie et information afin de valider tout ou partie de la réponse au besoin exprimé par un cahier des charges. Elle permet de vérifier les compétences d'un candidat à synthétiser ses connaissances pour analyser et modéliser le comportement d'un système pluritechnologique. Elle permet également de vérifier que le candidat est capable d'élaborer tout ou partie de l'organisation d'une séquence pédagogique, relative aux enseignements non spécifiques de la spécialité ingénierie, innovation et développement durable du cycle terminal "sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D)" et/ou de l'enseignement des sciences de l'ingénieur du lycée général, ainsi que les documents techniques et pédagogiques associés (documents professeurs, documents fournis aux élèves, éléments d'évaluation).

Durée : cinq heures ; coefficient 2.

2^{nde} épreuve : Étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation

Cette épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de conduire une analyse critique de solutions technologiques et de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système ou d'un processus lié à la spécialité et définir des solutions technologiques.

Durée : quatre heures ; coefficient 1.

La première épreuve, commune aux trois agrégations SII, est construite de manière à évaluer un spectre large de compétences et de connaissances scientifiques, technologiques et professionnelles nécessaires à la maîtrise des activités de conception, de dimensionnement, d'analyse de comportement. Tous les champs liés à la matière, l'énergie et l'information sont susceptibles d'être couverts par les sujets.

Afin de bien préparer cette épreuve, je conseille fortement aux futurs candidats de lire attentivement les commentaires liés aux épreuves d'admission contenus dans ce rapport et les précédents et de bien les analyser. Le jury attend des candidats, dans toutes les épreuves, une expression écrite et orale de qualité. Il est également important d'étudier les ressources publiées sur le site hébergeant le réseau national de ressource (RNR) STI, notamment les présentations des PNF associées à des évolutions de programmes ou de référentiels.

Cette année 2020 les épreuves d'admission n'ont pas pu avoir lieu, conformément aux dispositions de l'arrêté du 10 juin 2020 portant adaptation des épreuves de certaines sections du concours interne de recrutement de professeurs agrégés de l'enseignement du second degré en raison de la crise sanitaire née de l'épidémie de covid-19. Les candidats qui souhaiteraient se préparer à ces épreuves sont invités à prendre connaissance du rapport de jury de la session précédente concernant les recommandations associées aux épreuves d'admission.

Il est rappelé aux candidats déclarés admissibles que, pour se présenter avec les meilleures chances de réussite, il convient de préparer efficacement l'épreuve de dossier en anticipant le choix d'un support et en y consacrant un temps optimal pour réaliser les développements scientifiques et pédagogiques. Les délais entre la déclaration des candidats admissibles et la remise des dossiers au secrétariat du concours sont généralement très courts.

Jean-Marc DESPREZ, IGESR
Président

RÉSULTATS STATISTIQUES SESSION 2020

	Inscrits	Nombre de postes	Non éliminés	Admissibles	Admis	Moyenne du 1 ^{er} admissible	Barre admissibilité	Barre admission
Public	250	7	136	21	7	14.23	08.53	10.76
Privé	25	2	15	3	2	10.23	08.60	09.03

Les moyennes indiquées sont relatives aux seules épreuves écrites.

Cette année, compte tenu de la situation liée à la crise sanitaire ayant affecté l'ensemble des concours (absence d'épreuves orales d'admission pour une grande partie des recrutements d'enseignants) et pour tenir compte des résultats des deux agrégations (interne et externe) SII Ingénierie mécanique, 14 candidats ont été inscrits sur la liste complémentaire pour l'agrégation interne ainsi que 1 candidat sur la liste complémentaire pour le CAERPA.

ÉPREUVE D'ANALYSE ET EXPLOITATION D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE

Coefficient 2 – Durée 5 heures

Téléphérique de Brest

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère :

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/pid34315/se-preparer-pour-les-concours-second-degre-jurys.html>

ÉLÉMENTS DE CORRECTION

Les questions des parties 1, 2 et 4 portant sur des aspects pédagogiques, les éléments de corrigé indiquent ce que les membres de jury ont cherché à évaluer. Ils ne constituent pas une réponse unique.

Partie 1. Analyse du contexte - Identification des exigences liées à l'environnement

Objectif : identifier les contraintes liées à l'environnement conduisant au choix d'un système de transport par câble adapté à la ville de Brest.

Question 1. Pour les solutions de transport par câble de type téléphérique, télécabine, « funitel à câble côte à côte », « funitel à câble en saut de mouton », **repérer** les critères de choix permettant de caractériser ces quatre solutions.

Critères de choix : tenue au vent, coût, largeur de voie, débit maximal, portée maximale.

Question 2. À l'aide des documents DT1 et DT2 1/3, **justifier** le choix de la solution de funitel à « saut de mouton » compte tenu du contexte propre à la ville de Brest. **Établir** le lien entre ce choix de solution et l'approche de développement durable voulue par la ville.

Il s'agit d'une ville côtière, le vent y est très important.

La largeur est limitée

Le Funitel doit s'intégrer dans le milieu urbain et permettre d'être en phase avec des critères sociaux, économiques et de respect de l'environnement.

Question 3. À l'aide du DP1, **identifier** les compétences issues du programme du baccalauréat STI2D pouvant être abordées en prenant appui sur une analyse comparative de solutions techniques ; **justifier** votre réponse.

Le fait de mettre en place une analyse comparative implique l'évaluation de la compétitivité d'un produit par rapport à un autre. La compétence « CO2.2 : Evaluer la compétitivité d'un produit d'un point de vue technique et économique », peut donc être abordée mais ce type d'analyse permet également de justifier des choix au regard de différents points de vue. Les compétences CO1.1, CO1.2 et CO1.3 peuvent donc également être abordées.

Afin d'aboutir à une analyse complète, il sera peut-être nécessaire de caractériser les solutions techniques. Dans ce cas la compétence « CO3.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques », peut également être abordée. Enfin, pour décrire les solutions techniques dans l'objectif de les comparer, il sera nécessaire d'utiliser des outils de description. Cela concerne la compétence « CO4.1 : Décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentation adaptés ».

Question 4. Construire un document adapté aux élèves de première STI2D leur permettant de caractériser les différentes solutions de transport par câble en vue d'effectuer un choix.

Il était attendu un tableau synthétique reprenant les différentes solutions et les critères permettant de faire un choix objectif.

Partie 2. Analyse des solutions techniques retenues

2.1. Capacité horaire du funitel

Question 5. Déterminer le temps de parcours maximal t_f pour satisfaire à l'exigence de capacité horaire en mode événementiel. **En déduire** la vitesse de croisière V_c minimale afin de satisfaire l'exigence et **vérifier** que celle-ci est acceptable du point de vue du confort des passagers.

La capacité horaire est de 1200 passagers par heure et par sens.

Chaque cabine peut contenir 60 passagers.

Le temps de cycle doit être $t_c = 3600 * \frac{60}{1220} = 180 \text{ s}$

Le temps de trajet doit être $t_t = t_c - 2 \times t_d - 4 \times t_p = 142 \text{ s}$

La distance parcourue est 420 m

La durée du déplacement est : $t_f = t_t = t_a + \frac{d}{V_c}$ avec $t_a = \frac{V_c}{a}$ (d : distance parcourue ; a : accélération)

Soit $t_t = \frac{V_c}{a} + \frac{d}{V_c} \Rightarrow V_c^2 - a \cdot t_f \cdot V_c + a \cdot d = 0$

$V_c^2 - 0,5 \cdot 142 \cdot V_c + 0,5 \cdot 420 = 0$

$V_c = 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Cette vitesse est bien inférieure à $7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2.2. Tenue au vent

Question 6. Déterminer l'angle d'inclinaison maximal de la cabine sous l'effet d'un vent de $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. **Justifier** qu'un téléphérique monocâble ne peut satisfaire l'exigence de tenue au vent

On isole la cabine.

BAME : la force du vent \vec{F}_W en W ; le poids en G ; la réaction du câble en A

Par application du principe fondamental de la statique (équation de moment en A) :

$$-h_G m g \sin(\alpha) + h_W F_W = 0$$

Soit $\sin \alpha = \frac{\frac{1}{2} C_x \rho S V^2 h_W}{M v g h_G} \Rightarrow \alpha = 0,19 \text{ rad} > 0,05 \text{ rad}$, donc le cahier des charges n'est pas respecté avec un téléphérique monocâble.

Question 7. Préciser les hypothèses et théorèmes utilisés afin d'obtenir cette relation puis **conclure** quant à l'exigence de tenue au vent.

Hypothèse : on se place dans le cadre de la statique (accélération négligées), seules les actions suivantes sont prises en compte : action du poids, actions des câbles porteurs en A et en B, action du vent.

On isole la cabine et on applique un TMS en O.

$$\vec{OA} \wedge (-Y_A \vec{y}) + \vec{OB} \wedge (-Y_B \vec{y}) + \vec{OG} \wedge \vec{P} + \vec{OW} \wedge \vec{F}_W = \vec{0}$$

Conclusion : Les angles obtenus sont $\alpha = 3,1^\circ = 0,054 \text{ rad}$ (cabine inférieure) et $\alpha = 0,8^\circ = 0,014 \text{ rad}$ (cabine supérieure)

L'exigence de tenue au vent est cette fois vérifiée pour la cabine inférieure. On atteint la valeur limite pour la cabine supérieure.

2.3. Système de compensation de longueur de câble

Question 8. Déterminer les distances à parcourir pour chacune des deux cabines et justifier la nécessité d'un système de compensation de longueur pour les câbles de traction.

Cabine supérieure :

$$d_s = \frac{L_0}{\cos \alpha_{0s}} + \frac{L_1}{\cos \alpha_{1s}} = 419 \text{ m}$$

Cabine inférieure :

$$d_i = \frac{L_0}{\cos \alpha_{0i}} + \frac{L_1}{\cos \alpha_{1i}} = 416 \text{ m}$$

Les deux cabines ne peuvent pas aller à la même vitesse.

Question 9. Déterminer la course nécessaire des vérins de compensation et valider le choix du vérin.

La course des vérins doit être de $(419-416)/2=1,54 \text{ m} < 2 \text{ m}$

2.4. Tenue des ancrages de câbles

2.4.1. Tension des câbles porteurs

Question 10. Déterminer les composantes des efforts en A et en P en fonction de la force $R_H = R_{HA}$, du poids de la cabine $P = \|\vec{P}\|$, de sa position x_C et des grandeurs géométriques H, D et L. En déduire la tension dans le câble $N(x)$ pour $0 < x < x_C$ et pour $x_C < x < L$ en fonction de R_H , P, x_C et des grandeurs géométriques.

On isole l'ensemble cabine + câbles.

L'application du principe fondamental de la statique conduit aux équations suivantes :

$$\begin{cases} R_{HA} = R_{HP} = R_H \\ R_{VA} + R_{VP} = P \\ P \cdot x_C + R_{HP}(H - D) = R_{VP} \cdot L \quad (\text{TMS en A}) \end{cases}$$

$$\text{Soit : } R_{VP} = P \cdot \frac{x_C}{L} + R_H \frac{(H-D)}{L} \text{ et } R_{VA} = P \cdot \left(1 - \frac{x_C}{L}\right) - R_H \frac{(H-D)}{L}$$

On note aussi que la position du câble impose la direction des efforts en A et en P.

$$\tan \theta_1 = \frac{R_{VA}}{R_{HA}} = \frac{H-d}{x_C}; \tan \theta_2 = \frac{R_{VP}}{R_{HP}} = \frac{H}{L-x_C}$$

Tension des câbles :

$$N(x) = \sqrt{R_H^2 + R_{VA}^2} \text{ si } 0 \leq x \leq x_C$$

$$N(x) = \sqrt{R_H^2 + (R_{VA} - P)^2} \text{ si } x_C \leq x \leq L.$$

Question 11. À partir des résultats de simulation donnés figure 9, vérifier la tenue du câble. Évaluer l'effort d'ancrage en A en précisant éventuellement vos hypothèses.

On lit sur la figure 9 une tension maximale de 870 kN. Cette tension est bien inférieure à la force limite à la rupture (2743 kN).

Sur chaque ancrage, il y a 4 câbles, l'effort d'ancrage est évalué à environ $4 \cdot 870 = 3480 \text{ kN}$. On utilise l'hypothèse la plus défavorable où l'effort maximal est obtenu en même temps pour les 4 câbles.

2.4.2. Ancrages

Question 12. À l'aide de la documentation technique du fournisseur dans le document **DT4**, **déterminer** la section minimale puis choisir le tirant précontraint à mettre en place.

On calcule la section minimale à partir des données de l'énoncé :

$$\text{Section mini} = 1,54 \cdot \frac{T_S}{\sigma_R} = \frac{1,54 \cdot 140 \cdot 10^4}{1,86 \cdot 10^3} = 1159 \text{ mm}^2$$

On sélectionne un tirant 8T15 ($A_P = 1200 \text{ mm}^2$)

Question 13. À l'aide du document technique **DT5**, **déterminer** la longueur libre minimale du tirant.

Le remblai situé dans la partie haute du substratum présente des caractéristiques mécaniques très hétérogènes et une cohésion inexistante. Les tirants sont donc ancrés dans la partie rocheuse du sol qui présente une bonne tenue mécanique et située à une profondeur supérieure à 19,1m.

La longueur libre du tirant oblique sera donc au minimum égale à :

$$L = \frac{19,1}{\sin(35^\circ)} = 33,3 \text{ m}$$

Question 14. **Déterminer** la longueur de scellement L_s minimale à mettre en œuvre en utilisant la formule de Bustamante : $T_u = \pi D_s \cdot L_s \cdot q_s$ où q_s est le frottement latéral unitaire du sol et D_s est le diamètre du bulbe de scellement (ici, on prendra $D_s = 20 \text{ cm}$). **Déterminer** la longueur minimale du tirant précontraint.

On lit dans le DT5 la valeur du frottement latéral unitaire du sol de la couche de Gneiss :

$$q_s = 267 \text{ kPa}$$

La traction de service $T_S = 1400 \text{ kN}$ induit une traction limite du tirant de 2800 kN.

On applique la formule de Bustamante :

$$L_s = \frac{T_u}{\pi D_s \cdot q_s} = \frac{2800 \cdot 10^3}{\pi \cdot 20 \cdot 10^{-2} \cdot 267 \cdot 10^3} = 16,7 \text{ m}$$

On en déduit la longueur minimale du tirant :

$$\text{Longueur tirant mini} = \text{Longueur libre} + L_s \text{ mini} = 33,3 + 16,7 = 50 \text{ m}$$

Question 15. **Calculer** la valeur minimale de T_e et estimer l'allongement théorique du tirant sous cet effort. **Comparer** à l'allongement sous charge maximale du tirant sélectionné.

$$T_e = 1,25 T_S = 1400 \cdot 1,25 = 1750 \text{ kN}$$

On peut alors estimer l'allongement théorique en considérant que le tirant est sollicité à de la traction simple :

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{T_e}{E \cdot \text{section}} \text{ avec } L : \text{longueur de l'armature}$$

On peut lire dans le DT4 le module d'élasticité : $E_p = 195 \text{ kN/mm}^2$

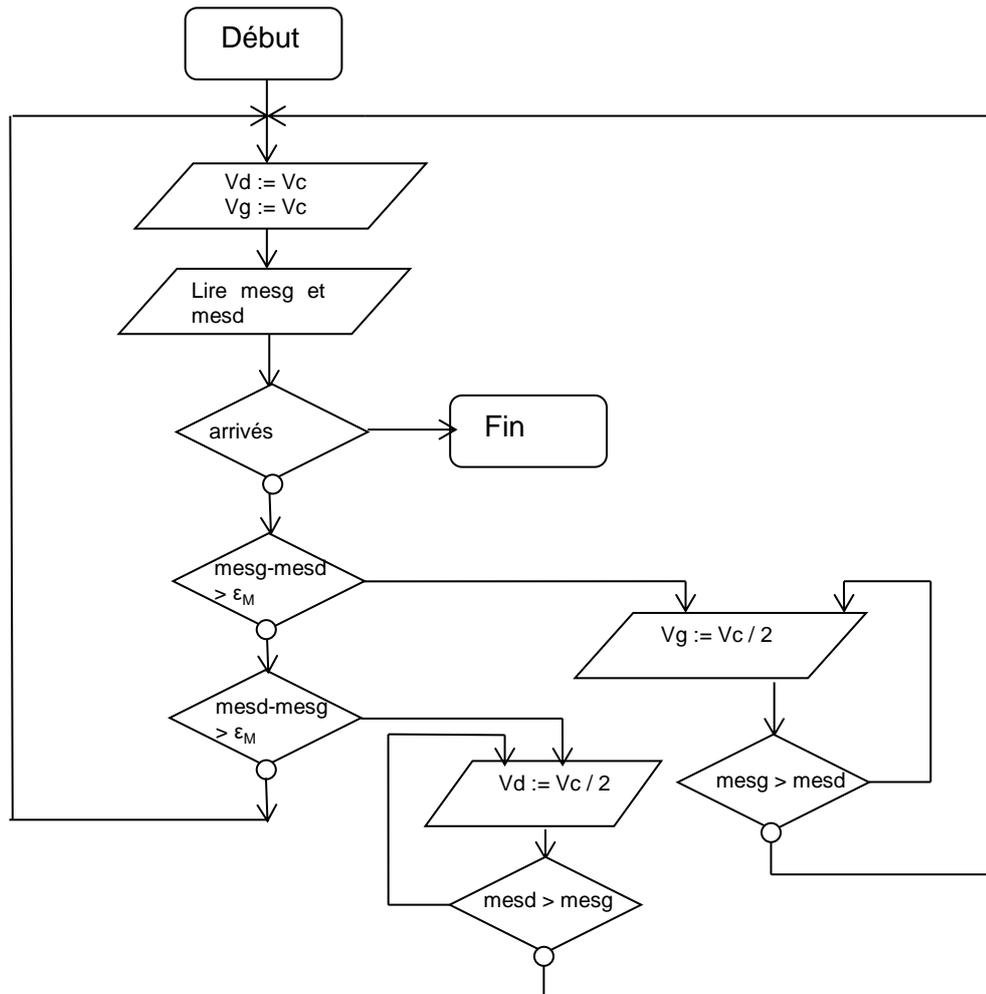
On obtient alors l'allongement : ΔL :

$$\Delta L = \frac{T_e \cdot L}{E \cdot \text{section}} = \frac{1750 \cdot 10^3 \cdot 50}{195 \cdot 10^9 \cdot 1200 \cdot 10^{-6}} = 0,37 \text{ m}$$

Ce qui correspond à un allongement relatif :

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{0,37}{50} = 0,7\%$$

Question 17. Compléter l'algorithme proposé sur le document réponse DR4.



2.6. Dimensionnement de la motorisation

Question 18. Déterminer l'énergie cinétique galiléenne, notée E_{cT} , des câbles tracteurs, des deux cabines et de la motorisation, en fonction de V_s et des données du problème. En déduire l'expression de M_{eq} défini par $E_{cT} = \frac{1}{2} M_{eq} V_s^2$.

$$\begin{aligned}
 E_{cT} &= \frac{1}{2} \mu_t (L_s V_s^2 + L_i V_i^2) + \frac{1}{2} M_s V_s^2 + \frac{1}{2} M_i V_i^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} I_m r^2 \omega_m^2 + 6 \cdot \frac{1}{2} \cdot I_p r^2 \omega_m^2 \\
 &= \frac{1}{2} \mu_t (L_s V_s^2 + L_i k_i^2 V_s^2) + \frac{1}{2} M_s V_s^2 + \frac{1}{2} M_i k_i^2 V_s^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot I_m r^2 \left(\frac{2}{D_p}\right)^2 V_s^2 + \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot I_p r^2 \left(\frac{2}{D_p}\right)^2 V_s^2 \\
 &= \frac{1}{2} \left[\mu_t (L_s + L_i k_i^2) + M_s + M_i k_i^2 + I_m \frac{8 \cdot r^2}{D_p^2} + I_p \frac{24 \cdot r^2}{D_p^2} \right] V_s^2 \\
 \text{Soit } M_{eq} &= \mu_t (L_s + L_i k_i^2) + M_s + M_i k_i^2 + I_m \frac{8r^2}{D_p^2} + I_p \frac{24r^2}{D_p^2}
 \end{aligned}$$

Question 19. Préciser en justifiant la phase de fonctionnement la plus défavorable pour le dimensionnement du moteur. Déterminer la puissance galiléenne, notée P_p ,

des actions de pesanteur sur l'installation en fonction de V_s et des données dans cette situation la plus défavorable.

La phase la plus défavorable est celle où les 2 cabines sont pleines et en montée soit pour $0 \leq t \leq t_{m1}$.

Reste à définir le sens :

Sens 1 : La cabine supérieure va de Capucin vers SIAM :

$$P_p = -M_s V_s g \sin \alpha_{0s} - M_i V_i g \sin \alpha_{1i}$$

Sens 2 : La cabine supérieure va de SIAM vers Capucin :

$$P_p = -M_s V_s g \sin \alpha_{1s} - M_i V_i g \sin \alpha_{0i}$$

Dans le cas où les 2 cabines sont pleines : $M_s = M_i = M$

Reste à comparer les 2 quantités :

$$\text{Sens 1 : } q_{s1} = \sin \alpha_{0s} + \sin \alpha_{1i} = \sin 8,78^\circ + \sin 11,4^\circ = 0.35$$

$$\text{Sens 2 : } q_{s2} = \sin \alpha_{1s} + \sin \alpha_{0i} = \sin 14,1^\circ + \sin 6,72^\circ = 0.36$$

La situation la plus défavorable est donc celle du sens 2 lorsque la cabine supérieure est en mouvement de Siam vers Capucin, et donc que la cabine inférieure est en mouvement de Capucin vers Siam, lorsque les 2 cabines montent soit $0 \leq t \leq t_{m1}$.

Question 20. En déduire une estimation de la puissance galiléenne maximale nécessaire, notée P_T pour l'entraînement de la ligne entre les gares dans la situation étudiée, en fonction de V_s et de l'accélération \dot{V}_s . en déduire l'expression du couple maximal sur la poulie C_r dans ces conditions.

Par application du théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble en mouvement :

$$\frac{dEc}{dt} = P_p + P_T$$

$$\text{Soit } P_t = M_{eq} V_s \dot{V}_s - P_p \text{ avec } P_t = C_r \omega_p \text{ et } V_s = \frac{D}{2} \omega_p$$

$$\text{Soit } C_r = \frac{M_{eq} V_s \dot{V}_s - P_p}{V_s} \cdot \frac{D}{2}$$

Question 21. À partir de la plaque signalétique d'un des moteurs figure 13, déterminer les caractéristiques mécaniques nominales du moteur (couple, vitesse angulaire et puissance).

