

SESSION 2021

**AGRÉGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE MÉCANIQUE**

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

Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1414A	102	7048

► **Concours interne du CAER / Agrégation de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1414A	102	7048

COMPOSITION DU SUJET

- **TEXTE DU SUJET** : description de la situation et des problématiques industrielles, parties à traiter par le candidat, 18 pages (y compris celle-ci).
- **DT – DOCUMENTS TECHNIQUES** : documents spécifiques et relatifs au support de l'étude, données techniques) :
 - **DT1** : plan du sous-ensemble « entrainements plateau / cuve »,
 - **DT2** : plan du sous-ensemble « entrainement de cuve »,
 - **DT3** : nomenclature,
 - **DT4** : extraits du diagramme des exigences,
 - **DT5** : modèle multi-physique de comportement de la cuve,
 - **DT6** : courbes de fréquences de rotation et de couples,
 - **DT7** : joints de cardan,
 - **DT8** : diagrammes d'Ashby (2 *feuilles*),
 - **DT9** : couronne d'orientation (2 *feuilles*),
 - **DT10** : dessin de définition de l'axe de cuve,
 - **DT11** : axe de cuve : parents – enfants,
 - **DT12** : éléments de fabrication retenus pour la présérie (3 *feuilles*),
 - **DT13** : dessin de définition de la cuve,
 - **DT14** : diagramme de Pryce et Andrew,
 - **DT15** : structures cristalline des aciers inoxydables,
 - **DT16** : diagramme d'équilibre fer-carbone à 18% de Cr et 9% de Ni,
 - **DT17** : corrosion inter granulaire,
 - **DT18** : diagramme de phase fer-chrome,
 - **DT19** : coupe du diagramme ternaire Fe-Cr-Ni ;
- **DR – DOCUMENTS RÉPONSES** : documents qui seront à compléter et à rendre par le (ou la) candidat(e), tous les documents réponses sont à rendre, même non complétés :
 - **DR1** : éléments du modèle et grandeurs associées ;
 - **DR2** : tableau d'analyse des antériorités ;
 - **DR3** : évolution de la cotation du Ø55H6 de l'axe de cuve ;
 - **DR4** : gamme de fabrication de l'axe de cuve (2 *feuilles*).

Après avoir complété les en-têtes, le (ou la) candidat(e) remettra en fin d'épreuve ses copies paginées. **Tous les documents réponses sont à rendre avec les copies.**

Le sujet comporte 6 parties distinctes (cf. durées conseillées indiquées) **qui peuvent être traitées de façon indépendante** :

- 1^{re} partie : analyse de la machine et de son comportement ;
- 2^e partie : validation du joint de cardan ;
- 3^e partie : dimensionnement de l'engrenage et choix du matériau ;
- 4^e partie : validation de la couronne d'orientation ;
- 5^e partie : reconception et fabrication de l'axe de cuve ;
- 6^e partie : couple matériau-procédé d'obtention de la cuve.

Le barème de notation tient compte de la capacité du candidat à traiter les 6 parties.

Sujet

Machine centrifuge

(Durée conseillée pour la lecture du sujet : 20 min)

Mise en situation

L'entreprise

La société VELEC SYSTEMS, basée à Bondues dans le nord, conçoit et réalise des machines spéciales ainsi que des lignes de production dédiées au comptage à haute cadence, à la distribution et au conditionnement de produits dans les domaines de l'agroalimentaire et du monétaire.

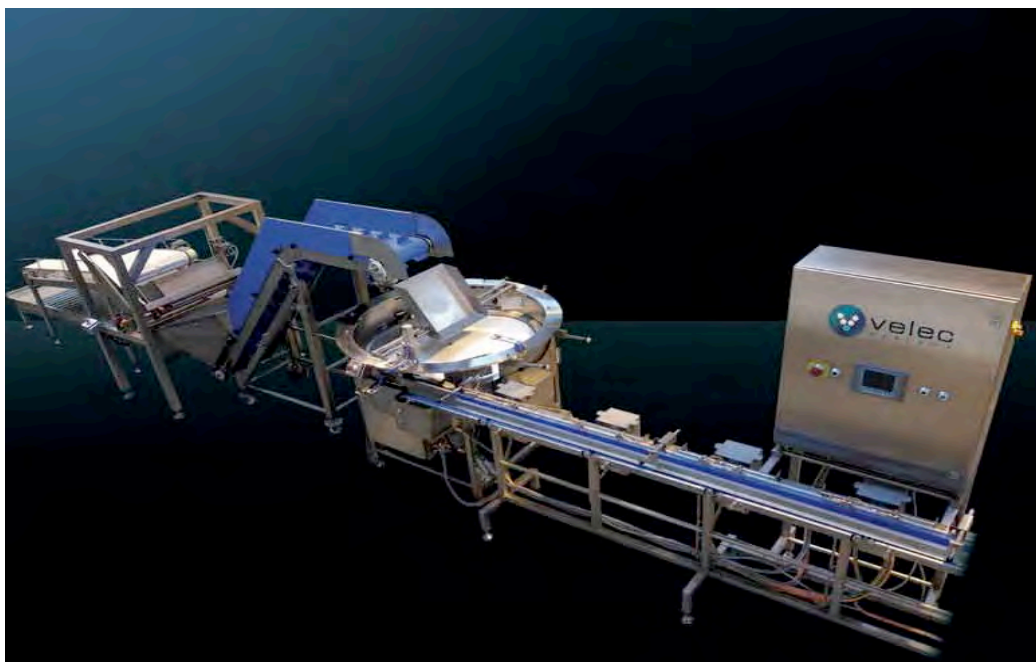


Figure 1 : ligne de production – distributeur centrifuge

La machine centrifuge

Distribution et comptage à haute cadence

La machine centrifuge VELEC SYSTEMS® est conçue et développée pour saisir les produits en vrac, les organiser, les aligner et les distribuer à haute cadence, en flux ordonné continu. Son principe repose sur la force centrifuge, ce qui en fait une machine polyvalente et simple d'utilisation.

Adaptable à tous types de produits et d'applications

La machine centrifuge s'installe le plus souvent en amont du système de conditionnement primaire et en aval du surgélateur, tunnel de congélation ou four.

Domaines d'applications nombreux et variés

- produits surgelés (steaks hachés, poissons panés, ...)
- produits viennoiserie (brioches rondes, pains individuels, madeleines ...)
- produits emballés (bouillons-cubes, barres de céréales, éponges, ...)
- produits frais (saucisses, nems, saucissons, ...).

Les produits sont alors distribués, comptés ou mis en lot unitairement ou groupés pour être chargés dans une ensacheuse horizontale ou verticale, des barquettes, des pots, des boîtes de conserves, ...

Forme et texture des produits préservés

Grâce à la force centrifuge, les produits s'organisent d'eux-mêmes, sans friction, ni effort. Ils sont entraînés par leur propre poids en périphérie de cuve et dirigés vers leur emballage primaire ou secondaire.

La machine n'endommage pas les produits fragiles, humides et secs, évitant ainsi le gaspillage et les rebus de production.

Ergonomie adaptée avec un faible encombrement

La machine centrifuge s'insère dans les encombrements les plus étroits. Elle-même et l'ensemble de la ligne restent à hauteur d'homme, garantissant ainsi une simplicité d'utilisation, de supervision et de maintenance.

Design hygiénique adapté sur mesure pour maximiser l'efficacité des lignes

L'hygiène étant le premier critère d'acceptabilité d'une machine en agro-alimentaire, sa conception est épurée au maximum. De même, pour simplifier et maximiser les opérations de nettoyage, l'ensemble est entièrement démontable sans outils.

En terme d'hygiène, le niveau d'exigence de l'entreprise est supérieur aux standards de l'industrie de la viande et au-delà des préconisations de l'EHEDG (European Hygienic Engineering and Design Group).