Par lecture de la plaque signalétique : le moteur a une puissance mécanique de 293kW, une vitesse nominale de 1480 tr.min⁻¹ (155 rad.s⁻¹)

On en déduit le couple au point de fonctionnement nominal : 1,9 kN.m

Question 22. Vérifier si les caractéristiques du moteur conviennent pour notre application.

La vitesse du moteur pour une vitesse de cabine de 7.5m/s (vitesse maximale) :

$$\omega = \frac{v}{r.R} = \frac{7,5}{0,0483.1} = 155,3 \text{ rad/s. Cette vitesse est semblable à la vitesse nominale.}$$

Le couple maxi en sortie est $C_r=34.5\text{kN.m}$ soit un couple moteur : $C_m = \frac{C_r.r}{\eta_r} = \frac{34,5.0,0483}{0,95} = 1,75 \text{ kN.m}$ ce qui est inférieur à 1,9 kN.m

Puissance mécanique moteur : $P_m = C_m. \omega = 1,75.155,3 = 271,8 \text{ kW}$, ce qui est inférieur à 293kW. Le moteur convient donc pour notre application.

2.7. Partie pédagogique

Question 23. À partir de l'étude traitée dans la partie 2.5, **proposer** une activité pratique destinée à des élèves de STI2D permettant d'aborder la compétence CO6.2 et le chapitre 3.1 des connaissances associées.

CO6.2 : Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multi physique.

Chapitre 3.1 : Modélisation et simulation

Avec cette question il est attendu une proposition d'activité pratique en lien avec la compétence et la connaissance visées. La description de l'activité doit mettre en évidence les actions des élèves dans l'utilisation du modèle multi physique, en particulier pour l'identification des variables et des paramètres internes. Le niveau de guidance relatif au niveau de première STI2D est observé.

Question 24. Afin de mettre en place une évaluation formative pendant l'activité, **identifier** trois indicateurs de performance permettant de savoir si un élève a acquis ou non la compétence ciblée.

Exemples de critères mais d'autres sont possibles. L'important est de vérifier que le candidat propose réellement des observables avec une progressivité.

L'élève a su identifier les variables et les paramètres de simulation ;

L'élève fait le lien entre les paramètres du modèle et le système réel ;

L'élève a modifié correctement le modèle multi physique ;

...

Question 25. **Proposer** une stratégie de remédiation pour les élèves n'ayant pas acquis la compétence.

Activité supplémentaire spécifique au besoin

Intégration des connaissances dans la séquence suivante (acquisition spiralaire)

Ressources en ligne pour travail hors classe

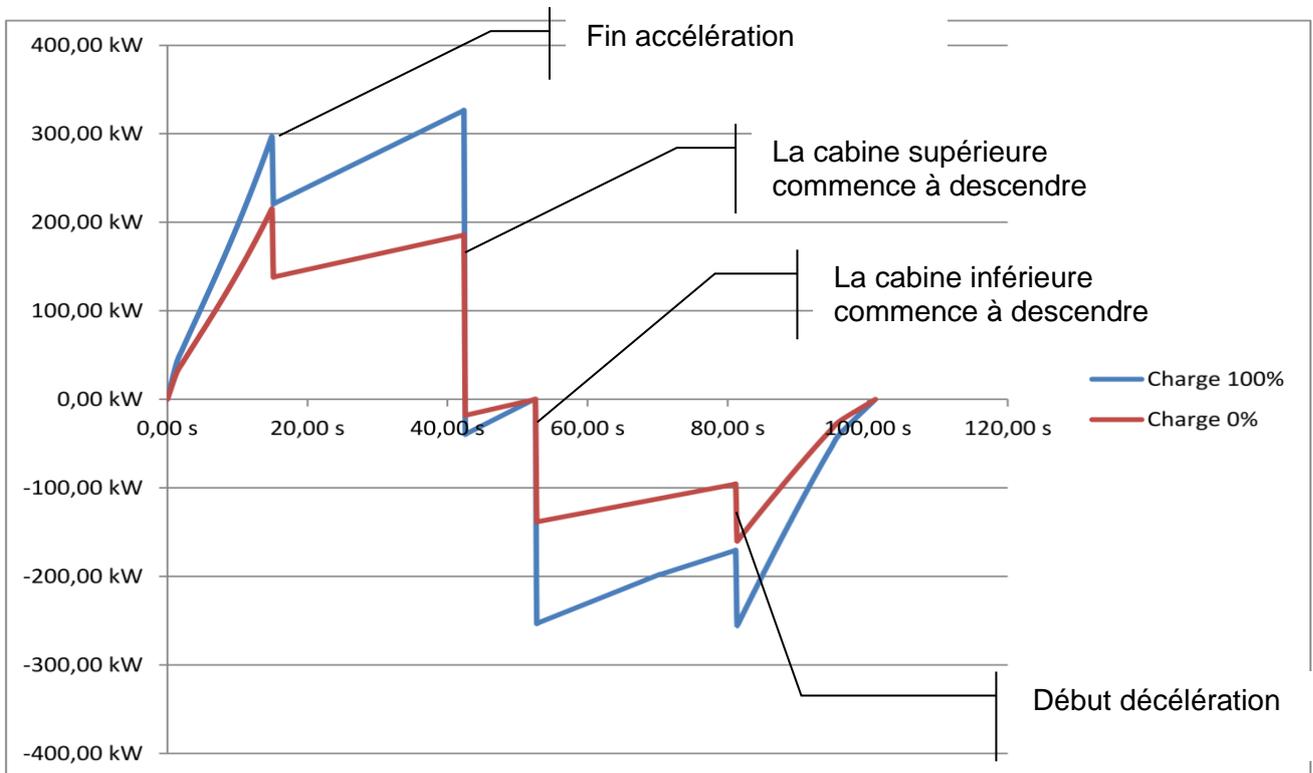
Quizz

Tutorat par les pairs

Partie 3. Optimisation énergétique

3.1. Bilan énergétique d'un trajet

Question 26. Une simulation, DR3, permet d'afficher les puissances le long d'un cycle pour une loi d'accélération donnée. Justifier sur le DR3 les allures des courbes obtenues.



Puissance d'un moteur en fonction du temps
(cabines pleines et vides pour une vitesse de 5 m.s⁻¹)

Question 27. Préciser s'il est possible de récupérer de l'énergie pour la restituer et justifier la nécessité de recourir à une source extérieure.

Lorsque la puissance est négative (à partir de t_{m1}), la puissance est négative. Il est donc possible de récupérer l'énergie.

L'aire sous la courbe représente l'énergie nécessaire puis récupérable. Celle-ci est plus faible, d'où la nécessité de recourir à une énergie extérieure.

3.2. Analyse structurelle du système de pilotage des moteurs et du système de récupération d'énergie.

Question 28. En utilisant le document technique DT7 « comparatif des solutions de stockage de l'énergie électrique », rédiger une synthèse explicitant les cas dans lesquels l'utilisation de super-condensateurs est appropriée ; argumenter ce choix dans le cadre du système étudié.

Avantages des super condensateurs : grande cyclabilité, temps de réponse adapté au système, capacité énergétique adaptée, pas d'usure mécanique, pas de bruit, pas de pollution, modularité possible, etc.

Inconvénients : prix au kWh.

Question 29. À l'aide du document **DR3**, **quantifier** l'énergie récupérable sur un cycle de déplacement (pour une charge de 100% correspondant à une cabine pleine).

L'aire sous la courbe est environ $200\text{kW} \cdot 40\text{s} = 8000 \text{ kW} \cdot \text{s} = 8 \cdot 10^6 \text{ J} = 2,2 \text{ kW} \cdot \text{h}$

Question 30. **Déterminer** la capacité c nécessaire pour stocker l'énergie dans ces conditions.

$$c = \frac{2w}{v^2} = \frac{2 \times 8 \cdot 10^6}{720^2} = 31 \text{ farads}$$

Question 31. **Déterminer** le nombre de modules ainsi que leur couplage ou association.

Si n condensateurs en série on a $C_{eq} = \frac{c}{n}$
 $\frac{375}{11} = 34,1$ il faut donc 11 condensateurs en série.

Question 32. **Déterminer** la valeur des paramètres a et c_1 .

$0,8 \times 34,1 = c_1$ et $1,3 \times 34,1 = 720 a + c_1$
 Soit $c_1 = 27,3$ farad et $a = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ f} \cdot \text{V}^{-1}$

Question 33. **Démontrer** l'équation suivante :

$$w_c = \frac{1}{2} c_1 (V_{\max}^2 - V_{\min}^2) + \frac{1}{3} a (V_{\max}^3 - V_{\min}^3)$$

avec V_{\max} la tension en fin de charge et V_{\min} la tension en début de charge.

$$w_c(t) = \int_0^t p(t) dt = \int_0^t c \frac{dv(t)}{dt} v(t) dt = \int_0^t (a v + c_1) \frac{dv(t)}{dt} v(t) dt = \int_0^t (a v^2 + c_1 v) \frac{dv(t)}{dt} dt$$

$$w_c(t) = \left[\frac{1}{3} a v^3 \right]_{V_{\min}}^{V_{\max}} + \left[\frac{1}{2} c_1 v^2 \right]_{V_{\min}}^{V_{\max}}$$

$$w_c = \frac{1}{2} c_1 (V_{\max}^2 - V_{\min}^2) + \frac{1}{3} a (V_{\max}^3 - V_{\min}^3)$$

Question 34. **Calculer** l'énergie (en kWh) stockée lors d'une charge. **Comparer** cette énergie par rapport à celle de la question 31.

$$w_c = \frac{1}{2} 27,3 (720^2 - 250^2) + \frac{1}{3} 0,0238 \cdot (720^3 - 250^3) = 9 \cdot 10^9 \text{ J} = 2,5 \text{ kW} \cdot \text{h} > 8 \cdot 10^6 \text{ J}$$

3.3. Optimisation de la consommation électrique

Question 35. À l'aide du document **DR3**, **déterminer** la quantité d'énergie extérieure pour un cycle. **Proposer** une stratégie de gestion d'énergie entre l'énergie stockée et l'énergie d'E.D.F. qui permettra d'éviter les dépassements de puissance.

L'énergie nécessaire pour la montée (aire sous la courbe) est d'environ $40 \times 250 \text{ kW} \cdot \text{s} = 10^7 \text{ J}$;
 L'énergie récupérable est $8 \cdot 10^6 \text{ J}$.

Donc il manque $2 \cdot 10^6 \text{ J}$.

La puissance nécessaire en fin de montée est supérieure à 240 kW ; il faut donc utiliser l'énergie stockée en fin de montée.

La montée dure 40 s.

$$\frac{2 \cdot 10^6}{40} = 5 \cdot 10^4 \text{ W}$$

Avec une consommation EDF constante de 50 kW, on utilise la totalité de l'énergie stockée sans dépasser la puissance maximal EDF.

Question 36. Déterminer le coût énergétique journalier (le téléphérique fonctionne 12 heures par jour et il effectue en moyenne 8 cycles par heure).

$$0,15 \times \frac{2.10^3}{3600} \times 8 \times 12 + 42,48 \times \frac{50}{365} = 14,22 \text{ €}$$

Partie 4. Stratégie pédagogique

Question 37. Proposer la définition d'une séquence pédagogique.

Rédiger la réponse sous forme d'une fiche de séquence (le format est laissé libre) en veillant à préciser :

- le choix du contexte pédagogique retenu pour les enseignements spécifiques représentés dans la classe de terminale STI2D (AC ou ITEC, EE ou SIN) ;
- le rappel des compétences visées ;
- les connaissances associées aux compétences ;
- la démarche pédagogique retenue en veillant à **justifier son choix** ;
- les activités proposées et leur enchaînement au fil de la séquence ;
- une estimation de la durée de chaque étape de la séquence ;
- les modalités d'évaluation envisagées ;
- le contexte matériel, notamment les supports autres que le funitel de Brest mobilisés dans la séquence.

CO6.2 : Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multi physique

CO6.5 : Interpréter les résultats d'une simulation et conclure sur la performance de la solution

L'objectif de cette question est d'évaluer le candidat sur différents aspects constitutifs à l'élaboration d'une séquence pédagogique. Dans un premier temps, les auteurs du sujet attendaient de pouvoir observer la capacité à décrire une organisation pédagogique cohérente et en phase avec les objectifs de formation ciblés. Au-delà d'une simple description, les justifications attendues sont des critères d'évaluation importants.

La séquence pédagogique à construire étant positionnée en terminale pour l'enseignement de spécialité 2I2D, il est attendu une vision globale de la séquence en prenant en compte à la fois la partie commune et les enseignements spécifiques dans un contexte commun s'appuyant sur des enjeux de société. La conception de la séquence pédagogique doit s'appuyer sur les éléments définis dans le programme comme les champs Matière, Energie et Information, autour d'un thème et d'une problématique mettant en évidence les enjeux de notre société actuelle.

La problématique de la ville de Brest permet aisément d'amener progressivement l'élève vers des problématiques techniques.

Dans la description des activités proposées aux élèves, il est attendu des activités réalistes dans la mise en œuvre et leur enchaînement, mais également cohérentes avec les compétences visées et la démarche pédagogique (inductive – déductive) envisagée. Une succession d'activités sans lien avec les objectifs de formation ne peut être valorisée quel que soit le type d'activité.

Un intérêt particulier est porté pour les activités mettant en œuvre des expérimentations face à des études de dossiers ou des travaux dirigés.

Concernant la mise en place des modalités d'évaluation, les auteurs du sujet souhaitent, entre autre, évaluer si le candidat est capable de proposer et de décrire d'autres modalités d'évaluation que seulement l'évaluation sommative, les évaluations diagnostics et formatives étant trop peu utilisées. Afin de faire le lien avec la séquence proposée, il est également attendu des candidats, qu'ils proposent des observables ou des critères de performances en lien avec les activités et les compétences visées.

COMMENTAIRES DU JURY

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet porte sur l'étude du téléphérique urbain de la ville de Brest. Une première en France, car il s'agit d'une innovation intégrée au réseau de transports publics de la métropole. Dans un premier temps, le sujet amène le candidat à analyser le contexte particulier et à identifier les différentes contraintes liées à l'environnement urbain de la ville de Brest. Dans un deuxième temps, le candidat étudie la solution innovante de téléphérique par saut de mouton, solution faisant l'objet d'un brevet français. Les candidats doivent ensuite proposer une optimisation énergétique. Tout au long du questionnement scientifique, des questions d'ordre pédagogique sont posées afin d'évaluer la capacité du candidat à adapter les parties scientifiques au niveau d'enseignement spécifié.

La dernière partie est purement d'ordre pédagogique.

Les poids relatifs des aspects scientifiques et pédagogiques du sujet correspondent au prorata du temps conseillé pour composer sur chacune d'elles, à savoir :

- Questions scientifiques 60 %
- Questions pédagogiques 40 %

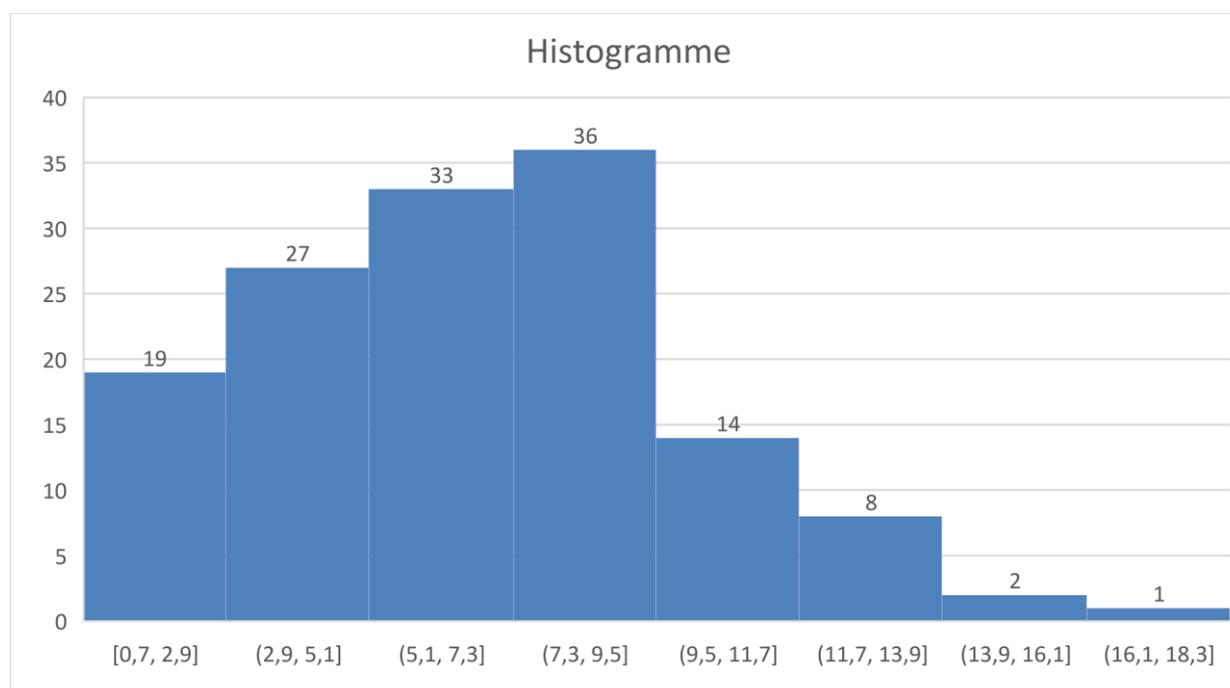
Dans la première partie, les questions 3 et 4 sont d'ordre pédagogique. Dans la deuxième partie, les questions 23, 24 et 25 et la partie 4 sont entièrement dédiées à l'évaluation de compétences pédagogiques.

Les candidats ont généralement su profiter des parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie.

Néanmoins, certains candidats n'ont traité que certaines parties du sujet.

Le jury regrette que seuls 50% des candidats aient abordé les parties 3 ou 4.

COMMENTAIRE GÉNÉRAL DES RÉSULTATS DE L'ÉPREUVE



Une lecture complète du sujet et des documents est conseillée afin de s'imprégner du sujet.

Les questions pédagogiques sont intégrées aux parties scientifiques pour permettre un meilleur traitement de celles-ci. Il en résulte donc une évaluation plus large des compétences des candidats. Ils peuvent ainsi s'exprimer sur l'ensemble de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité.

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

Sur les parties pédagogiques, de nombreux candidats n'ont pas pris connaissance des évolutions du programme de STI2D. Il y a de nombreuses confusions entre l'ancien et le nouveau programme, comme par exemple des erreurs entre spécialité et enseignement spécifique.

ANALYSE PAR PARTIE

Remarques générales :

Les candidats ont généralement su profiter des parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Certaines parties sont néanmoins intégralement non traitées par certains candidats.

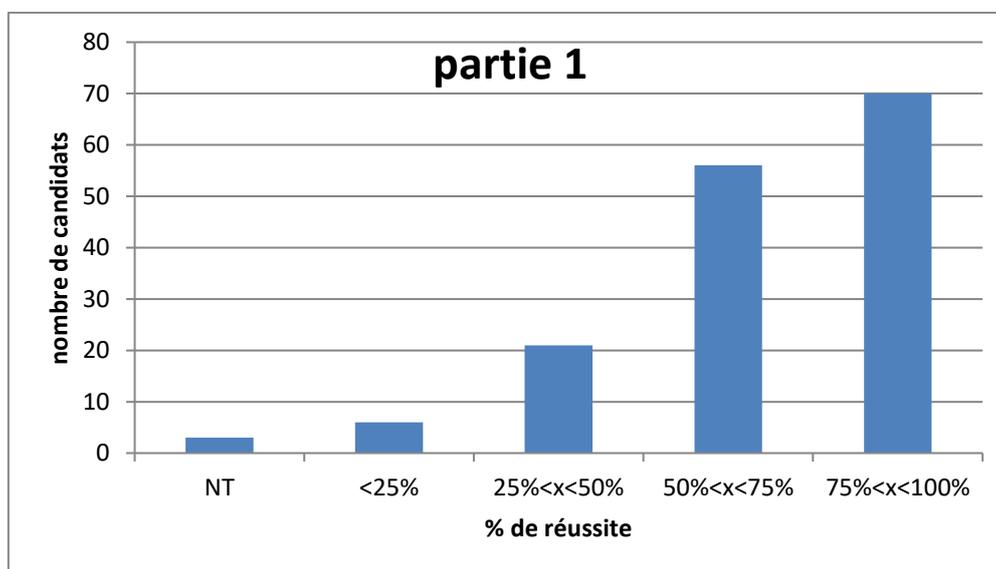
Partie 1 : Analyse du contexte d'implantation du système de transport par câble de la ville de Brest

Cette première partie est largement traitée par les candidats (98%). Les premières questions permettaient d'entrer dans le sujet progressivement, d'analyser le contexte et les contraintes liées à l'environnement, avec une approche associée au Développement Durable.

L'ensemble des candidats a abordé cette partie correctement proposant des réponses pertinentes.

Le jury note cependant qu'une minorité de candidats ne maîtrisent pas bien la notion de critère de choix, ou ont une lecture trop rapide du sujet, et s'engagent dès la première question dans une longue étude comparative des différentes solutions techniques.

Dans cette partie, les questions 3 et 4 sont d'ordre pédagogique. Elles ont été globalement bien traitées par les candidats (55% et 30% des candidats ont eu respectivement le maximum de points).



Partie 2 : Analyse des solutions techniques retenues par la société BMF

Il s'agissait dans cette partie d'analyser et de justifier les solutions techniques retenues par le constructeur en lien avec le cahier des charges. Comme la première partie, elle a été largement traitée par les candidats (97%).

2.1. Capacité horaire du funitel

Par une analyse cinématique, le candidat devait vérifier que le critère de capacité horaire était compatible avec celui du confort passager en s'intéressant plus particulièrement à la vitesse maximale admissible.

Cette partie n'a pas posé de difficulté particulière et a été dans l'ensemble correctement abordée par la majorité des candidats.

2.2. Tenue au vent

Il fallait justifier le choix du constructeur d'un funitel plutôt qu'un téléphérique monocâble par une étude statique.

Cette analyse, classique compte tenu de la spécialité, a été abordée par 90% des candidats avec des résultats probants pour une majorité d'entre eux. Les candidats qui n'ont pas obtenu la totalité des points sur cette question dévoilent en général un manque de rigueur dans la mise en place de l'étude statique (bilan des actions mécaniques incomplet, oubli de l'action du câble, mauvais choix de l'équation). La quasi-totalité des candidats a compris qu'il fallait mettre en place une approche statique.

2.3. Système de compensation de longueur de câble

L'objectif était de dimensionner les vérins de compensation de longueur des câbles par une analyse géométrique.