Figure 2 : machine centrifuge

Extrait du cahier des charges de la machine centrifuge

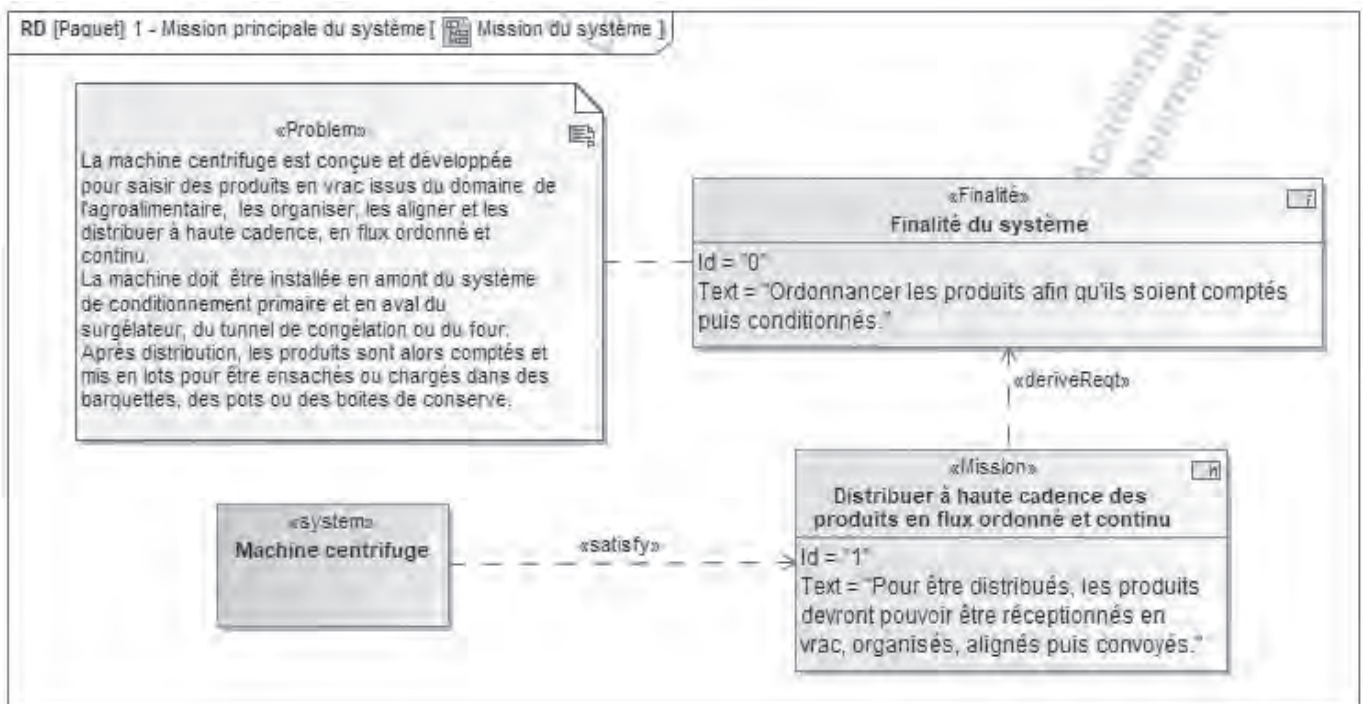


Figure 3 : mission

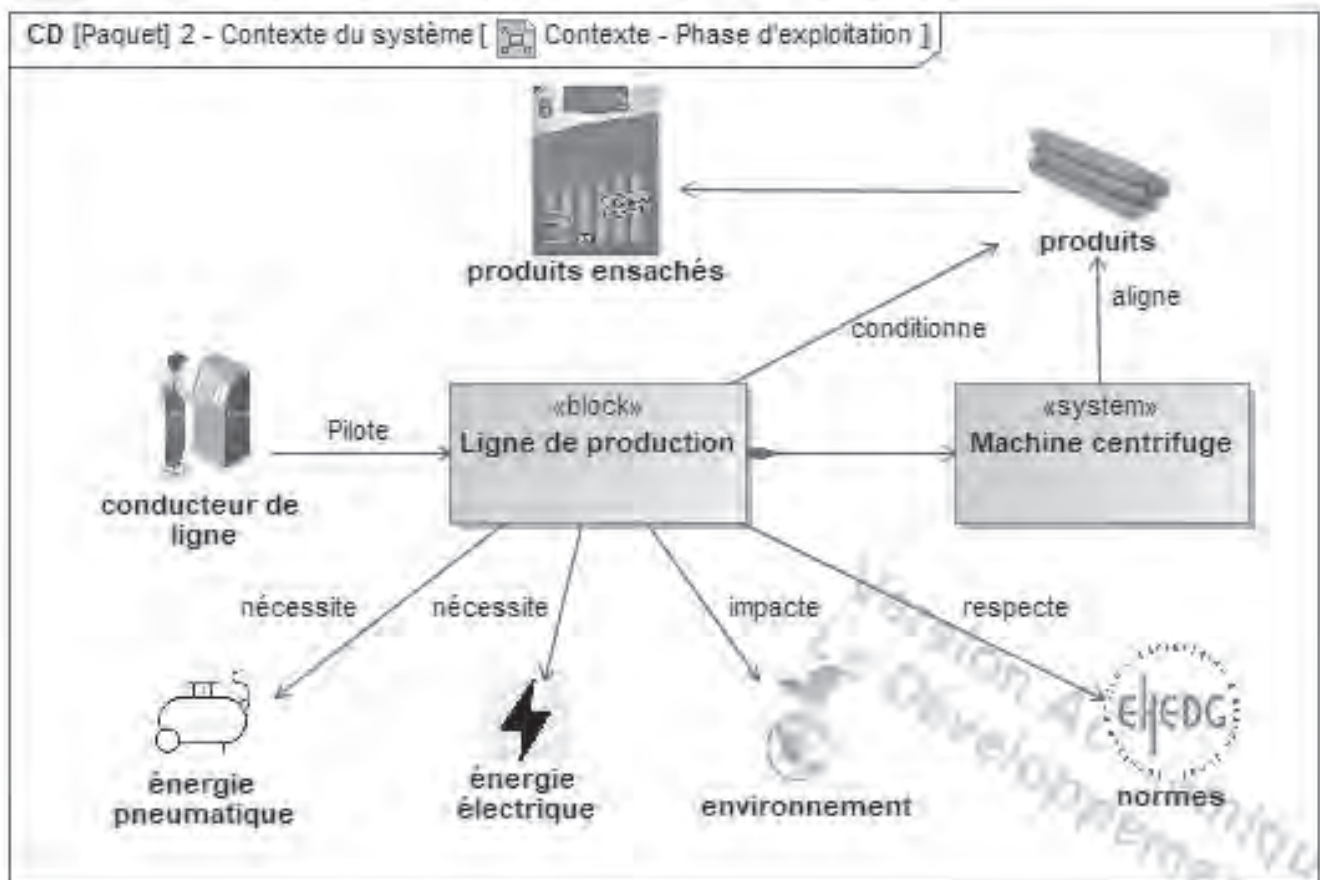


Figure 4 : contexte

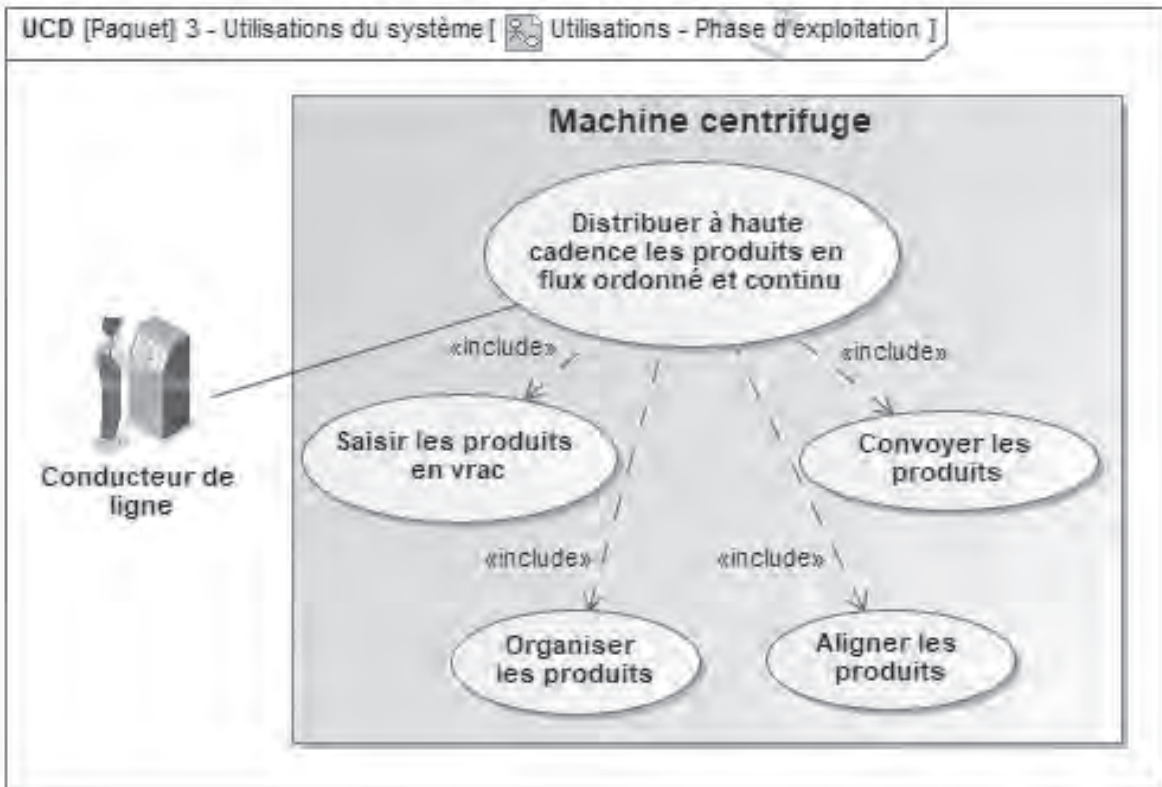


Figure 5 : cas d'utilisation

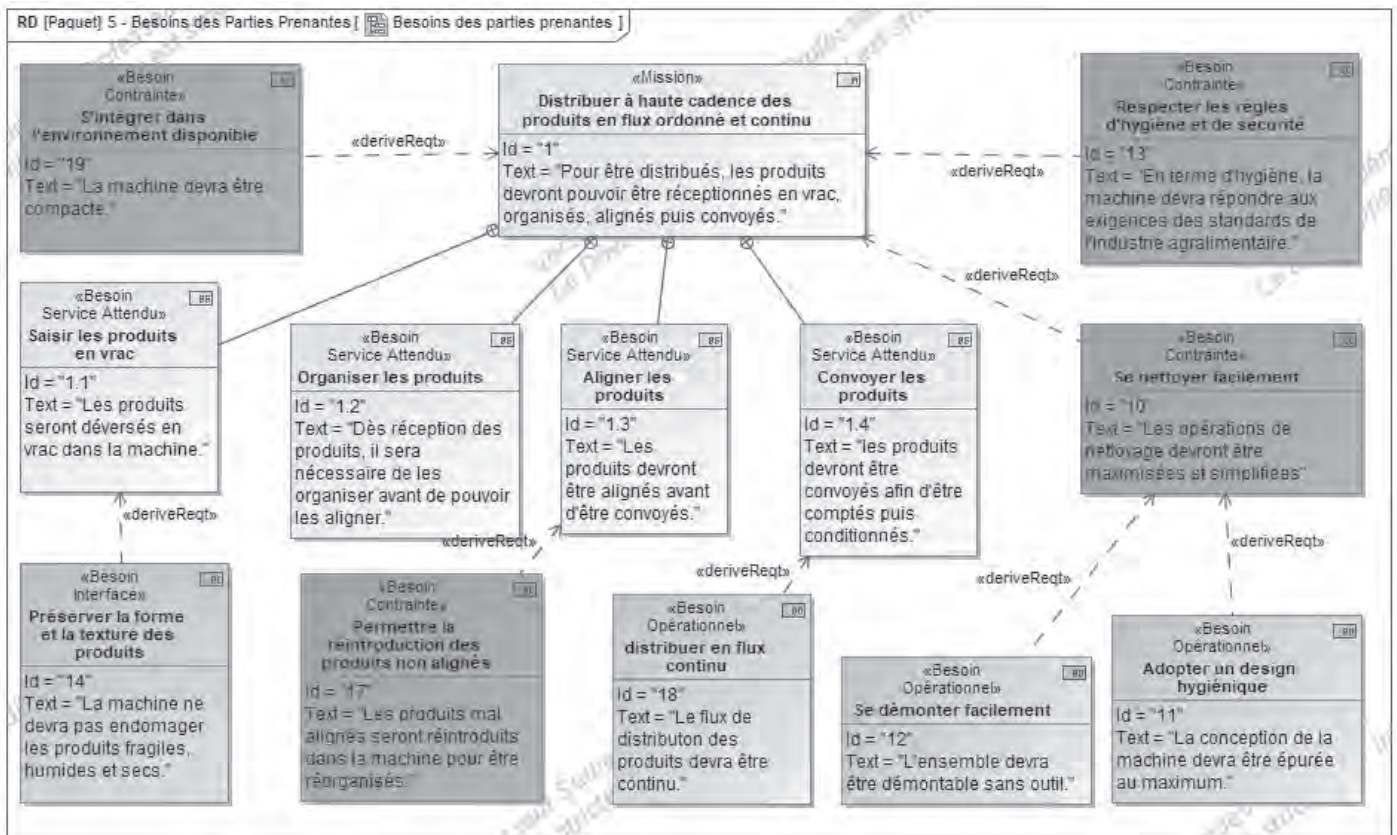