Cette partie, sans difficulté particulière, a été abordée par 90% des candidats et a abouti pour la majorité.

La question 9, concernant la course nécessaire des vérins de compensation, nécessitait une compréhension et une analyse globale du système de compensation. Elle est réussie parfaitement par plus de la moitié des candidats ayant répondu à la question.

2.4. Tenue des ancrages de câbles

Le candidat devait dans un premier temps déterminer les tensions des câbles porteurs, puis dimensionner les ancrages au sol.

Si la majorité a abordé correctement l'étude statique initiale, seuls 20% des candidats ont continué jusqu'au dimensionnement. Cette partie ne posait cependant pas de difficulté particulière puisque l'essentiel de la démarche était donné dans le sujet.

2.5. Commande de motorisation des câbles tracteurs

Le candidat devait analyser la structure de commande. Une majorité des candidats a abordé cette partie avec 60% de réussite.

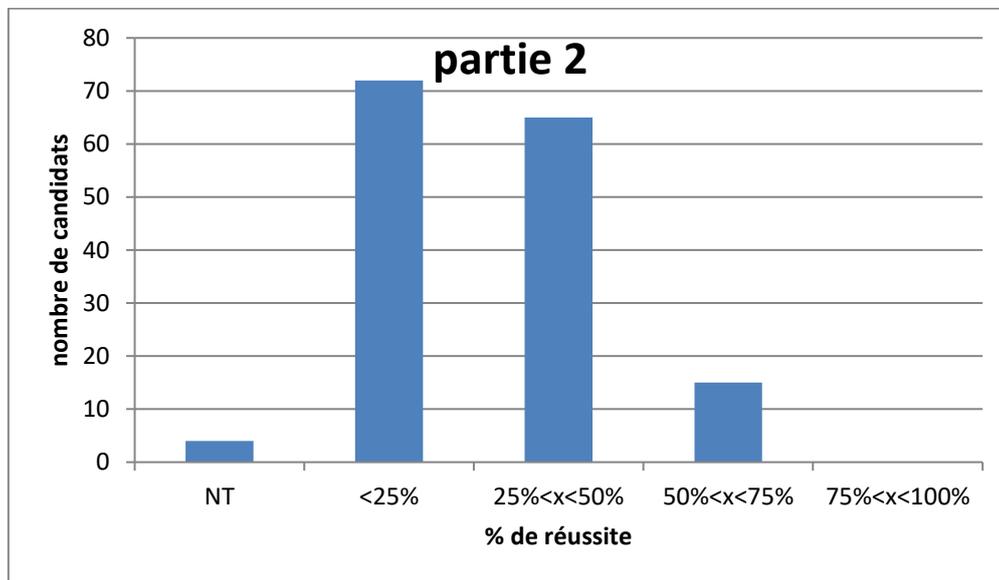
2.6. Dimensionnement de la motorisation

Cette étude énergétique est une étude classique. Si 40% des candidats ont abordé la question 18 (énergie cinétique) avec des résultats plutôt probants, ils ne sont plus que 20% à la question 20 (application du théorème d'énergie cinétique).

2.7. Exploitation pédagogique

Cette partie est composée de trois questions. Dans la première, il est question de proposer une activité pédagogique visant la compétence CO6.2 et le chapitre 3.1 des connaissances associées à partir des éléments de la partie 2.5. Cette question semble accessible car il s'agit de remettre en forme l'étude déjà réalisée avec le modèle multi physique pour des élèves de première STI2D, mais pourtant seulement 33% des candidats l'ont traitée.

Les deuxième et troisième questions sont axées autour de l'évaluation et de la remédiation. Là encore il s'agit d'éléments fondamentaux. 10% des candidats ont répondu correctement en proposant des indicateurs de performances pertinents.



Partie 3 : Optimisation énergétique

La longueur du sujet dans le temps imparti fait que cette partie est moins traitée que les deux précédentes (51%).

3.1. Bilan énergétique d'un trajet

Les questions 26 et 27 permettaient de prendre en main la problématique énergétique. Cette étude transversale ne posait pas de difficulté particulière mais n'a été abordée que par 40 % des candidats.

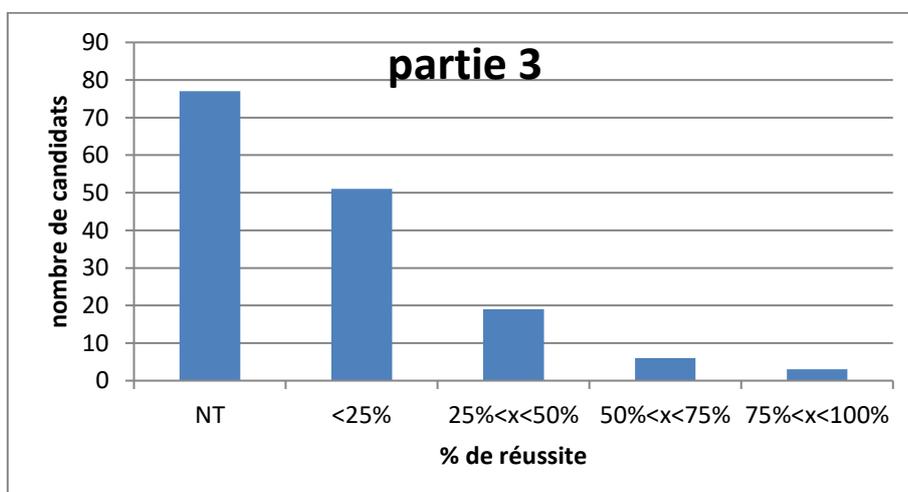
3.2. Analyse structurale du système de pilotage des moteurs et du système de récupération d'énergie.

Dans les questions 28 à 34, le candidat doit dimensionner les condensateurs nécessaires pour stocker l'énergie. Cette partie a été abordée par 30% des candidats mais seuls 7% sont allés au bout de la démarche.

3.3. Optimisation de la consommation électrique

Partie de synthèse sur la problématique de gestion de l'énergie.

Il s'agit d'une question transversale sans difficulté particulière abordée par 5% des candidats.



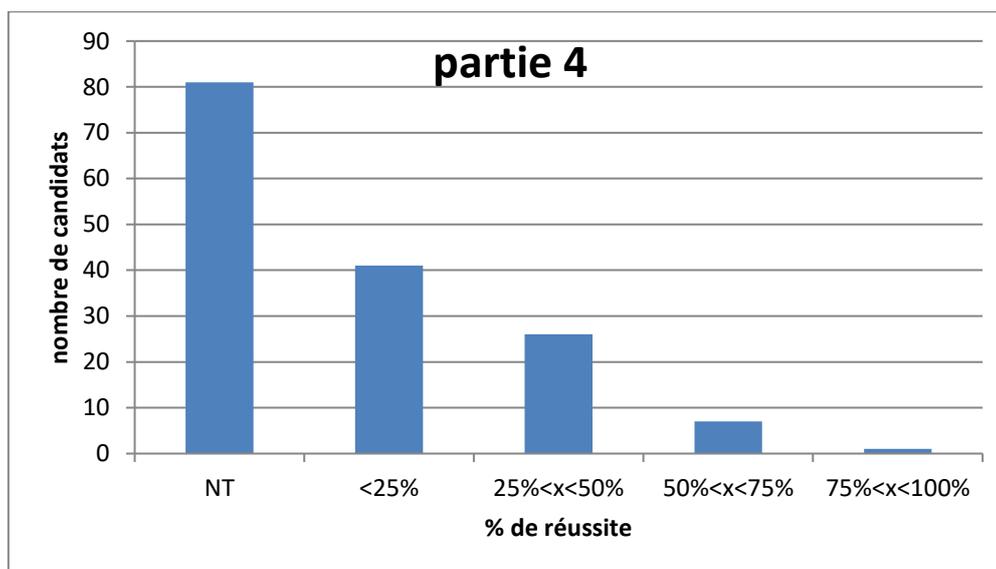
Partie 4 : Stratégie pédagogique

Seulement 48% des candidats ont traité cette partie exclusivement pédagogique. Parmi eux certains n'ont traité que cette partie.

Plusieurs indicateurs de performance ont été définis pour évaluer les propositions des candidats.

Plusieurs candidats n'ont pas su s'adapter au nouveau programme de STI2D. Nous conseillons de bien lire les programmes et les ressources produites lors des PNF afin de proposer des séquences pédagogiques cohérentes et avec le bon vocabulaire.

Dans le contexte pédagogique imposé dans le sujet, peu de candidats pensent à évoquer les différents champs, Matière, Energie et Information propres à nos formations. Dans l'énoncé des activités, on imagine difficilement des élèves acteurs de leur formation. Trop souvent des études de dossiers sont évoquées au détriment d'activités pratiques ou d'expérimentation.



Recommandations aux candidats qui se présenteront aux futures épreuves

Pour réussir une telle épreuve, il est vivement conseillé aux candidats de lire le sujet dans sa totalité afin de comprendre les problématiques des différentes parties et leurs liens. En effet une lecture attentive du sujet apporte de précieuses informations et permet souvent de traiter des questions qui ne sont pas à priori dans le domaine de prédilection du candidat. De plus, s'agissant d'une épreuve transversale, de nombreuses informations fournies s'avèrent utiles pour répondre à la question posée.

Les résultats intermédiaires donnés dans l'énoncé permettent aux candidats de poursuivre le questionnement et de valider leur résultat.

Il convient que les futurs candidats pensent à justifier leurs hypothèses et leurs méthodes de résolution, et à ne pas se contenter de dérouler un calcul. On évitera donc de trop longs développements de calculs en laissant subsister les articulations du raisonnement.

On rappelle que la présentation, la qualité de la rédaction et l'orthographe sont des éléments importants de la communication.

ÉPREUVE ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE ORGANISATION

Coefficient 1 – Durée 5 heures

Le sujet est disponible en téléchargement sur le site du ministère

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/pid34315/se-preparer-pour-les-concours-second-degre-jurys.html>

ÉLÉMENTS DE CORRECTION

Partie 1 : fonctionnement global du process

Objectifs : comprendre le fonctionnement du poste de travail et estimer sa productivité

Question 1.1 Compléter sur le DR01 « Diagramme de temps de cycle » les opérations nécessaires à la production de deux pièces brutes masselottées.
Déterminer le temps de cycle de fabrication pour deux pièces.

Correction

Voir DR01 corrigé : 2 réponses ont été admises ci-dessous en fonction de l'interprétation du candidat sur le cycle :

- démarrage cycle de basculement en même temps que retrait du robot après versement alliage (solution industrielle optimisée)
- ou démarrage cycle de basculement après retrait du robot (solution séquentielle non optimisée).

$T_c = 200$ s pour 2 pièces,

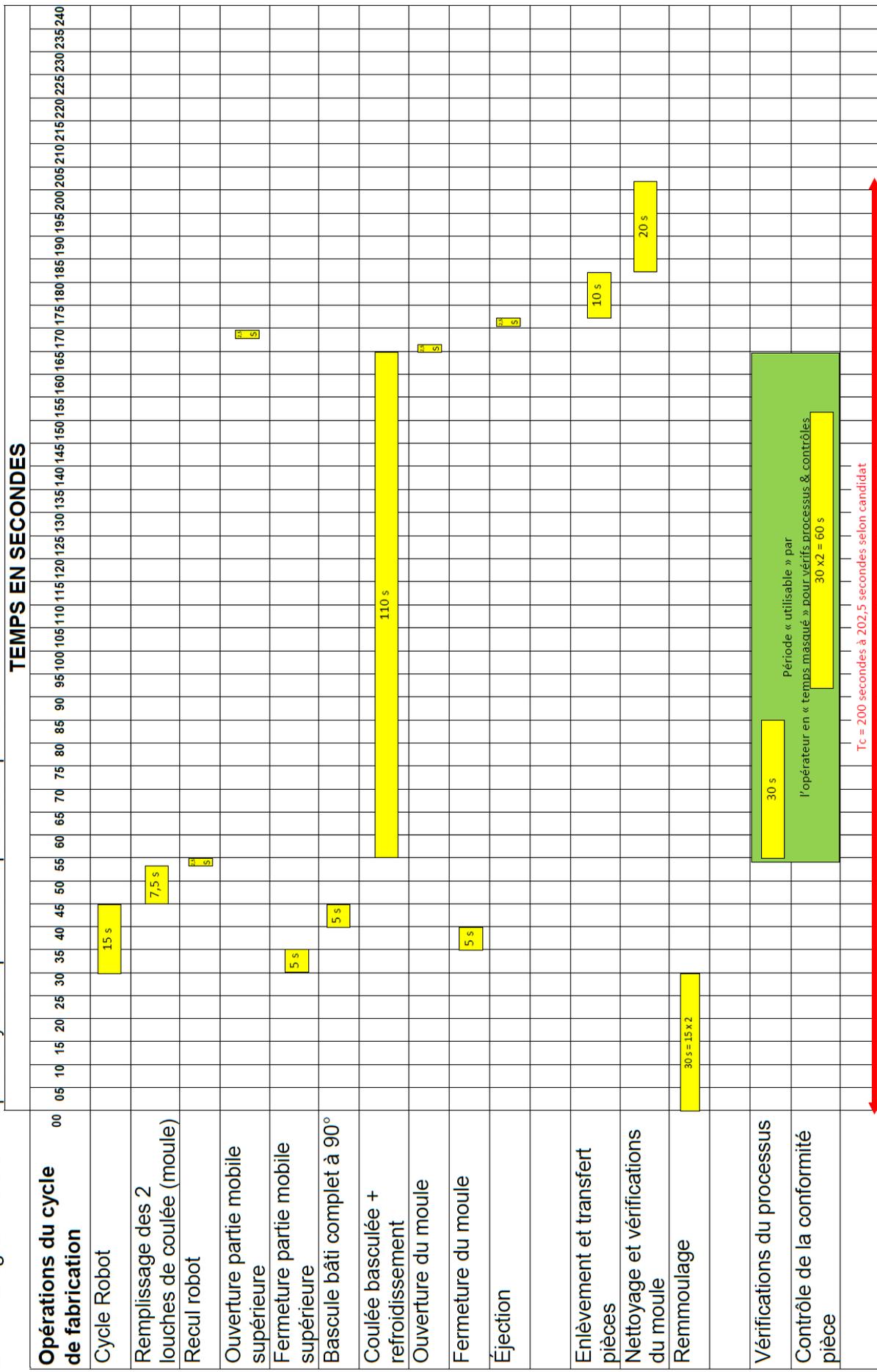
ou

$T_c = 202,5$ s pour 2 pièces

⇒ $T_c = 200$ s soient 36 p / heure

⇒ $T_c = 202,5$ s soient 35,5 p / heure

DR01 : Diagramme d'un temps de cycle de production pour deux pièces



Question 1.2 Vérifier que la production du lot peut être assurée dans le temps envisagé. Commenter votre résultat.

$T_c = 200$ s pour 2 pièces, soient 36 p / heure

ou $T_c = 202,5$ s pour 2 p, soient 35,5 p /

heure

Production quotidienne = $36 \times 24 = 864$ p / jour ou $= 35,5 \times 24 = 852$ ou 853 p / jour (arrondis)

$= 3600 \times 24 / 200 = 432$ paires ou $= 3600 \times 24 / 202,5 = 426,6$ paires / jour

⇒ Considéré comme « bon » : 426 à 432 paires – soient 852 à 864 pièce / jour

Production / 24 jours :

Ou $24 \times 432 \times 2 \times 0,95 = 16.699$ pièces

Ou $24 \times 426 \times 2 \times 0,95 = 19.425$ pièces

Seulement 19.425 à 19.699 pièces produites. La campagne ne respecte pas la demande (20.000 / 24 jours). Il faut augmenter la disponibilité de l'installation ou le nb de journées de production prévues.

Par exemple : Production / 25 jours : $25j \times 24h \times 36p \times 0,95 = 20\ 520$ pièces, permet de produire + de pallier à un aléa de production.

Question 1.3 Justifier la conception et la mise en œuvre d'un bâti de type « coulée basculée » à double ouverture de moule au lieu d'un bâti de moulage en coquille « classique ».

Justifications ergonomiques

- 1- L'opérateur de production peut contrôler l'état des 2 demi-moules inférieurs et supérieurs sans avoir à se contorsionner
- 2- Facilité d'accès aux différentes parties de l'outillage pour le montage, les réglages ...

Justifications de production

- Les tâches de l'opérateur sont facilitées, ce qui augmente la qualité du produit et garantit une surveillance de l'outillage à chaque cycle
- Le bâti basculant permet de limiter la vitesse de « chute » de l'alliage de manière à éviter la formation d'oxydes dans la pièce en diminuant les zones de turbulences
- Les temps de cycle sont optimisés pour :
 - a. La gestion de la production
 - b. La gestion du process sur lequel le temps a un impact (oxydation, refroidissement...) qui aura une influence sur la qualité des produits

Question 1.4 Justifier l'utilisation d'un robot dans cette cellule de production au regard des critères d'ergonomie et de production.

Justifications ergonomiques / pénibilité des tâches :

- 1- Cela évite à l'opérateur de porter des charges sur des mouvements répétitifs. Éviter les TMS.
- 2- Cela évite à l'opérateur de subir le rayonnement dû à la chaleur dégagée par le process de fonderie.
- 3- Cela évite à l'opérateur d'être au voisinage des vapeurs de l'alliage, susceptibles de nuisances de santé.

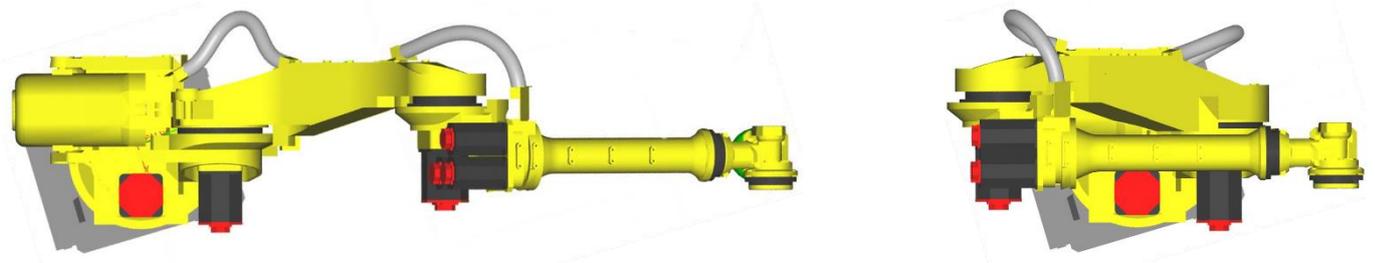
Justifications de production :

- 1- Optimiser les temps de cycle en minimisant les temps d'exposition de l'alliage à l'oxygène de l'air pendant son transport du four aux louches de coulée.
- 2- Propreté et sécurité production : les accélérations et vitesses pourront être mises au point de manière à éviter toute perte d'alliage et de retombées au sol, avec une efficacité globale maximale.
- 3- Mettre le processus de fabrication sous contrôle : les « opérations » sont en effet répétées avec régularité, ce qui ne peut être garanti avec une ressource « opérateur non assisté ».

Question 1.5 Indiquer les risques et précautions générales d'utilisation de ce robot, dans le cadre de cette cellule de production en fonderie « non collaboratif » avec un ou plusieurs opérateurs.

Risques :

- 1- Collision Robot / opérateur.
- 2- Risques psychosociaux : la vitesse à laquelle le robot et le système collaborent en optimisant les temps de cycle peuvent correspondre à une cadence de production inadaptée pour un seul opérateur.



Précautions :

- 1- Définir précisément les zones « robot » et « opérateur » sans zones d'interférence ou en nombre limité
- 2- Mettre en place des barrières physiques (grillages) et/ou immatérielles (détection présence opérateur) et/ou « butées logicielles », associées à un système de contrôle de sécurité permettant d'interdire les contacts ou d'assurer l'immobilisation du robot lors d'une entrée de l'opérateur dans la zone « robot »
- 3- Adapter le nombre d'opérateurs en fonction de la charge de travail et des cadences
- 4- Former l'opérateur(s) est indispensable pour minimiser l'ensemble des risques.

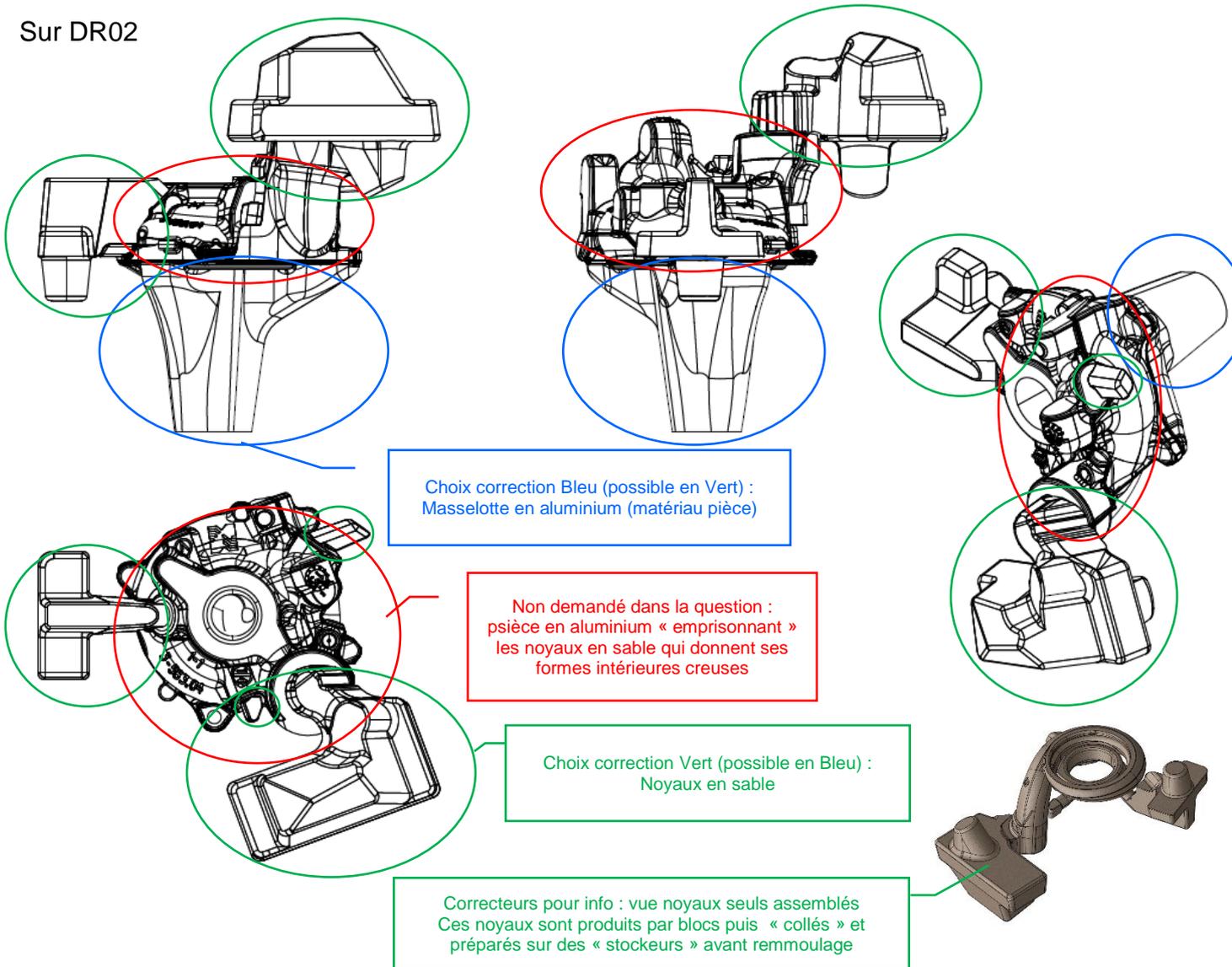
Partie 2 : Fonderie

(Durée conseillée : 30 min)

Objectifs : comprendre le processus d'élaboration de coulée basculée spécifique à ce carter de compresseur afin de déterminer les conditions nécessaires à l'obtention d'une pièce de qualité

2.1. Identifier sur chaque vue du DR02 (couleurs bleue et verte légendées) les différentes parties qui seront séparées de la pièce au cours du parachèvement. **Indiquer** pour chacune d'entre elles leur matériau constitutif.

Sur DR02



2.2. Indiquer par quel moyen technologique est obtenu le cône central $\varnothing 28,8$ à 6° dans la pièce brute.

Une broche métallique dans le moule assure cette fonction. Il ne peut s'agir d'un noyau en sable car dans la question précédente il n'apparaît pas comme étant extrait du moule après coulée.

NON demandé : la broche métallique est obligatoirement poteyée pour isoler l'aluminium liquide de l'outillage en acier.

2.3. Justifier l'emplacement de la masselotte.

La masselotte est positionnée ici au-dessus de la pièce. De manière générale, elle doit être disposée de manière à éviter que les oxydes et impuretés ne soient entraînés vers les zones de matière de la pièce où sa « santé métallurgique » est prépondérante => dans notre cas les oxydes et impuretés, plus légers que l'alliage qui les contient, vont « flotter » dans la masselotte et leur impact sur les défauts et la santé métallurgique de la pièce sera ainsi limité.

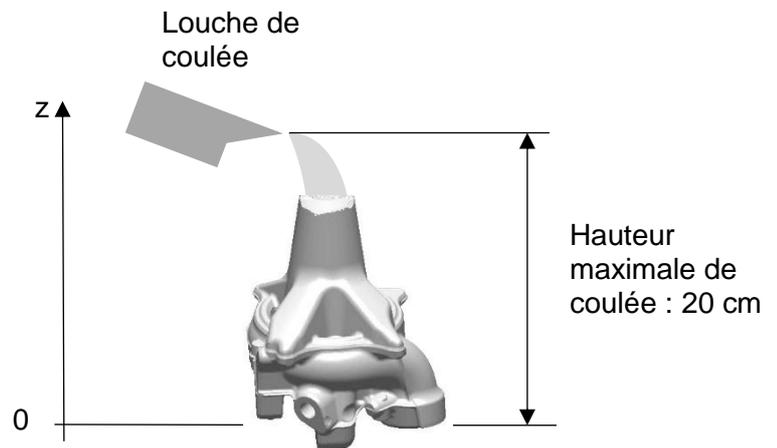
Le rôle de la masselotte est principalement d'être une réserve de « matière » pour la pièce en cours de refroidissement.

Le retrait de la pièce est dû à la contraction dimensionnelle et volumique lors du refroidissement et a tendance à générer de retassures néfastes à la tenue mécanique de la pièce. L'alliage dans la masselotte va ici être le dernier à se solidifier. Cet alliage est à une température plus élevée que la pièce en cours de refroidissement. La masselotte va donc « alimenter » la pièce en matière lors de sa solidification

2.4. Tracer en rouge sur le DR02 le(s) plan(s) de joint de cette pièce.

Voir DR02 corrigé

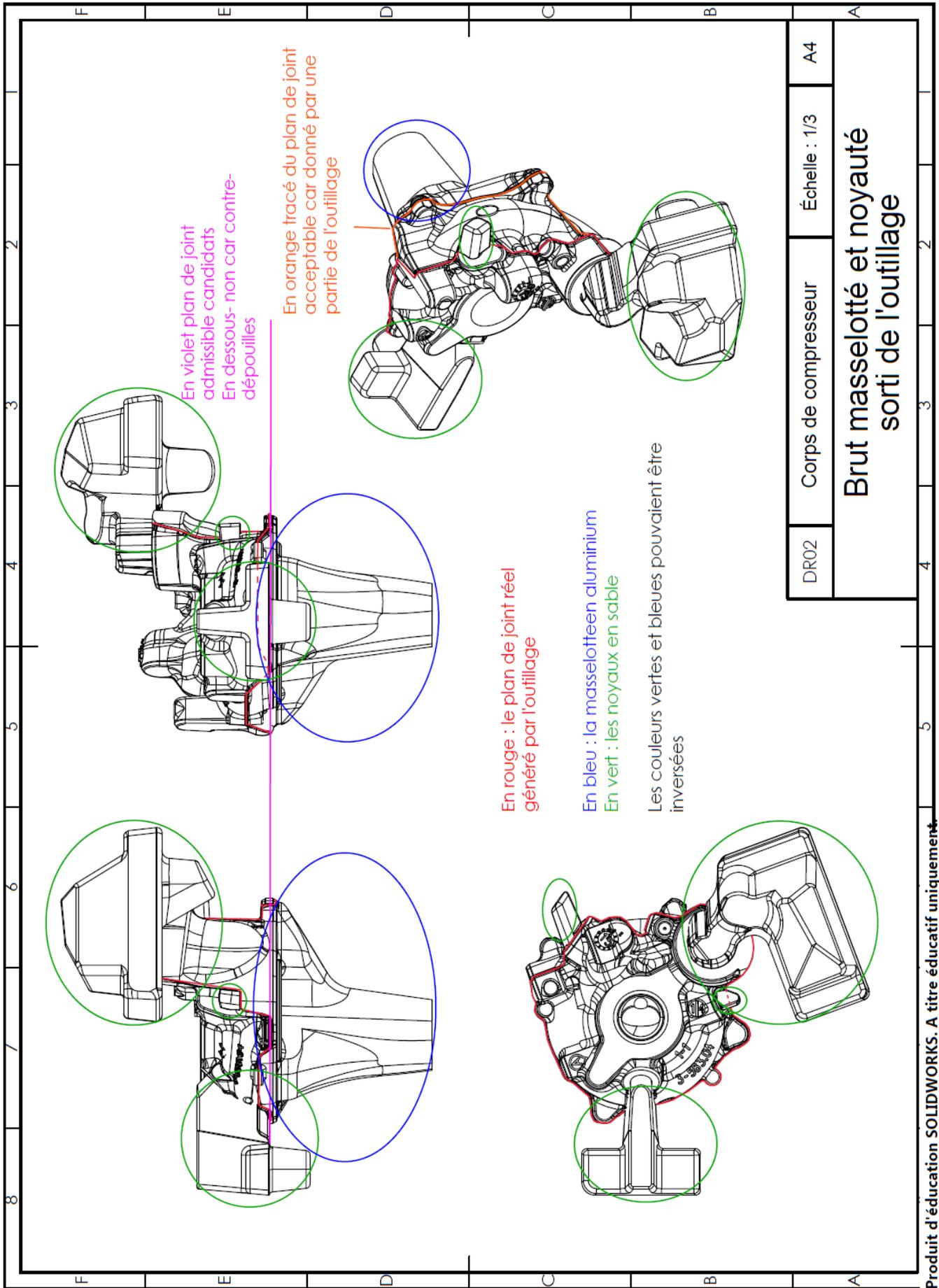
Lors d'une coulée gravitaire « en tête », le métal « chute » dans le moule puis remplit progressivement l'empreinte de la pièce à fabriquer comme ci-contre.



2.5. Déterminer la vitesse verticale théorique maximale ($m \cdot s^{-1}$) de l'alliage au fond de l'empreinte, en supposant les frottements nuls et en négligeant les phénomènes visqueux de l'alliage.

$$Z(t) = gt^2 / 2 \Rightarrow \text{Pour } z = 0,2 \text{ m on a } t = \sqrt{(0,4 / 9,81)} = 0,20 \text{ sec}$$

$$\text{D'où } v = gt = 9,81 \cdot t \Rightarrow \text{Pour } t = 0,20 \text{ sec, } v = 2 \text{ m/s}$$



2.6. Justifier l'intérêt de la coulée « basculée » par rapport à la coulée « en tête ».

Intérêt de la technique de coulée basculée / coulée en tête :

- Meilleure maîtrise des turbulences dans les zones pièce avec la coulée basculée. On peut gérer les vitesses de coulée de manière fine, avec une commande adaptée, ce qui permet d'obtenir des vitesses parfaitement adaptées à chaque instant de la coulée
- On va pouvoir se placer dans le domaine de validité de vitesses issues des essais de coulées et recommandations (sinon risque de vitesses trop élevées / données)
- Productivité optimisée grâce à la commande de mouvement

2.7 Estimer les vitesses maximales de l'alliage au cours de la coulée simulée, dans les zones « pièce » et « hors-pièce ». Justifier ces « ajustements » au regard des critères de « santé métallurgique » et de productivité.

Vmax hors pièce : Estimation de lecture entre 0,9 et 1 m·s⁻¹ => Vmax essentiellement dans la zone d'attaque et la masselotte

Vmax dans zone pièce <0,5 m·s⁻¹ => toujours inférieure à la recommandation donnée (modifiée dans le sujet donné aux candidats)

- ⇒ Les vitesses sont « faibles » dans les zones pièce et la vitesse est la plus élevée dans la zone masselottée afin d'optimiser la productivité

SANTÉ MÉTALLURGIQUE

- ⇒ par expérience si $V < 0.5$ m/s la formation d'oxydes dans l'alliage est limitée. La diminution des vitesses d'écoulement entraîne la diminution des turbulences d'écoulement. Cela limite le « brassage » de l'alliage et donc son exposition à l'oxygène de l'air => évite la formation d'oxydes générant des zones fragiles qui favorisent la concentration de contraintes, donc des sites préférentiels d'initiation de fissures.
 - ⇒ Diminution des contraintes résiduelles car l'alliage est plus homogène car moins d'oxydes. Influence sur le DAS
 - ⇒ Évite la formation de cavités, de microporosité
 - ⇒ Permet de prédire la formation de microstructures locales de manière + fiable car limitation de l'oxydation
- ⇒ On divise par 2 à 4 la vitesse / coulée en tête. On est aux limites sup des vitesses mais on reste dans le domaine défini

PRODUCTIVITÉ :

- ⇒ On optimise de fait la productivité d'une pièce « de qualité » par la cadence maximale en terme de coulée
 - Doucement dans la pièce
 - Vitesses élevées dans la masselotte => masselottage plus important
 - Rapide globalement pour obtenir une productivité la + élevée possible

- ⇒ Impactée par la présence d'une Grosse masselotte qui augmente la durée de refroidissement et donc le temps de cycle

Pour information, NON DEMANDÉ aux candidats :

Lors du remplissage du moule, les films d'oxydes sont générés par la rupture du film d'alumine superficiel enveloppant la veine de métal. Si le film d'oxyde reste entier, au final, il se retrouve en surface des pièces leur conférant une certaine résistance à la corrosion. Par contre, s'il est déchiré par les turbulences du métal, il se retrouve dans les pièces et parfois perpendiculairement à la surface formant des zones de pré-fissuration.

Ces défauts sont donc la conséquence d'un remplissage dit turbulent. On estime que le régime devient turbulent au-delà d'une vitesse critique de l'ordre de 0,5 m/s. Cela se traduit par la courbure de la surface de métal qui induit des contraintes sur l'oxyde présent en surface et, soit l'oxyde se rompt sous l'effet de ces contraintes et engendre des films d'oxyde « volants », à cœur ou en surface, ou soit l'oxyde se replie sur lui-même, au risque d'emprisonner de l'air.

Au contraire, si la vitesse de remplissage est faible, le métal voit sa fluidité baisser. La progression du métal est plus difficile d'autant plus que l'oxyde en surface participe à freiner le métal. Il existe donc également une limite inférieure en deçà de laquelle apparaissent des défauts de type reprises. Repli et reprise vont donc dépendre de la rugosité de l'empreinte, de la nature chimique de la surface (poteyage, fluosilicate de sodium, talc, ...), de la viscosité de l'alliage (Sr, Na, Be, température) et de la vitesse de remplissage.

Une présence inéluctable mais maîtrisable

La présence d'oxydes dans les pièces d'aluminium moulées est inéluctable compte tenu de l'affinité entre l'aluminium et l'oxygène. Ces oxydes peuvent se former à la fusion/maintien et lors du remplissage. Fort heureusement, il est possible de se prémunir des oxydes. Tous d'abord en désoxydant et en dégazant le métal pour les oxydes formés à la fusion ou au maintien. Ensuite, en maîtrisant la vitesse de remplissage (coulée basculée, coulée basse pression) et en optimisant les systèmes d'alimentation (simulation numérique) pour les oxydes formés lors du remplissage.

Les données de masse suivantes ont été relevées au cours de la fabrication de la pièce :



Pièce brute
1,520 kg



Pièce brute ébarbée
0,900 kg



Pièce usinée
0,640 kg

2.8. Calculer la mise au mille Mm pour cette pièce puis **commenter** la valeur obtenue par rapport aux autres procédés de fonderie.

Correction préférentielle : définition « classique » de la Mm comme étant le rapport entre ce qui entre chez le fondeur et en sort (vers l'usineur) pour 1000 kg de matière livrée (vers les process suivants).

La mise au mille Mm est de $1,520 / 0,900$ soit environ $Mm = 1,69 (x1000)$. Accepter ces valeurs ou valeurs x 1000.

Commentaire : c'est une valeur élevée pour de la grande série en coquille mais standard pour des procédés comme la fonderie cire perdue (généralement 1,6 à 1,8). => la taille de la masselotte qui affecte la Mm est ici à prendre en considération au regard des gains sur l'aspect métallurgique, induisant le gain du traitement thermique généralement nécessaire sur des pièces moins masselottées.

Pour information, NON DEMANDÉ aux candidats : importance de la masse du masselottage :

- La vitesse de coulée doit être faible dans la pièce mais doit cependant rester suffisamment élevée pour permettre le remplissage complet de l'empreinte avant solidification => Cela entraîne un masselottage conséquent correspondant aux standards de fonderie
- Un masselottage comme celui présenté permet de contrôler le refroidissement, évite les retassures et supprime les traitements thermiques en obtenant un état métallurgique optimisé.

Inconvénient d'un tel masselottage : augmente la durée de refroidissement et donc le temps de cycle de production

Partie 3 : Productivité / Contrôle / Fabrication

(Durée conseillée : 30 min)

Objectifs : proposer une solution de fabrication par usinage optimisant la productivité

Productivité

3.1. Calculer, en fonction de la quantité envisagée de pièces à fabriquer, le coût total de production.

Coût total de production = 200 000 pièces x 12 €/pièce x 4 années = 9,6 M€

(éléments DT06 à reporter sur le DR03)

3.2. Établir pour 4 années le tableau de calcul des flux nets de trésorerie lié à ce projet d'investissement. **Calculer** la somme des flux nets de trésorerie.

Les étapes de calcul étant données, il faut compléter le tableau proposé en suivant la démarche.

Tableau rempli => FNT = 3 217 400,00 €

Au terme des 4 années de fonctionnement, les FNT s'élèvent à 3 217 400 €.

DR03 - Etude de rentabilité

Q3.1 - Q3.2 - Q3.3

	Durée d'utilisation de l'unité de production	Données / Calculs
	4 ans	
	Coût total de production = Chiffre d'affaire attendu	9 600 000,00 €
	Coût total de l'investissement	1 205 000,00 €
	Au terme de l'exploitation et de l'amortissement, valeur résiduelle de l'unité	0,00 €
	Charges d'exploitations supplémentaires dues à l'investissement réalisé	5 600 000,00 €
	Imposition des bénéfices	782 600,00 €

	2020	2021	2022	2023
	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4
CA	2 400 000,00 €	2 400 000,00 €	2 400 000,00 €	2 400 000,00 €
- CH_ex	1 400 000,00 €	1 400 000,00 €	1 400 000,00 €	1 400 000,00 €
- DA	301 250,00 €	301 250,00 €	301 250,00 €	301 250,00 €
= Ravi	698 750,00 €	698 750,00 €	698 750,00 €	698 750,00 €
- IsB	195 650,00 €	195 650,00 €	195 650,00 €	195 650,00 €
= Rapl	503 100,00 €	503 100,00 €	503 100,00 €	503 100,00 €
+ DA	301 250,00 €	301 250,00 €	301 250,00 €	301 250,00 €
+ VRA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
= FNT	804 350,00 €	804 350,00 €	804 350,00 €	804 350,00 €

Détermination de la viabilité de l'investissement (Nombre de mois où FNT = Coût Total des Investissements) : expression littérale et application numérique

$$\text{Ravi} = \text{CA} - \text{CH}_{\text{ex}} - \text{DA}$$

$$\text{FNT Annual} = \text{Ravi} \times (1-0,28) + \text{DA} + \text{VRA}$$

Le moment permettant de vérifier la viabilité de l'investissement est donné par $\text{FNT Mensuel} \times \text{Nb_mois_nécessaires} = \text{CTI}$ ou $\text{FNT Annual} / 12 \times \text{Nb_mois_nécessaires} = \text{CTI}$

d'où
$$\text{Nb_mois_nécessaires} = 12 \times \text{CTI} / \text{FNT Annual} = 12 \times \text{CTI} / [(\text{CA} - \text{CH}_{\text{ex}} - \text{DA}) \times (1-0,28) + \text{DA} + \text{VRA}]$$

$$\text{Nb_mois_nécessaires} = 12 \times 1.205.000 / [(2.400.000 - 1.400.000 - 301.250) \times (1-0,28) + 301.250 + 0] = 17,98$$

Après calcul : Nb_mois nécessaires < 18 => Investissement viable

Sur le DR03, en vous aidant du DT06 :

3.3. Déterminer l'expression littérale puis **calculer** la durée en mois nécessaire pour atteindre le seuil de rentabilité (délai de retour sur investissement du capital investi).
Conclure sur l'investissement.

Détermination de la viabilité de l'investissement (FNT sur 18 mois > montant des investissements) : expression littérale et application numérique

$$R_{avl} = CA - CH_{ex} - DA$$

$$FNT \text{ Annuel} = R_{avl} \times (1 - 0,28) + DA + VRA \text{ ou } FNT \text{ Annuel} = R_{avl} \times (1 - T_i) + DA + VRA$$

Le moment permettant de vérifier la viabilité de l'investissement est donné par

$$FNT \text{ Mensuel} \times Nb_mois_nécessaires = CTI \quad \text{ou} \quad FNT \text{ Annuel} / 12 \times Nb_mois_nécessaires = CTI$$

$$\text{d'où } Nb_mois_nécessaires = 12 \times CTI / [(CA - CH_{ex} - DA) \times (1 - 0,28) + DA + VRA]$$

$$\begin{aligned} N_{mn} &= 12 \times 1.205.000 / [(2.400.000 - 1.400.000 - 301.250) \times (1 - 0,28) + 301.250 + 0] \\ &= 17,98 \end{aligned}$$

Méthode sans expression littérale :

La somme des investissements s'élève à 1 205 000,00 €

Le coût de production annuel s'élève à 2,4 M€ = 200.000 pièces x 12 €/pièce

Au terme de 2 années de fonctionnement les Flux Nets de Trésorerie s'élèvent à 1 608 700 € > Investissements initiaux réalisés de 1 205 000 €

Le mode d'amortissement étant linéaire, le délai de récupération se calcule ou se détermine graphiquement. À partir du tableau, on constate que le délai de récupération est inférieur à 2 ans.

$$FNT \text{ annuel} = 804 350 \text{ €}$$

$$\text{En faisant l'hypothèse d'une production régulière sur l'année } FNT \text{ mensuel} = FNT \text{ annuel} / 12 \text{ mois} = 67 030 \text{ € / mois}$$

$$\text{Investissement} / FNT \text{ mensuel} = 1 205 000 / 67 030 \text{ €} = 17,98 \text{ mois soit } 18 \text{ mois ou } 1 \text{ an et } 6 \text{ mois}$$

Le délai de retour sur investissement sera de 18 mois ce qui correspond à la demande.

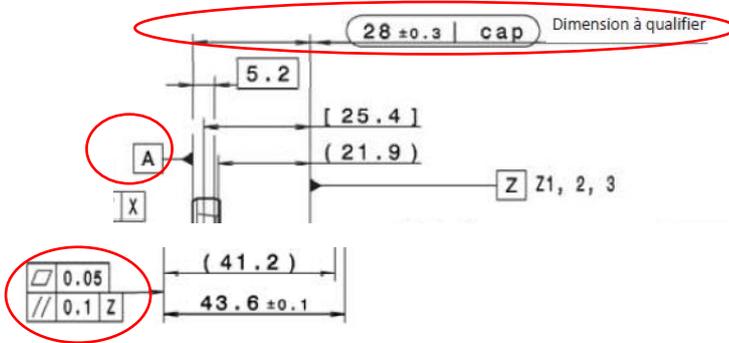
CONCLUSION : L'investissement est « viable » pour cette production dans les conditions fixées.

Contrôle

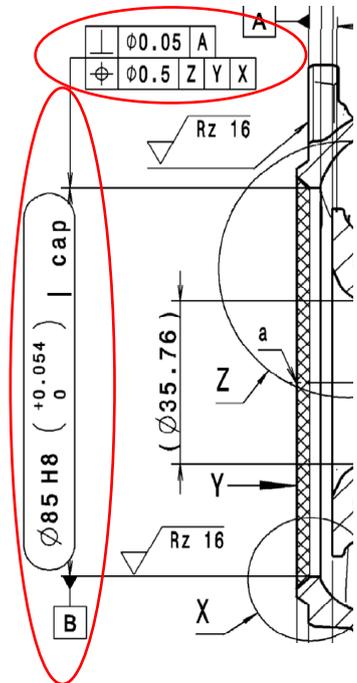
3.4. Relever les éléments de cotation relatifs aux surfaces A et B (DT04).

Expliquer en quoi la réalisation conforme de ces surfaces est un préalable nécessaire à l'obtention d'une pièce répondant à l'ensemble des spécifications exigées par le client.

Surface A



Surface B



La définition de A et B par rapport au brut Z (Z1, 2,3) permet de mettre en place le référentiel de fabrication et de contrôle de la pièce.

La définition de toutes les autres surfaces hors bruts leur est relative.

Elles doivent donc être réalisées conformes dès que possible et lors de la même mise en position, afin d'assurer que l'ensemble des autres spécifications dimensionnelles et géométriques de cette pièce puissent être respectées => assurer les fonctionnalités attendues de la pièce définies par le BE du client.

3.5. Compléter sur le DR04 l'explicitation des spécifications géométriques proposées.

Voir DR04 corrigé page suivante

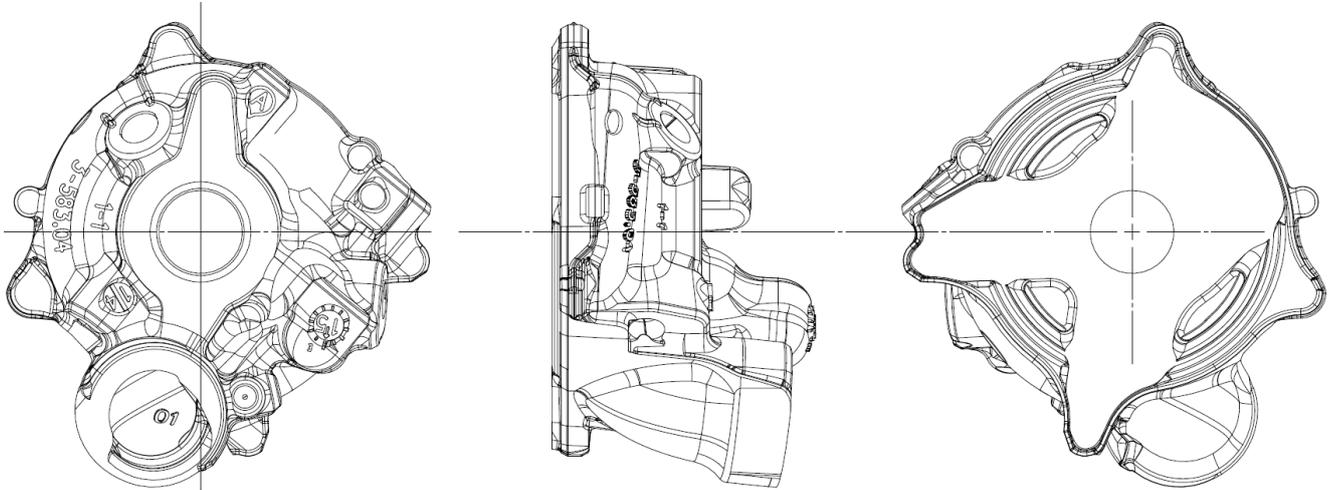
DR04 : Interprétation de spécifications géométriques

Q3.5

Type de spécification	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance et condition de conformité
<input type="checkbox"/> Forme <input type="checkbox"/> Orientation <input type="checkbox"/> Position <input type="checkbox"/> Battement	<input checked="" type="checkbox"/> Unique Groupe	<input checked="" type="checkbox"/> Unique Multiples	<input checked="" type="checkbox"/> Simple Commune Système	<input checked="" type="checkbox"/> Simple Composé
Spécification sur B  <p>Nelson : la spécif de localisation ne pouvait être correctement traitée car il manquait 2 cotes encadrées angulaires dans le Dessin de définition</p>	Axe de la surface B réputée cylindrique	Surface plan A Ou Plan médian des plans A et Z (car référence B en face de la spécif dimensionnelle / Z)	Plan tangent « extérieur matière » qui minimise l'écart maximal Ou Plan médian des plans tangents « extérieur matière » qui minimise les écarts maximaux	L'axe réel de B doit être contenu dans un cylindre de Ø0,05 perpendiculaire au plan de référence A Ou L'axe réel de B doit être contenu dans un cylindre de Ø0,05 perpendiculaire au plan médian des plans A et Z ...

Fabrication

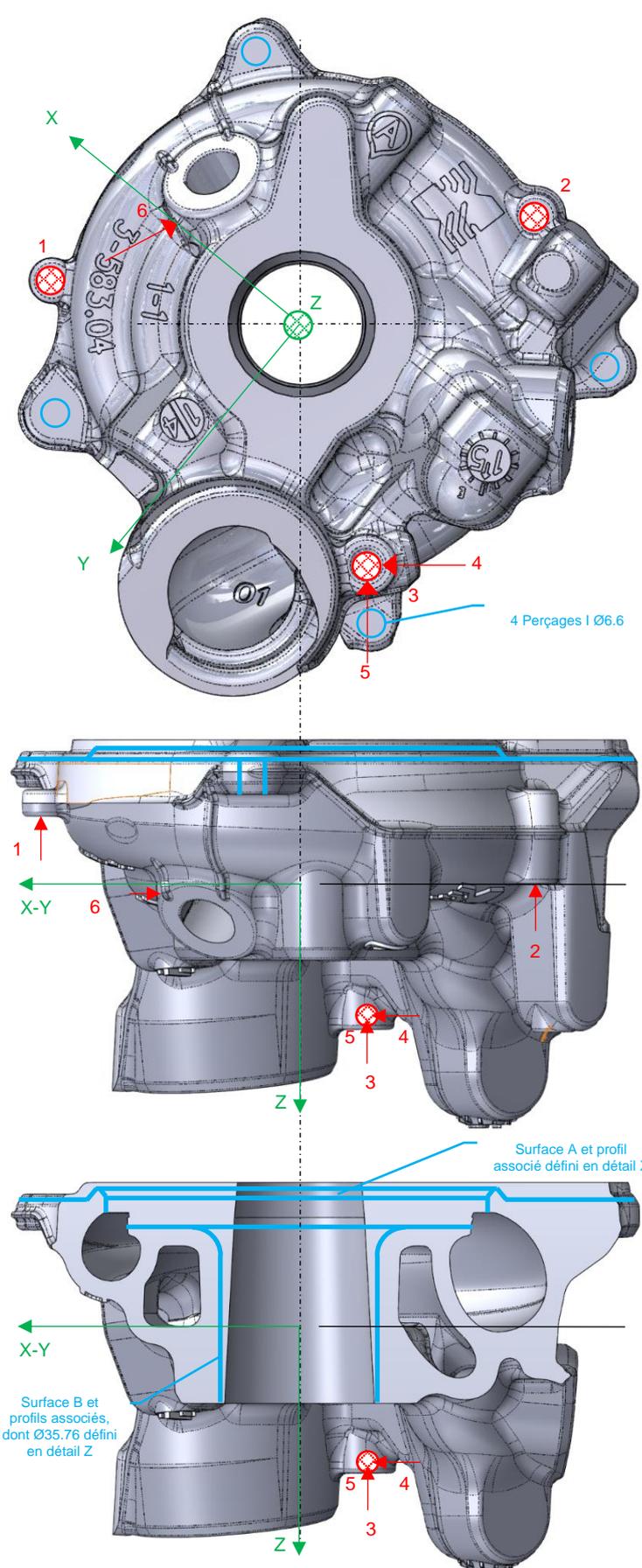
La pièce brute telle que définie sur le DT03 a été modifiée en revue de projet pour permettre le gain d'une opération, après vérification des capacités du processus d'usinage disponible. Après déburrage, décochage et ébavurage, une tronçonneuse vient en effet séparer la masselotte de la pièce, ce qui engendre une forme en « X » comme sur la figure suivante, qui devra être supprimée par enlèvement de matière.



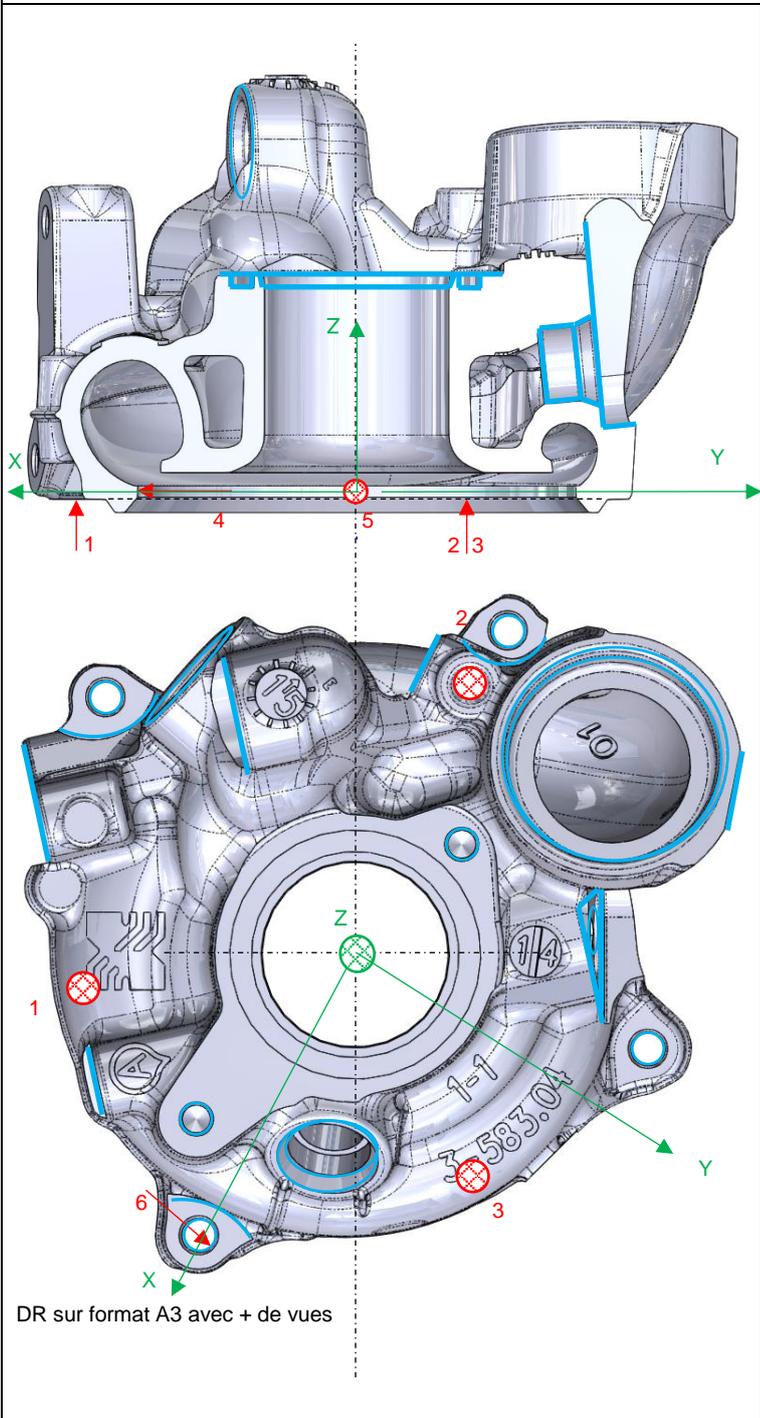
Après tronçonnage et selon les consignes du client, l'entreprise souhaite réaliser l'ensemble des usinages de cette pièce en un maximum de 2 phases, sur centre d'usinage 5 axes :

- phase 10 : surfaces A, B, alésage $\varnothing 35,76$ et profil G-H, puis les 4 trous de la base ;
- phase 20 : surfaces C-C1-D, toutes surfaces liées à A et B ;
- les autres surfaces ne seront pas prises en compte dans cette étude ;
- les points *a* et *b* des définitions des pièces « État brut client » et « Pièce usinée » sont utilisés pour la construction du référentiel d'usinage.

3.6 Sur le DR05 pour la phase 10, **représenter** sur les vues de la pièce, la mise en position, le référentiel mis en place et les surfaces réalisées. Dans les tableaux, **expliquer** la mise en position, **définir** l'ordre de réalisation des surfaces et **proposer** des outils pour chaque opération.

OPÉRATION 10	Machine utilisée	Fraiseuse Verticale 5 axes (3 possible)	
Symbolisation de mise en position (rouge) et surfaces réalisées (bleu)	Ddl supprimés	Usinages et surfaces générées	Type d'outil utilisé
	<p>Appui-plan sur Z (Z1, Z2, Z3) 1-2-3 (-3)</p> <p>Localisation sur Y 4-5 (-2)</p> <p>Appui ponctuel sur X 6 (-1)</p>	<p>Surface A et profil associé défini en détail X</p> <p>Ebauche Alésage Ø35.76</p> <p>Ebauches Surfaces B et G</p> <p>Finitions Alésage B + profils associés G ⇔ H + Alésage Ø35.76</p> <p>Perçages I Ø6.6 x4</p>	<p>Ebauche : fraise à surfer 2 tailles « droite » Finition de A et profil en contournage avec outil de forme à 55°</p> <p>Fraise 2T en contournage</p> <p>Fraise 2T en contournage</p> <p>Fraise de Forme</p> <p>Pointage puis perçage avec un Foret court Ø6.6 (long 20)</p>

3.7 Sur le DR06 pour la phase 20, **représenter** sur les vues de la pièce, la mise en position, le référentiel mis en place et les surfaces réalisées. Dans les tableaux, **expliquer** la mise en position, **définir** l'ordre de réalisation des surfaces.

OPÉRATION 20	Machine utilisée	Fraiseuse Verticale 5 axes	
Symbolisation de mise en position (rouge) et surfaces réalisées (bleu)	Ddl supprimés	Usinages et surfaces générées	Type d'outil utilisé
 <p>DR sur format A3 avec + de vues</p>	<p>Appui-plan sur A 1-2-3 (-3)</p> <p>Localisation sur B 4-5 (-2)</p> <p>Appui ponctuel dans le trou Ø6,6 6 (-1)</p>	<p>Surface opposée à A Perçage taraudage M6 x2 Ébauche Rainure Finition Rainure</p> <p>Surfaçage C1 Alésage ébauche D Alésage D – Ø40H8</p> <p>Point k Surfaçage Perçage Taraudage M6</p> <p>Point i – « Eau 1 » Surfaçage Perçage Ø12 Perçage Ø14.5 Alésage Ø15H8</p> <p>Points hj - « Eau 2 » Surfaçage Perçage Ø17,5 Alésage Ø18H8 Perçage Taraudage M6</p> <p>Surfaçages x2 de la Face 3 taraudages M6 Surfaçages x2 Perçages x3 Taraudages M6</p> <p>Point l – « Eau 3 » Perçage Ø15,5 Alésage Ø16H9 Chanfreinage 60°</p> <p>Points dp « Eau 4 » Surfaçage Perçage Ø15,5 Alésage Ø16H8 Perçage Taraudage M6</p> <p>Surfaçage x3 des faces de 3 des 4 trous Ø6,6</p> <p>Chanfreinages des 4 trous Ø6,6</p>	<p>Fraise à surfaçer 2 tailles « droite » Foret Ø5 Taraud machine M6 Fraise ébauche à rainurer Fraise finition int + ext</p> <p>Fraise 2 Tailles Ø20 Fraise 2 Tailles Ø20 Alésoir grain</p> <p>Fraise Ø16 Foret Ø5 Taraud machine M6</p> <p>Fraise Ø23 Foret Ø12 Foret Ø14,5 Alésoir Ø15H8</p> <p>Fraise Ø30 Foret Ø17,5 Alésoir Ø18H8 Foret Ø5 Taraud machine M6</p> <p>Fraise Ø30 Foret Ø5 Taraud machine M6</p> <p>Foret Ø15,5 Alésoir Ø16H9 Fraise à chanfreiner</p> <p>Fraise Ø18 Foret Ø17,5 Alésoir Ø16H8 Foret Ø5 Taraud machine M6</p> <p>Fraise 2 tailles Ø20 (contournage du profil) Fraise à chanfreiner</p>

L'entreprise a mis en place avec son client « traditionnel » un contrat de fourniture des pièces se basant sur un contrôle de la proportion d'individus non conformes. Le système d'échantillonnage ISO 2859-1 (DT07) pour le contrôle par attributs a été retenu.

Le NQA (Niveau de Qualité Acceptable) convenu entre les parties est de 4‰.

L'acceptation des livraisons est fondée sur un contrôle de type général de niveau III, accompagné d'un plan d'échantillonnage simple en contrôle normal pour la phase de lancement du premier lot de pièces.

7 pièces ont été contrôlées non conformes sur ce premier lot.

Déterminer l'effectif de l'échantillon ainsi que les critères d'acceptation / rejet du lot. **Vérifier** la conformité du lot. **Commenter** les choix et résultats puis **conclure**.

Lot de 20 000 pièces + contrôle général niv 3 => code N

⇒ Taille échantillon 500 pièces

⇒ $A_c = 5$

⇒ $R_e = 6$

⇒ $7 > 6$ => Lot Non Conforme => Stabiliser la production. Si plus de 2 lots refusés, mettre en place un contrôle de type renforcé

Voir page suivante

DT07 - Contrôle par attributs
Système d'échantillonnage ISO 2859-1

Table IIa - Plan d'échantillonnage simple en contrôle normal

Lettre Code de Taille d' échantillon	Niveau de qualité acceptable %																									
	0,010	0,015	0,025	0,040	0,065	0,10	0,15	0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000
A	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
B	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
C	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
D	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
E	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
G	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
H	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
J	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
K	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
L	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
O	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
P	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
R	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Table I - Lettres code de l'effectif d'échantillon

Taille du lot	Niveaux de contrôle généraux			Niveaux de contrôle spéciaux		
	I	II	III	S-1	S-2	S-3
2 à 8	A	B	A	A	A	A
9 à 15	A	B	A	A	A	A
16 à 25	B	C	D	A	A	A
26 à 50	C	D	E	A	B	B
51 à 90	C	E	F	B	B	C
91 à 150	D	F	G	B	B	C
151 à 280	E	G	H	B	C	D
281 à 500	F	H	I	B	C	D
501 à 1 200	G	I	J	B	C	D
1 201 à 3 200	H	J	K	C	D	E
3 201 à 10 000	I	K	L	C	D	E
10 001 à 35 000	K	M	N	C	D	F
35 001 à 150 000	L	N	O	D	E	G
150 001 à 500 000	M	O	P	D	E	G
500 001 à 1 500 000	N	P	Q	D	E	H
1 500 001 à 5 000 000	O	Q	R	D	E	H

Table IIb - Plan d'échantillonnage simple en contrôle renforcé

Lettre Code de Taille d' échantillon	Niveau de qualité acceptable %																									
	0,010	0,015	0,025	0,040	0,065	0,10	0,15	0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000
A	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
B	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
C	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
D	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
E	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
G	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
H	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
J	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
K	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
L	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
O	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
P	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
R	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Table IIc - Plan d'échantillonnage simple en contrôle réduit

Lettre Code de Taille d' échantillon	Niveau de qualité acceptable %																									
	0,010	0,015	0,025	0,040	0,065	0,10	0,15	0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000
A	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
B	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
C	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
D	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
E	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
F	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
G	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
H	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
J	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
K	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
L	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
O	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
P	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
R	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Ac = critère d'acceptation
Re = Critère de rejet
↓ = Utiliser le premier plan d'échantillonnage figurant sous la flèche. Si l'effectif de l'échantillon est égal ou supérieur à l'effectif du lot, effectuer un contrôle à 100%.
↑ = Utiliser le premier plan d'échantillonnage figurant au-dessus de la flèche.

Partie 4 : Analyse du mécanisme de fermeture

(Durée conseillée : 40 min)

Objectifs : Suite à des défauts constatés sur une pré-série de pièces, analyser le mécanisme de fermeture du moule et les solutions techniques adoptées garantissant la bonne qualité du produit.

4.1. Déterminer le degré d'hyperstatisme du mécanisme 3D (avant bridage de la liaison 3-4, et en excluant les vérins).

En excluant les vérins :

$$M_u = 0$$

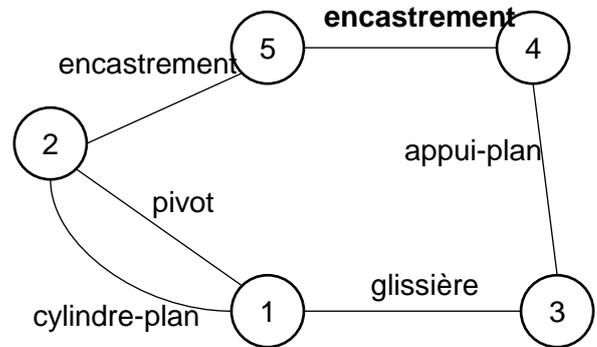
$$M_i = 0$$

$$N_s = 5+5+2+6+6+3 = 27$$

$$N_{eq} = 6 \times 4 = 24$$

$$H = 27 - 24 + 0 = 3$$

Mécanisme hyperstatique de **degré 3**.



4.2. Préciser les degrés de liaison excédentaires (degrés qu'il faudrait « libérer ») du point de vue de la liaison entre les deux empreintes du moule, afin de garantir leur bon positionnement relatif.

Du point de vue de la liaison entre les 2 empreintes, il faudrait libérer :

- 2 rotations (Rx et Rz)
- et 1 translation (Ty)

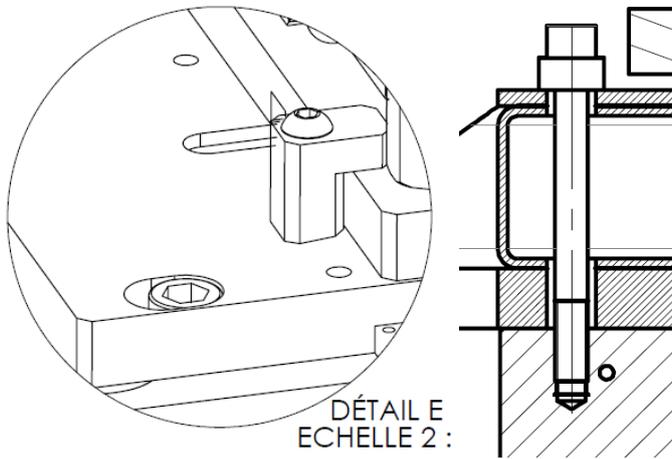
4.3. Décrire les conséquences de ce défaut résiduel sur le fonctionnement du mécanisme, les opérations de démoulage et le respect des spécifications sur les pièces.

Une mauvaise mise en position des deux empreintes du moule pourrait provoquer du jeu au niveau du plan de joint du moule (mauvaise fermeture), et entraîner par conséquent :

- des défauts dimensionnels et géométriques sur le brut,
- des écoulements d'alliage liquide lors de la coulée,
- des problèmes lors du démoulage : efforts supplémentaires pour ouvrir le moule, arrachements de matière pièce ou endommagement des ½ moules
- des défauts de géométrie (écarts) entre la partie générée par le demi-moule supérieur et celle générée par le ½ moule inférieur

4.4. Grâce à une analyse des solutions techniques décrites sur les documents techniques DT09 et DT11, **justifier** la modélisation proposée pour la liaison entre le porte-empreinte et l'empreinte inférieure. **Préciser** les solutions techniques adoptées.

La liaison appui-plan puis bridage entre 3 et 4 permet d'éviter des écarts en Tx, Tz et Ry.



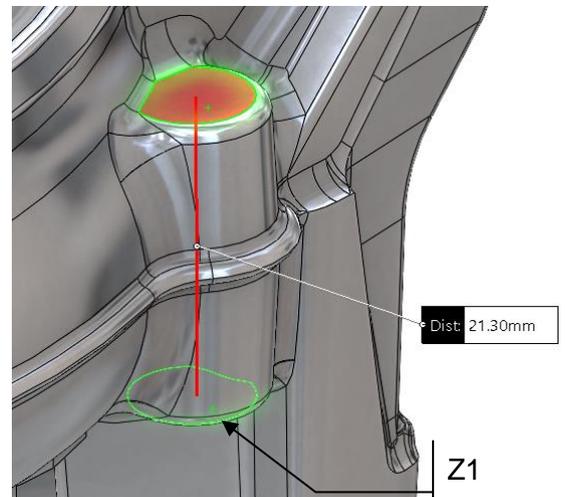
On peut très facilement envisager, lors de la mise en place des empreintes, une procédure de mise en position grâce aux 3 plots de centrage (DT10) puis un maintien en position par serrage des 4 vis ChC (dans trous oblongs) et des 4 brides (DT10))

La pièce brute possède une spécification dimensionnelle (qui n'apparaît pas sur DT03) entre la surface Z1 et la surface plane située en face de Z1.

$$21,3 \pm 0,2 \text{ mm}$$

Cette spécification intervient entre deux surfaces brutes engendrées par les deux empreintes supérieure et inférieure du moule (voir DT11).

Par conséquent, le respect de cette spécification dépend très fortement de la qualité de la mise en position relative des deux empreintes du moule.



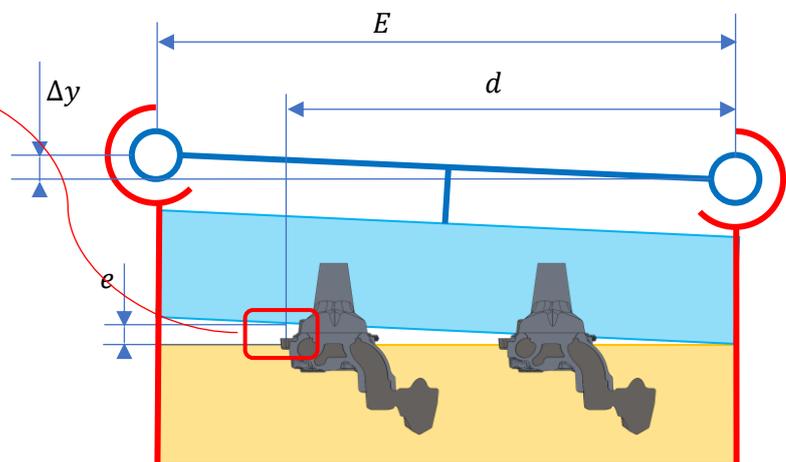
4.5. En relevant les dimensions nécessaires sur le document DT11 (vue de l'empreinte inférieure), **estimer** la précision dimensionnelle à obtenir au niveau des paliers de la liaison entre les parties mobiles du « bâti de coulée basculée ». **Conclure** quant à la capacité du système à garantir cette spécification.

La surface « inférieure » doit être à une distance de 21.3 mm de la référence Z1, avec une tolérance de $\pm 0,2$ mm.

On la localise sur le dessin DT11, puis sur le schéma fourni : □

Modélisation géométrique du défaut :

$$\Delta y = e \frac{E}{d}$$



On mesure sur les dessins :

$E \approx 637 \text{ mm}, d \approx 532 \text{ mm}$

Pour respecter la tolérance, il faut que $\Delta y < 0,2 \frac{637}{532} = 0,24 \text{ mm}$

Tolérance qui semble tout à fait tenable sur une pièce mécanosoudée de cette dimension.

4.6. Proposer une solution d'amélioration permettant par un réglage de réduire un éventuel défaut de positionnement.

Utilisation de cales

Montage des paliers de la liaison pivot sur excentrique pour pouvoir influencer sur l'inclinaison de l'axe.

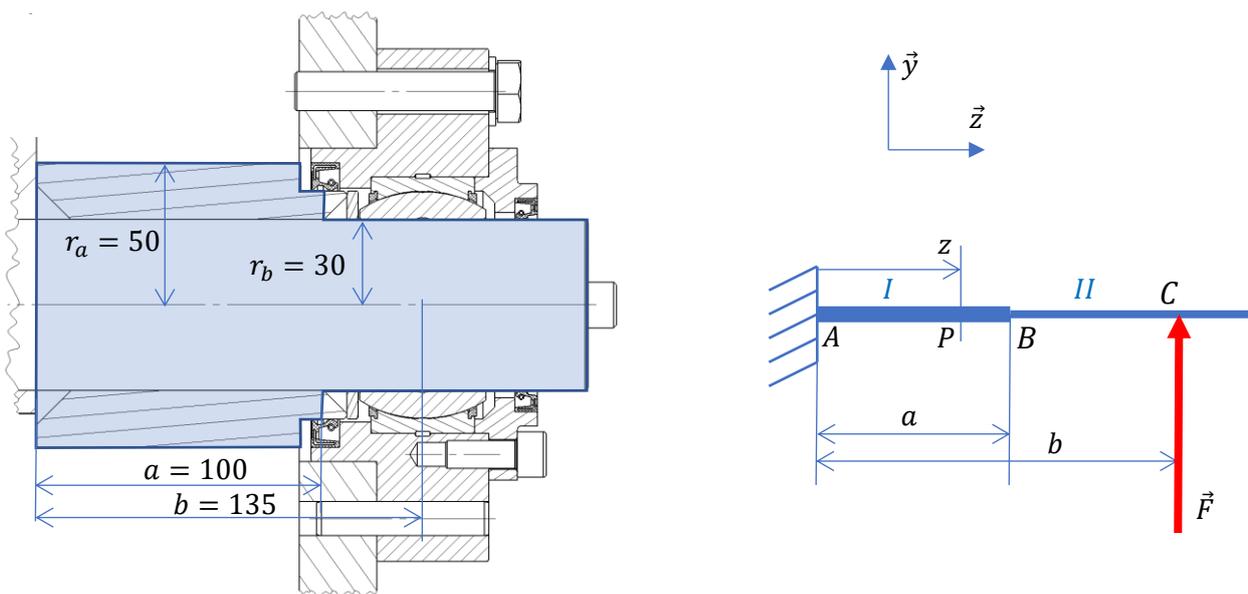
Partie 5 : étude de résistance des matériaux

(Durée conseillée : 40 min)

Objectifs : vérifier la capacité du mécanisme de basculement à résister aux sollicitations et proposer une solution d'amélioration.

- Modélisation et calcul analytique

Hypothèse : on considère le cas où les cordons de soudure ne participent pas à la résistance de l'ensemble mécanosoudé (les différentes parties sont en parfaite cohésion).



Le matériau utilisé pour la construction de la partie mobile du bâti possède une limite élastique $\sigma_e = 620 \text{ MPa}$.

5.1. Exprimer le torseur de cohésion et **décrire** la sollicitation à laquelle est soumise l'axe de la partie mobile.

Sollicitation : flexion simple

$$\{T_{cohésion}\} = \{T_{II \rightarrow I}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{F} \\ M_P(\vec{F}) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} F\vec{y} \\ -(b-z)F\vec{x} \end{array} \right\}$$

5.2. Déterminer la nature et le lieu des contraintes maximales qu'engendre cette sollicitation.

Conclure quant à la résistance de l'axe.

Les contraintes sont donc :

- Des contraintes normales selon l'axe \vec{z}
- Des contraintes tangentielles dans les plans de normale \vec{z} .

Contrainte normale maximale dans la section au point P :

$$\sigma_{Pmax} = \frac{\|M_P(\vec{F})\|}{I_y} r = \frac{4(b-z)Fr}{\pi r^4} \quad \text{avec : } I_y = \frac{\pi r^4}{4}$$

Les contraintes normales présentent des éventuels maximums aux points A et B .

$$\sigma_{Amax} = \frac{4bF}{\pi r_a^3} \qquad \sigma_{Bmax} = \frac{4(b-a)F}{\pi r_b^3}$$

Coefficient de sécurité :

$$k = \frac{\sigma_e}{\sigma_{max}}$$

Application numérique :

On mesure sur les dessins : $a = 100$ mm $b = 135$ mm $r_a = 50$ mm $r_b = 30$ mm

a = 100	mm		$\sigma_a = 141$ Mpa
b = 135	mm		$\sigma_b = 169$ MPa
ra = 50	mm		
rb = 30	mm		k = 3,66
$\sigma_e = 620$	Mpa		
F = 102500	N		

D'après cette étude, c'est donc au point B que les contraintes normales devraient être les plus importantes.

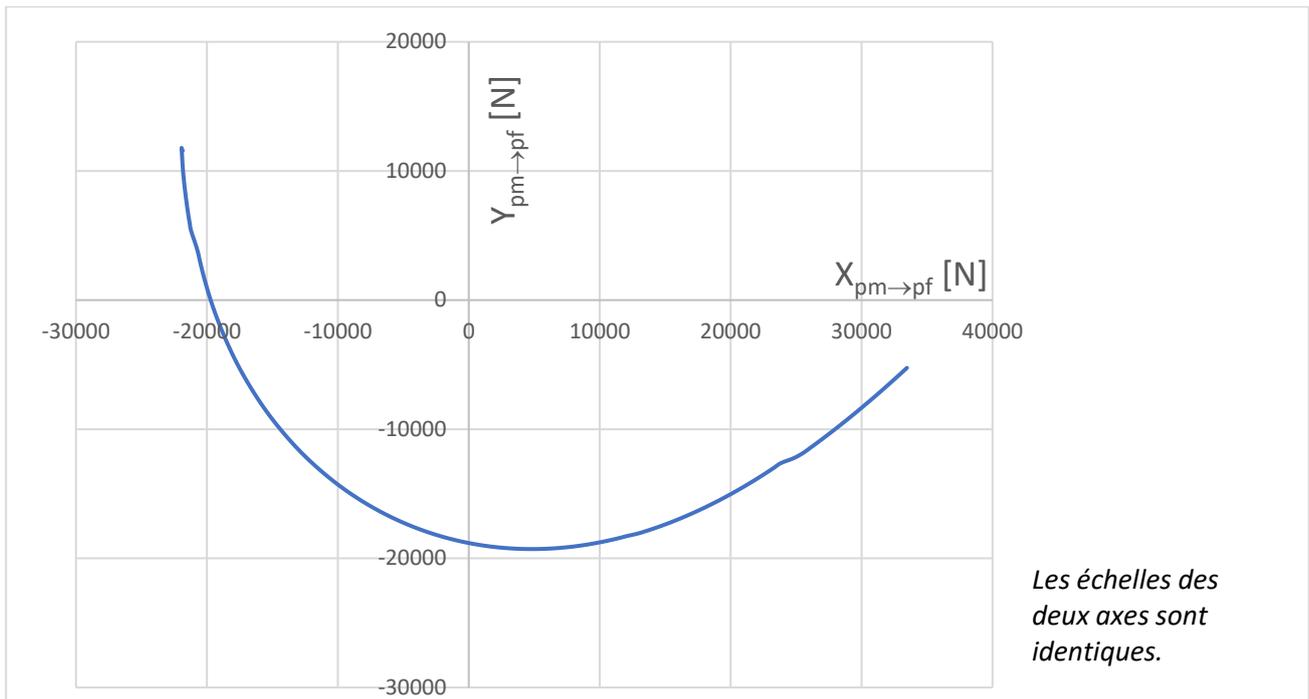
Conclusion :

$\sigma_{Bmax} < \sigma_e$ (coefficient de sécurité de 3.67) : la résistance de l'axe semble assurée avec ces hypothèses.

...

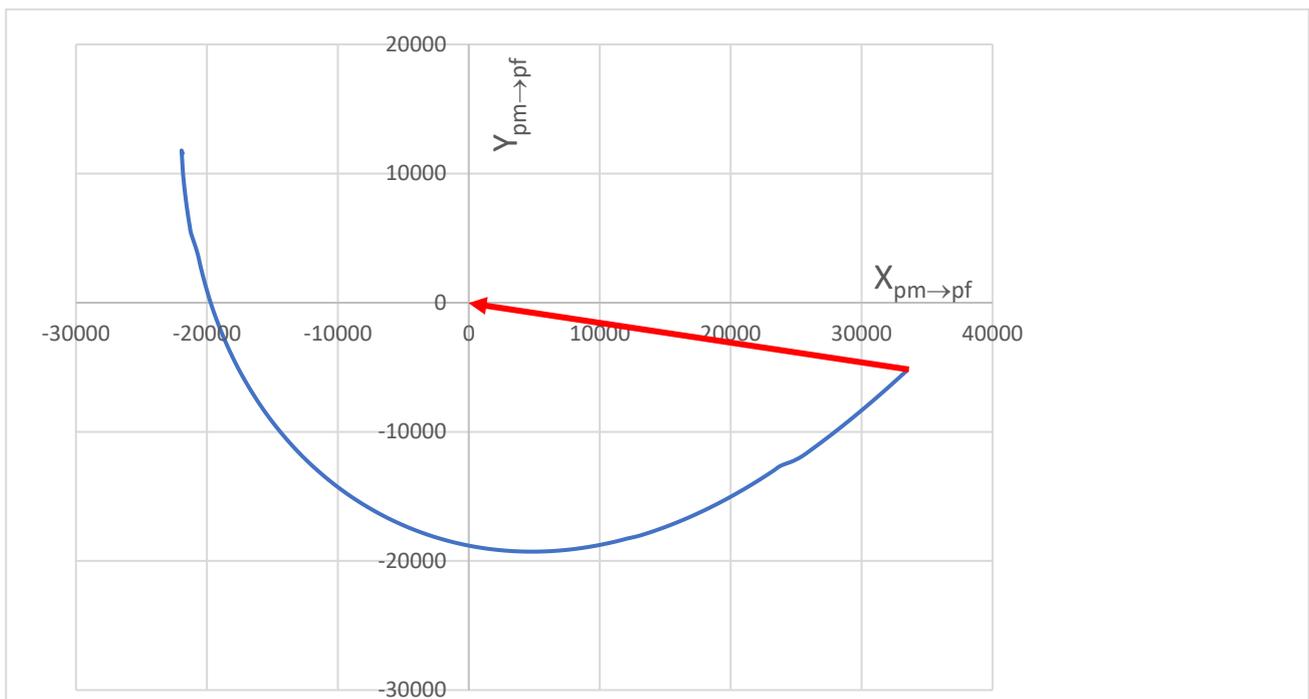
- Analyse numérique

Une étude dynamique par un logiciel de simulation numérique a permis d'obtenir les composantes de l'action de liaison exercée par la partie mobile sur la partie fixe, exprimées dans le repère mobile lié à la partie mobile ($\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}$) : $\vec{F}_{pm \rightarrow pf} = X_{pm \rightarrow pf} \vec{x}_1 + Y_{pm \rightarrow pf} \vec{y}_1$



5.3. Déterminer l'effort maximal que doit transmettre la liaison entre le bâti et la partie mobile. **Préciser** sa direction (angle par rapport à \vec{x}_1). **Tracer** sur le document réponse DR08 une représentation de l'action exercée par la partie fixe sur la partie mobile au niveau d'une des deux rotules lisses de la liaison.

Courbes obtenues par simulation (sources : BASTIDOR BOSCH.SLDASM – Effort_Pivot_Basculement V2.xlsx) :



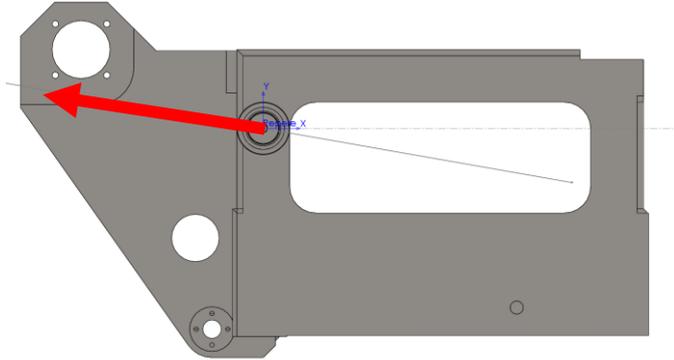
$$\|\vec{F}_{pm \rightarrow pf}\| = \sqrt{X_{pm \rightarrow pf}^2 + Y_{pm \rightarrow pf}^2} = \sqrt{33500^2 + 5250^2} = 33900 \text{ N}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{5250}{33500}\right) = 171^\circ$$

L'effort maximal se produit en début de mouvement de retour, sur un des deux roulements :

Norme :

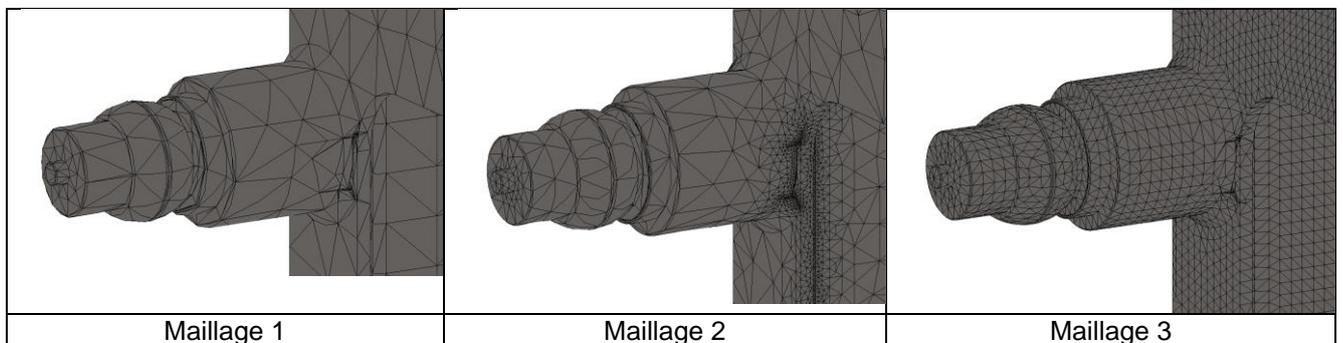
- $\|\vec{F}_{liaison}\| = \frac{33900}{2} = 16950 \text{ N}$
- Angle : $\approx 170^\circ$



Pour la suite, on prendra : $\|\vec{F}_{pm \rightarrow pf}\| = 35000 \text{ N}$

On décide de faire appel à un logiciel de calcul par éléments finis pour évaluer les contraintes dans la pièce.

5.4. Parmi les 3 propositions de maillage ci-dessous, **choisir** celle qui offre le meilleur compromis précision/temps de calcul. **Justifier** votre réponse.



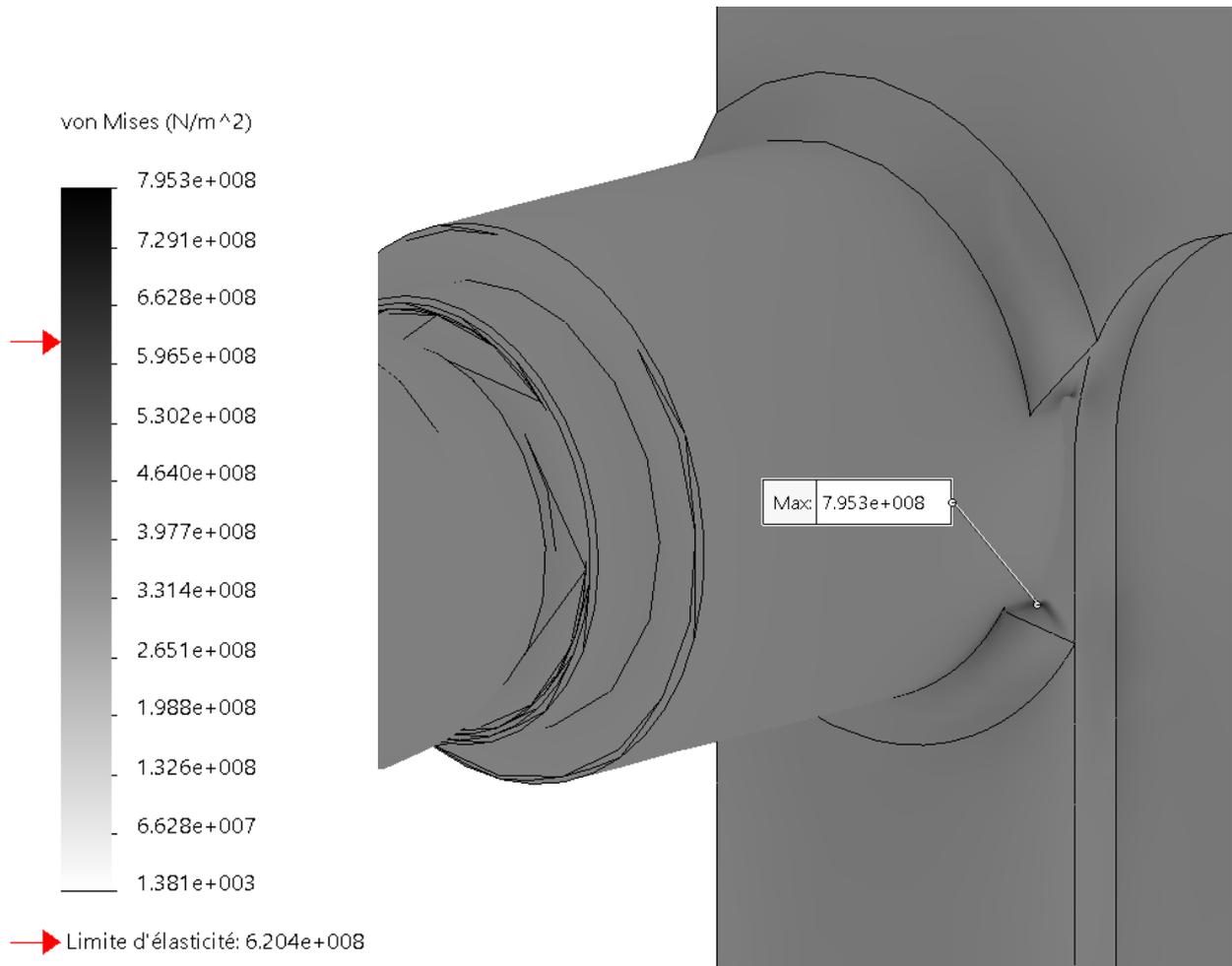
Correction

Le **maillage n°1** est **trop grossier** pour permettre une évaluation correcte des concentrations de contrainte.

Le **maillage n°3** est assez dense pour permettre une évaluation correcte des concentrations de contrainte, mais le **grand nombre de nœuds, régulièrement répartis** dans toute la pièce, risque de ralentir le calcul.

Le **maillage n°2** (basé sur la courbure et doté d'un contrôle de maillage) présente une plus grande concentration de nœuds là où risquent de se produire de fortes variations de contrainte. C'est le modèle le plus adapté.

Le logiciel de simulation donne le résultat suivant :



5.5. Analyser les résultats de cette simulation. **Justifier** la zone de contrainte maximum. **Conclure** quant à la résistance de la liaison.

On relève la contrainte maximale (selon le critère de Von Mises) : $\sigma_{max} = 7,95 \cdot 10^8 \text{ Pa} = 795 \text{ MPa}$

Limite élastique du matériau : $\sigma_e = 6,2 \cdot 10^8 \text{ Pa} = 620 \text{ MPa}$

Coefficient de sécurité : $k = \frac{\sigma_e}{\sigma_{max}} = \frac{620}{795} \approx 0,78$

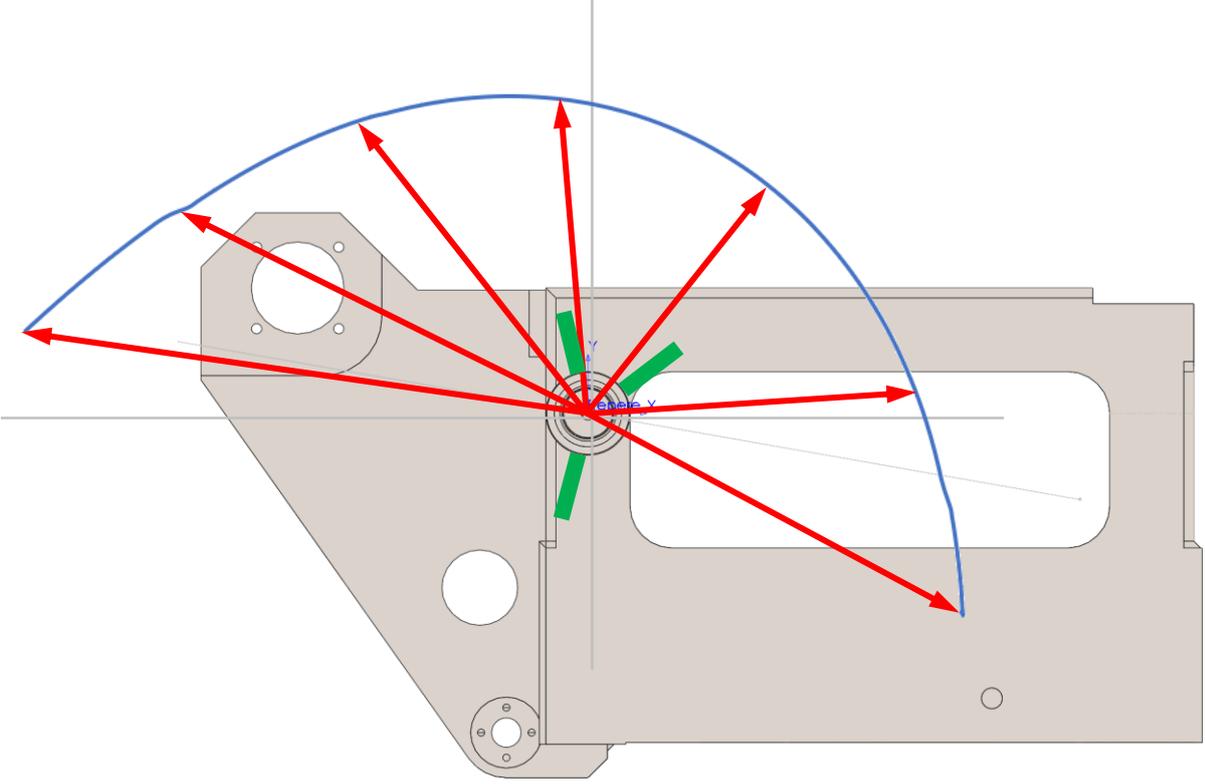
La limite élastique du matériau est dépassée.

La zone concernée par cette contrainte est très localisée, au niveau du cordon de soudure.

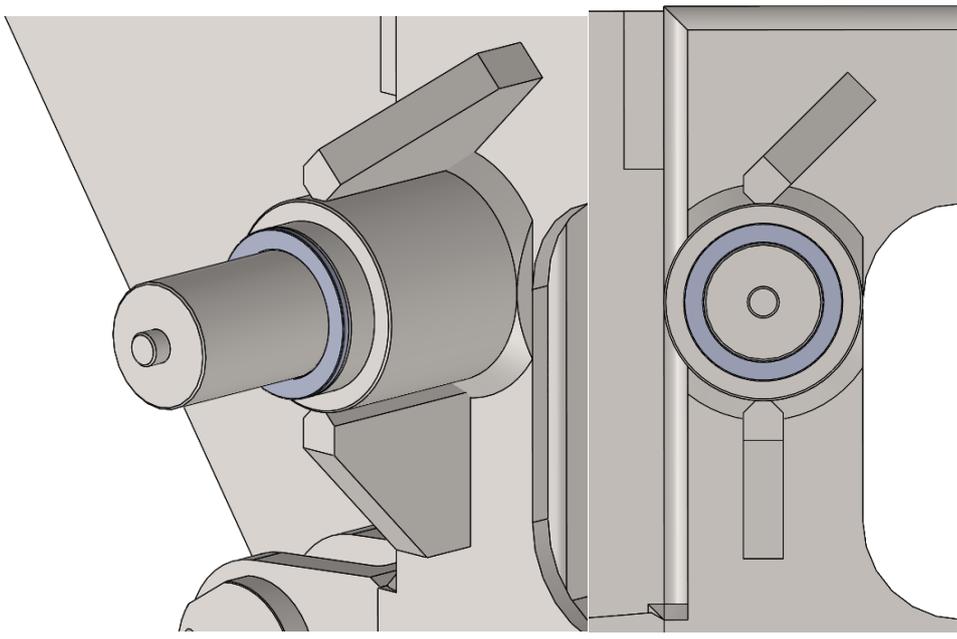
La valeur du coefficient de sécurité indique qu'il y a un fort risque de déformation plastique.

5.6. Proposer, sous forme d'une phrase accompagnée d'un croquis sur le document DR08, une amélioration de la géométrie permettant d'augmenter la résistance de cette liaison. La solution proposée doit être une évolution de la solution actuelle et ne doit pas réduire les espaces d'accès aux éléments du montage.

Ajout de nervures :



Pour information : solution « officielle » :



...

Partie 6 : Commande du mouvement de basculement

(Durée conseillée : 50 min)

Objectifs : évaluer les performances du dispositif de basculement au regard des critères du cahier des charges (position et vitesse angulaires) et pré-dimensionner une nouvelle solution à énergie électrique.

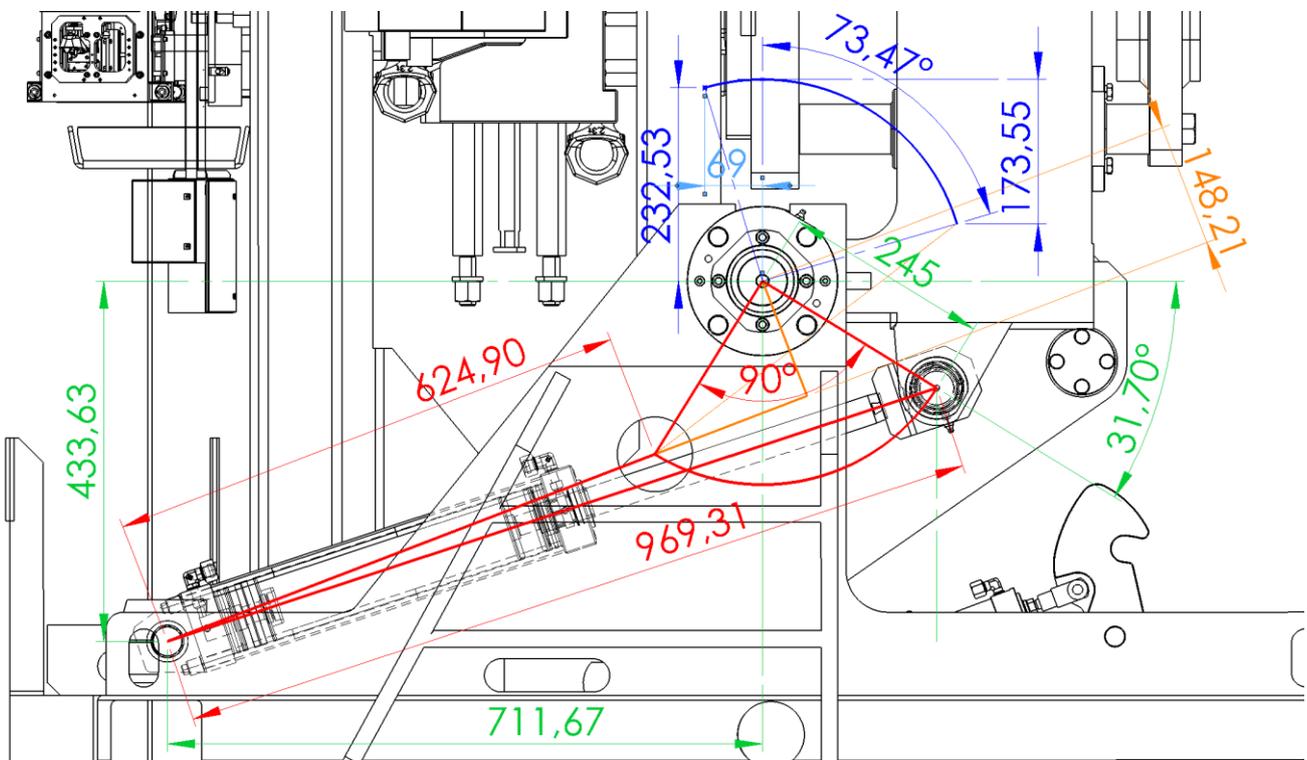
Documents techniques nécessaires pour cette partie :

- Dessin d'ensemble mécanisme basculement (DT12)
- Description du mécanisme de basculement et cahier des charges (DT08)

Solution hydraulique : vérification des performances

A - Précision en position angulaire

6.1. Déterminer graphiquement sur le document DR08, la course effective des vérins de basculement. En **déduire** le plus grand volume d'huile contenu dans chaque vérin (poussant).



Course des vérins : $C = 969 - 625 = 345 \text{ mm}$

Sur DT08, on relève $D = 80 \text{ mm}$

Soit pour chaque vérin un volume maximum effectif de $V = C \frac{\pi D^2}{4}$

Application numérique :

$$V = 0,345 \frac{\pi 0,080^2}{4}$$

$$V = 1,73 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

...

6.2. A l'aide du schéma cinématique présenté sur le document DT08, **montrer** que la relation entre la vitesse de déplacement des tiges de vérin $v(t)$ et la vitesse de basculement $\omega(t)$ peut s'écrire :

$$v(t) = -\omega(t) \frac{bc \sin \gamma(t)}{\sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos \gamma(t)}}$$

Dans le triangle ABC :

$$u^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \gamma \quad (1) \quad (\text{Pythagore})$$

$$u'(t) = v(t) \quad \gamma'(t) = -\theta'(t) = -\omega(t)$$

$$(1)' \Rightarrow uv = -\omega \times bc \sin \gamma$$

$$v(t) = -\omega(t) \frac{bc \sin \gamma(t)}{\sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos \gamma(t)}}$$

6.3. En **déduire** l'expression d'une petite variation de l'angle de basculement $\Delta\theta$ en fonction d'une petite variation de longueur des vérins Δu et du rapport $\left| \frac{\omega(t)}{v(t)} \right|$.

$$v(t) = \frac{du(t)}{dt} \quad \omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \Rightarrow \frac{v(t)}{\omega(t)} = \frac{du(t)}{d\theta(t)} \approx \frac{\Delta u}{\Delta\theta}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta u}{\Delta\theta} \approx \frac{bc \sin \gamma(t)}{\sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos \gamma(t)}} = \left| \frac{v(t)}{\omega(t)} \right|$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta\theta \approx \Delta u \left| \frac{\omega(t)}{v(t)} \right|}$$

Le coefficient de dilatation thermique de l'huile utilisée dans le circuit est $A = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

6.4. Calculer la variation de longueur du vérin, **en déduire** la variation angulaire maximale de l'ensemble basculant pour une variation de température de $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ dans les vérins (tige sortie). **Conclure** quant à la capacité de l'installation à respecter les écarts tolérés par le cahier des charges (DT08).

Variation de volume après élévation de la température de ΔT :

$$\Delta V = V \times A \times \Delta T$$

$$\Delta V = V \times A \times \Delta T = \Delta u \times \pi \frac{D^2}{4} \Rightarrow \Delta u = \frac{4V \times A \times \Delta T}{\pi D^2}$$

Application numérique :

$$\Delta u = \frac{4 \times 1,73 \cdot 10^{-3} \times 0,7 \cdot 10^{-3} \times 10}{\pi \cdot 0,08^2} \Rightarrow \boxed{\Delta u = 1,57 \text{ mm}}$$

$$\Delta\theta \approx \Delta u \left| \frac{\omega(t)}{v(t)} \right|$$

Application numérique, pour $\theta = 0^\circ$ (tige sortie) et $\Delta T = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\Delta\theta \approx \frac{4 \times 1,73 \cdot 10^{-3} \times 0,7 \cdot 10^{-3} \times 10 \times \sqrt{0,245^2 + 0,833^2 - 2 \times 0,245 \times 0,833 \times \cos 117}}{\pi \times 0,08^2 \times 0,245 \times 0,833 \times \sin 117}$$

D =	0,08 m	$\Delta\theta =$	0,013 rad	
b =	0,245 m	$\Delta\theta =$	0,737 °	
c =	0,833 m			
$\gamma =$	2,04204 °			
V =	0,00173 m ³			
$\Delta T =$	10 °			
A =	0,0007 °C ⁻¹			

0,737° < 1° : le CdCF sera respecté à condition que l'on parvienne à limiter les écarts en température au cours du process, ce qui est loin d'être évident !

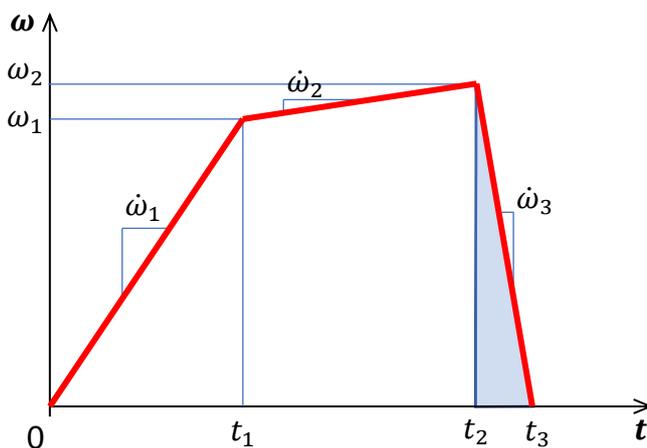
...

B – Capacité de la centrale hydraulique

Afin de respecter la loi de vitesse avec la précision imposée par le cahier des charges (voir DT08), la centrale hydraulique doit être capable, quel que soit l'effort demandé, de fournir le débit suffisant.

6.5. A partir de la loi de vitesse attendue pendant la phase de coulée (DT08), **calculer** l'angle $\theta_2 = \theta(t_2)$.

Approche par intégration « graphique » :



Angle parcouru dans la dernière phase du mouvement : $\frac{\pi}{2} - \theta_2 = \frac{\Delta t_r \times \omega_2}{2}$

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2} - \frac{\Delta t_r \times \omega_2}{2}$$

Application numérique :

$$\theta_2 = \frac{\pi}{2} - \frac{1 \times \frac{10 \times \pi}{180}}{2} = 1,48 \text{ rad}$$

$$\theta_2 = 85^\circ$$

...

Pour la suite de l'étude, on prendra $\theta_2 = 85^\circ$.

6.6. Donner l'expression du débit que doit fournir la pompe de la centrale hydraulique au cours de la phase de coulée. **Faire** une estimation de sa valeur maximale et **préciser** les limites de ce calcul.

En phase de coulée, les vérins fonctionnent en tirant :

$$S = \pi \frac{(D^2 - d^2)}{4}$$

Débit maximal :

$$q(t) = v(t) \cdot 2S \quad (\text{attention : } \underline{2 \text{ vérins}} \text{ !})$$

$$\text{Rappel : } v(t) = -\omega(t) \frac{bc \sin(117 - \theta(t))}{\sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos(117 - \theta(t))}}$$

En première approximation, on peut estimer que la vitesse est maximale à l'instant t_2 , pour l'angle $\theta_2 = 1,48 \text{ rad}$.

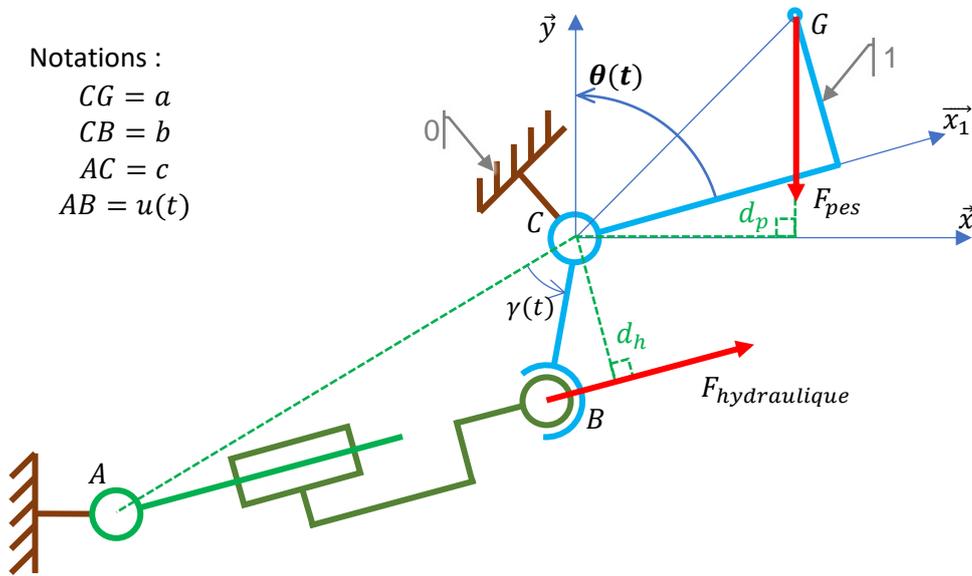
theta =	1,484	rad
w1 =	0,172	rad/s
b =	0,245	m
xa =	0,712	m
ya =	0,434	m
k =	0,16921	m/rad
v =	0,0291	m/s
D =	80	mm
d =	40	mm
S =	0,00377	m²
Q =	0,00022	m³/s
Q =	0,78997	m³/h
Q =	13,1662	l/min

Les accélérations angulaires maximales autorisées seront $|\dot{\omega}_{max}| = 0,2 \text{ rad/s}^2$.

Hypothèses :

- Les actions mécaniques de frottement dans les liaisons et les vérins sont négligées.
- Les poids des pièces seront négligés devant celle de l'ensemble mobile 1.

6.7. Grâce à une étude dynamique sur l'ensemble mobile 1, **donner** l'expression de la pression à fournir aux deux vérins au cours de la phase de coulée.



Théorème du moment dynamique appliqué à 1 au point C :

$$F_{hydraulique} \cdot d_h - F_{pes} \cdot d_p = J_z \cdot \dot{\omega}_{max}$$

$$\Rightarrow F_{hydraulique} = \frac{F_{pes} \cdot d_p + J_z \cdot \dot{\omega}_{max}}{d_h} \quad (\text{pour info : } F_{hydraulique} = \frac{m \cdot g \cdot d_p + J_z \cdot \dot{\omega}_{max}}{d_h} = 33510 \text{ N})$$

Dans cette configuration, le vérin fonctionne en poussant (freinage) :

$$F_{hydraulique} = 2\pi \frac{D^2}{4} \cdot p \quad (\text{2 vérins})$$

$$p = \frac{2[m \cdot g \cdot d_p + J_z \cdot \dot{\omega}_{max}]}{\pi \cdot d_h \cdot D^2}$$

Avec :

$$d_h(t) = \frac{bc \sin \gamma(t)}{u(t)}$$

$$d_p(t) = a \sin(\theta(t) - \alpha)$$

6.8. Calculer sa valeur maximale et justifier la position à laquelle cela se produit.

On recherche la position pour laquelle la pression est maximale :

Le bras de levier au point C de F_{pes} est maximum en **position basse**.

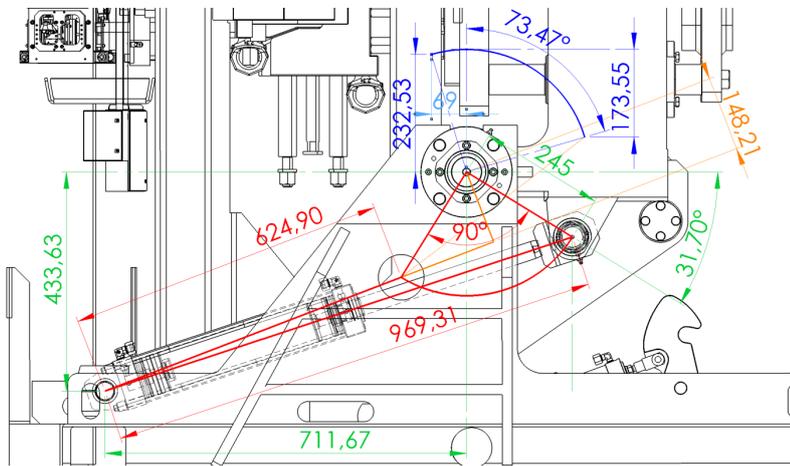
Celui de $F_{hydraulique}$ est minimum dans cette même position.

L'accélération angulaire est également maximale en fin de descente.

⇒ Position pour laquelle la pression doit être la plus forte : **position basse**

Application numérique :

On mesure sur le dessin DT12 le bras de levier de $F_{hydraulique}$ en C (position basse) : $d_h = 148 \text{ mm}$



On relève sur les propriétés de masse (DT13) le bras de levier de F_{pes} en C : $d_p = 288 \text{ mm}$

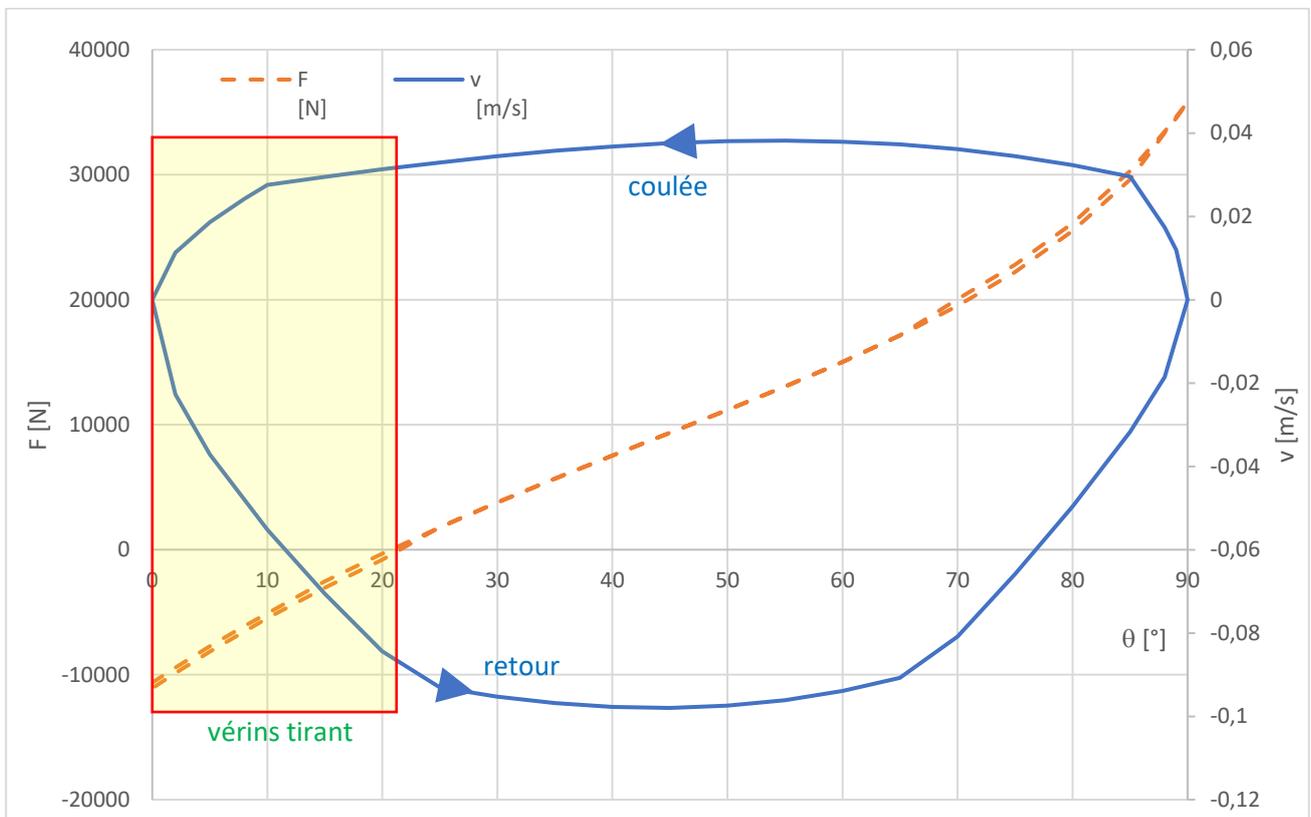
D'après le document DT13 : $J_z = 565529180500 \text{ g} \cdot \text{mm}^2 = 566 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

Jz =	566 kg.m ²			
m =	1820 kg	p =	3,532 N/mm ²	
dp =	0,288 m	p =	35,32 bar	
dh =	0,148 m			
D =	80 mm			
w' _{max} =	0,2 rad/s ²			

Une étude par simulation numérique a permis d'obtenir l'évolution (voir document DR07) de la force à fournir et de la vitesse des vérins en fonction de l'angle $\theta(t)$, au cours des deux phases du mouvement (« coulée » et « retour »).

La courbe caractéristique de la centrale hydraulique est donnée sur le document DR07.

6.9. Sur la courbe de force du document DR07, **identifier** les tronçons pour lesquels les vérins fonctionnent en tirant. En plaçant sur la courbe quelques points judicieusement choisis, **montrer** que la centrale hydraulique permet de répondre au cahier des charges.

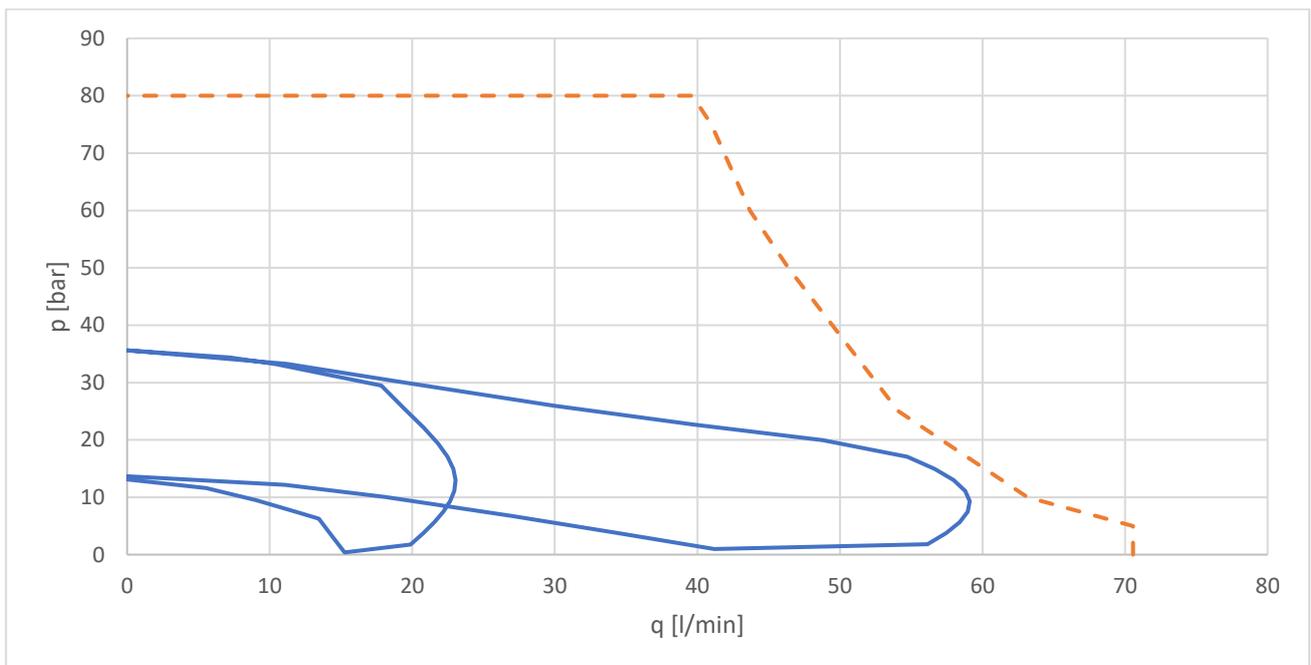


On trace sur la courbe caractéristique de la centrale, point par point, la courbe des points de fonctionnement $p = f(q)$:

En tirant	En poussant
$p = \frac{4F}{\pi(D^2 - d^2)}$ $q = v \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$	$p = \frac{4F}{\pi D^2}$ $q = v \frac{\pi D^2}{4}$

Astuce : commencer par les points qui risquent de poser problème : grands débits !

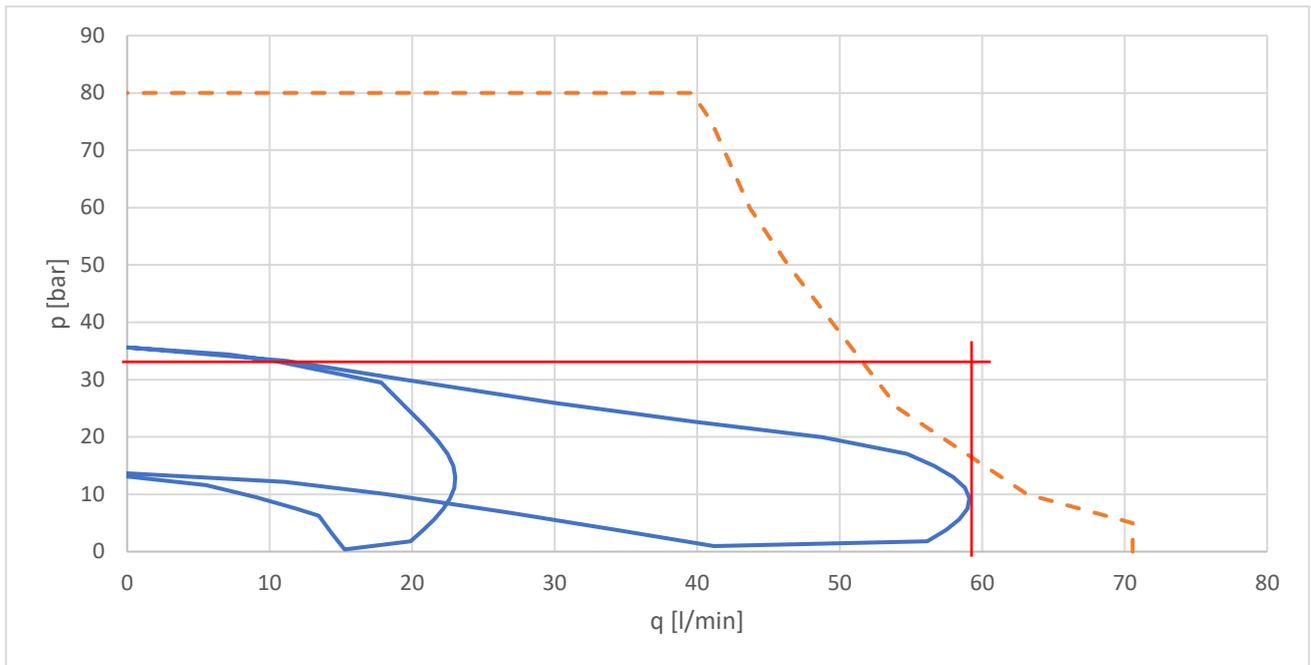
⇒ 3 points suffisent :



Conclusion : la centrale est bien capable de réaliser le mouvement demandé.

Remarque :

Une analyse par les maximums (débit et pression), mènerait à la conclusion que la centrale ne convient pas :

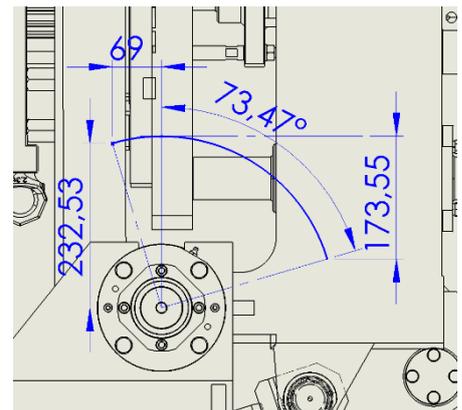
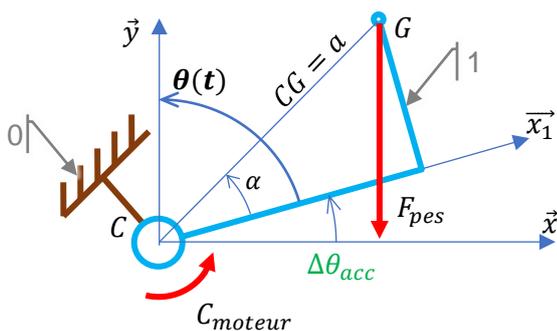


Il ne s'agit **pas d'un point de fonctionnement**, puisque le système n'a pas besoin en même temps de la pression maximale et du débit maximal.

Prédimensionnement d'une solution électrique

Objectifs : pré-dimensionner une nouvelle solution à énergie électrique.

6.10 Calculer la puissance maximale qu'il faut fournir à l'ensemble basculant durant le cycle en prenant des hypothèses simplificatrices raisonnables. **Expliquer** les hypothèses choisies ainsi que les limites de ce calcul quant au choix du moteur.



Méthode détaillée :

D'après l'étude de la trajectoire du centre de gravité, c'est au cours de la **phase de retour** qu'il faut fournir la puissance maximum, alors que la vitesse du centre de gravité est élevée et quasi verticale.

Plus précisément en fin d'accélération, soit pour un déplacement angulaire $\Delta\theta_{acc}$:

$$\frac{\Delta t_{acc} |\omega_{max}|}{2} = \Delta\theta_{acc} \quad \text{et} \quad \Delta t_{acc} = \frac{|\omega_{max}|}{|\dot{\omega}_{max}|} \quad \Rightarrow \quad \Delta\theta_{acc} = \frac{\omega_{max}^2}{2 |\dot{\omega}_{max}|} = \frac{0,4^2}{2 \times 0,2} \approx 23^\circ$$

Hypothèses :

- Les puissances internes dissipées par frottement sont négligées devant les autres
- Seules les caractéristiques d'inertie de l'ensemble mobile basculant sont prises en compte (\Rightarrow celles des vérins sont négligées)

Pour obtenir l'équation différentielle du mouvement, on applique le **théorème de l'énergie cinétique** à l'ensemble mobile :

$$\sum P_{int} + \sum P_{ext} = \frac{dE_c}{dt}$$

$$P_{moteur} - m \cdot g \cdot a \cdot \cos(\alpha + 30^\circ) \cdot \omega = \frac{d\left(\frac{1}{2}J_z\omega^2\right)}{dt} = J_z \cdot \omega \cdot \dot{\omega}$$

$$P_{max \text{ moteur}} = m \cdot g \cdot a \cdot \cos(\alpha + 30^\circ) \cdot \omega + J_z \cdot \omega \cdot \dot{\omega}$$

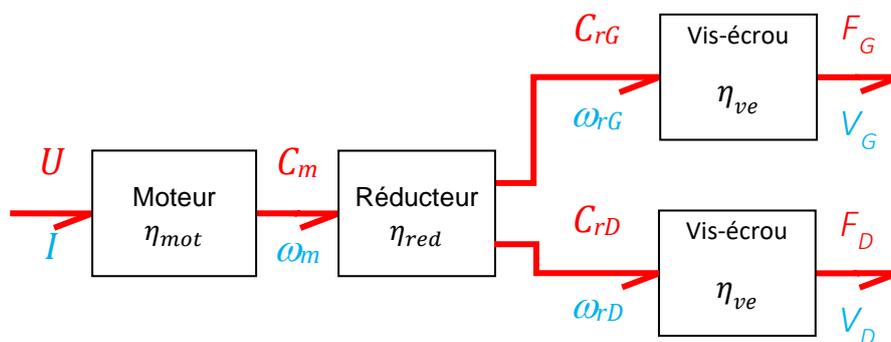
Jz =	566	kg.m ²	Pmax =	1619,2	W
m =	1820	kg			
a =	0,312	m			
w2 =	0,4	rad/s			
w'2 =	0,2	rad/s ²			
α =	0,39724	rad			
$\Delta\theta$ =	0,38921	rad			

Critique du calcul :

Puissance sous-évaluée car on n'a pas absolument démontré qu'il n'existait pas une position où la puissance est plus grande.

Pour choisir un moteur, il faudra tenir compte des **rendements** des réducteurs.

Le bureau d'étude décide de reconcevoir la chaîne de transmission de puissance sous la forme suivante :



6.11. Justifier le choix du bureau d'étude en précisant les avantages et les inconvénients d'une telle structure.

Avantages :

- Pas besoin de tout reconcevoir dans la mesure où les vérins électriques pourront prendre la place des anciens vérins hydrauliques,
- Systèmes vis-écrou irréversibles : en cas de coupure d'alimentation, il évite que la partie mobile ne retombe,
- Le réducteur à deux sorties permet une parfaite synchronisation des deux systèmes vis-écrou.

Inconvénients :

- Il faudra probablement « embarquer » le moteur et le réducteur sur le même ensemble que les corps de vérin.

...

Les dimensions normalisées des filetages trapézoïdaux sont données sur le document DT14.

6.12 Sur un critère de résistance à la traction/compression (limite élastique du matériau de la vis $\sigma_e = 600$ MPa), **déterminer** le diamètre minimum du noyau de la vis en considérant un coefficient de sécurité de 6. En **déduire** le diamètre nominal que doit avoir la vis.

$$6 \sigma = 6 \frac{4F}{\pi d_3^2} < \sigma_e = 600 \text{ MPa}$$

$$d_3 > \sqrt{\frac{24F}{\pi \sigma_e}} = \sqrt{\frac{24 \times 18\,000}{\pi \times 600}} \approx 15,2 \text{ mm}$$

Diamètre nominale normalisé :

$$d = d_3 + 2h_3 = d_3 + P + 2a_c$$

On relève la valeur de a_c sur le tableau 6 DT ? : $a_c = 0,25$ mm

Pas $P = 4$ mm $\Rightarrow d = d_3 + P + 2a_c = 15,2 + 4 + 0,5 = 19,7$ mm

Diamètre normalisé le plus proche : $d = 20$ mm

Pour information :

Charges maxi admissibles en daN avec un coefficient de sécurité de 6 (matières acier et inox)

Dimension du filet	Traction admise (daN)	Effort de compression (daN) sur longueur de vis non soutenue (m)														
		0,15	0,20	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	3,00	4,00	5,00
Tr. 10 x 3	330	136	75	33	12	5,4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tr. 12 x 3	570	393	221	98,3	35,4	15,7	8,9	5,6	3,9	-	-	-	-	-	-	-
Tr. 14 x 4	710	612	345	153	55,2	24,6	13,8	8,8	6,1	4,5	3,4	2,7	-	-	-	-
Tr. 16 x 4	1 040	-	740	329	118	45	29,5	19	13,1	9,6	7,4	5,8	4,7	3,3	1,8	-
Tr. 20 x 4	1 890	-	-	1 085	391	173,8	97,7	62,5	43,4	31,9	24,4	19,3	15,6	10,8	6,1	3,9
Tr. 24 x 5	2 690	-	-	2 202	794	353	198	127	88,2	64,8	49,6	39,2	31,7	22	12,4	7,9
Tr. 28 x 5	3 980	-	-	-	1 732	770	433	277	192,5	141,2	108,2	85,6	69,2	48,2	27	17,3
Tr. 30 x 6	4 340	-	-	-	2 062	918	517	330	229	168	129	102	82,5	57,3	32,2	20,6
Tr. 32 x 6	5 110	-	-	-	2 860	1 271	715	458	318	233	178	141	114,3	79,4	44,7	28,6
Tr. 36 x 6	6 830	-	-	-	5 120	2 280	1 280	820	569	418	320	253	205	142,2	80	51,2
Tr. 40 x 7	8 300	-	-	-	7 560	3 360	1 890	1 210	840	617	472	377	302	210	118	75,6
Tr. 44 x 7	10 460	-	-	-	-	5 330	3 000	1 920	1 332	980	750	593	480	333	187	120
Tr. 48 x 8	12 510	-	-	-	-	7 350	3 950	2 610	1 860	1 370	1 020	850	670	460	245	175
Tr. 50 x 8	13 530	-	-	-	-	8 940	5 020	3 218	2 230	1 640	1 255	993	804	558	314	201
Tr. 52 x 8	14 550	-	-	-	-	10 530	6 045	3 815	2 610	1 925	1 485	1 150	940	660	375	230
Tr. 60 x 9	20 030	-	-	-	-	19 570	11 000	7 050	4 890	3 595	2 750	2 178	1 761	1 222	688	440
Tr. 70 x 10	27 810	-	-	-	-	-	21 200	13 570	9 420	6 920	5 300	4 180	3 390	2 352	1 325	848

...

Le coefficient de frottement entre la vis et l'écrou est $f = 0,08$. Chaque vis doit fournir un effort de 18000 N.

6.13 Calculer le couple maximal que devrait transmettre chaque vis.

$$d_{moy} = d - 0,5P - a_c = 20 - 2 - 0,25 = 17,75 \text{ mm}$$

$$\tan \alpha = \frac{P}{\pi d_{moy}} = 7,17 \cdot 10^{-2}$$

Couple à transmettre :

$$C_r = \frac{F d_{moy}}{2} \left(\frac{\cos 15^\circ \tan \alpha + f}{\cos 15^\circ - f \tan \alpha} \right) = \frac{18\,000 \times 17,75}{2} \left(\frac{\cos 15^\circ \tan \alpha + 0,08}{\cos 15^\circ - 0,08 \tan \alpha} \right) = \mathbf{24,8 \text{ Nm}}$$

6.14 Vérifier alors la résistance de la vis selon le critère de *Von Mises*.

Critère de Von Mises : $6 \sigma_{VM} = 6 \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} < \sigma_e$

$$d_3 = d - P - 2a_c = 20 - 4 - 2 \times 0,25 = 15,5 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d_3^2} = \frac{4 \times 18\,000}{\pi \times 0,0155^2} = 95,4 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{16C_r}{\pi d_3^3} = \frac{16 \times 47}{\pi \times 0,0155^3} \approx 33,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \approx \sqrt{95,4^2 + 3 \times 33,9^2} \approx \mathbf{112 \text{ MPa}}$$

$$\boxed{6 \sigma_{VM} \approx 672 \text{ MPa} > \sigma_e = 600 \text{ MPa}}$$

Le CdCF, avec le coefficient de sécurité de 6, n'est pas respecté.

Le rendement du réducteur à double sortie est $\eta_{red} = 0,97$ (par sortie).

6.15 Calculer le rendement de chaque système vis-écrou. En **déduire** la puissance que devra délivrer le moteur.

Loi cinématique entrée-sortie : $V = \frac{P\omega_r}{2\pi}$

$$\eta_{ve} = \frac{F V}{C_r \omega_r} = \frac{F P}{2\pi C_r}$$

$$\frac{F}{C_r} = \frac{2}{d_{moy}} \cdot \frac{\cos 15^\circ - f \tan \alpha}{\cos 15^\circ \tan \alpha + f}$$

$$\eta_{ve} = \frac{P}{\pi d_{moy}} \cdot \frac{\cos 15^\circ - f \tan \alpha}{\cos 15^\circ \tan \alpha + f} = 0,46$$

On constate qu'il est constant ...

On a trouvé Q2.10, ou bien on relève sur le DR ? : $P_{max} = 1620 \text{ W}$

Soit pour un seul vérin $Pu_{max} = \frac{1620}{2} = 810 \text{ W}$

$$P_{mot} = 2 \times \frac{Pu_{max}}{\eta_{ve} \eta_{red}} = 2 \times \frac{810}{0,46 \times 0,97} = \mathbf{3630 \text{ W}}$$