Figure 6 : besoins des parties prenantes

Écorché de la machine

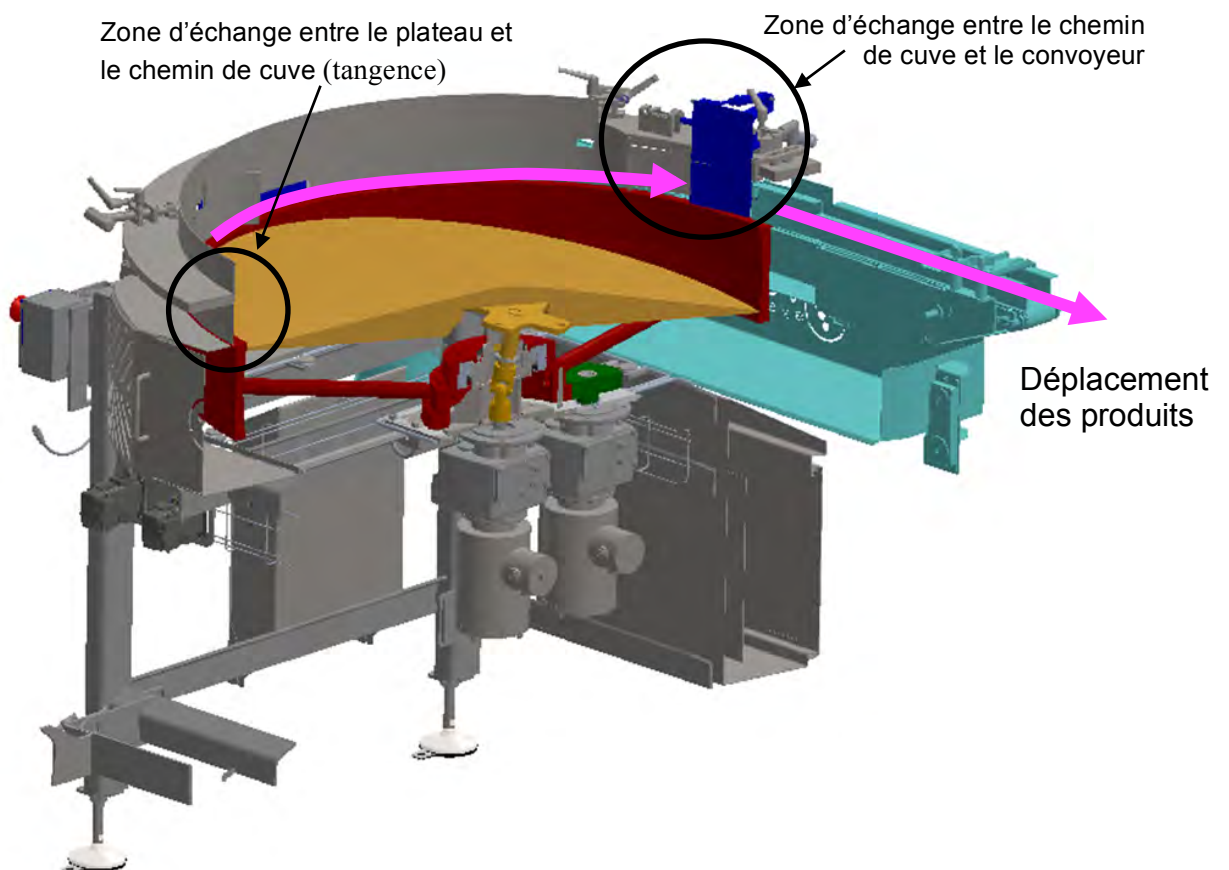
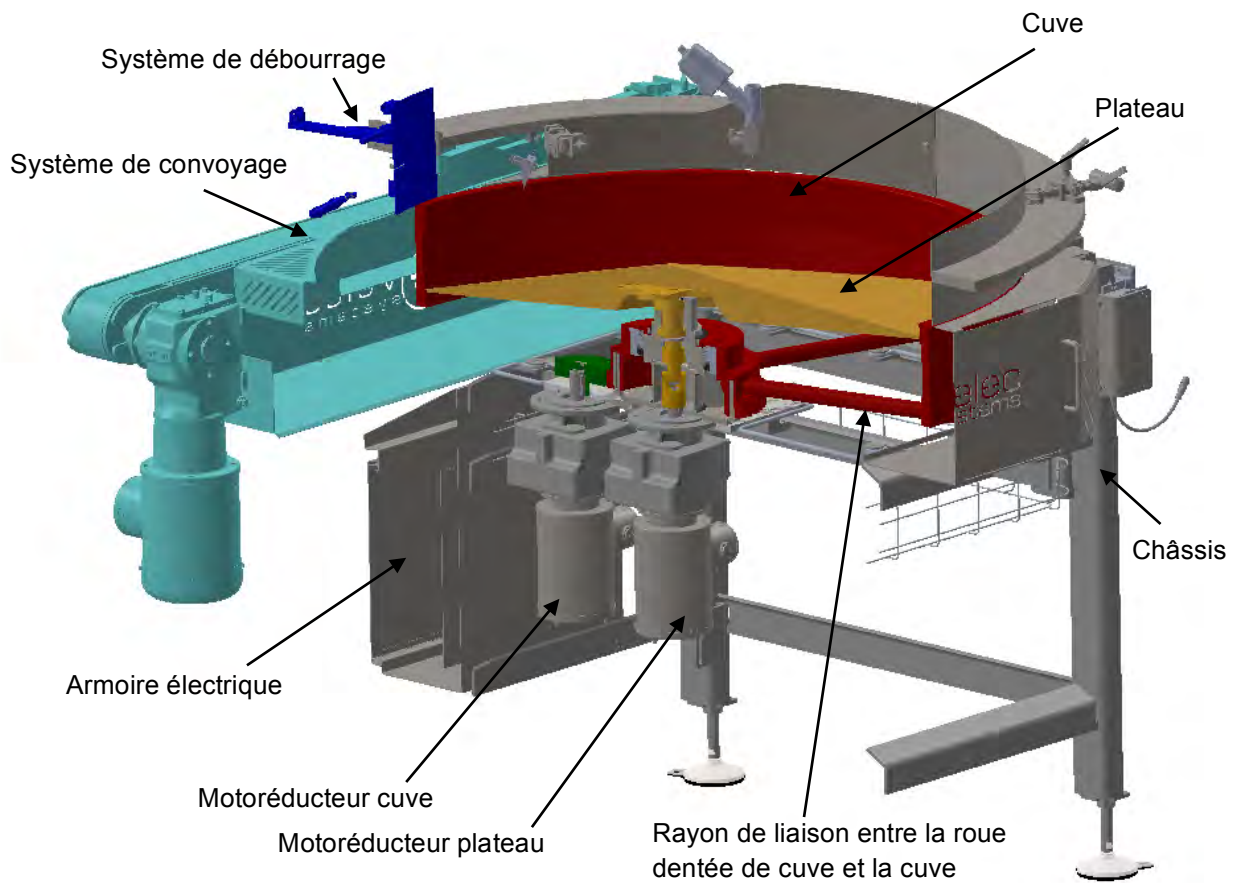


Photo de la machine en fonctionnement

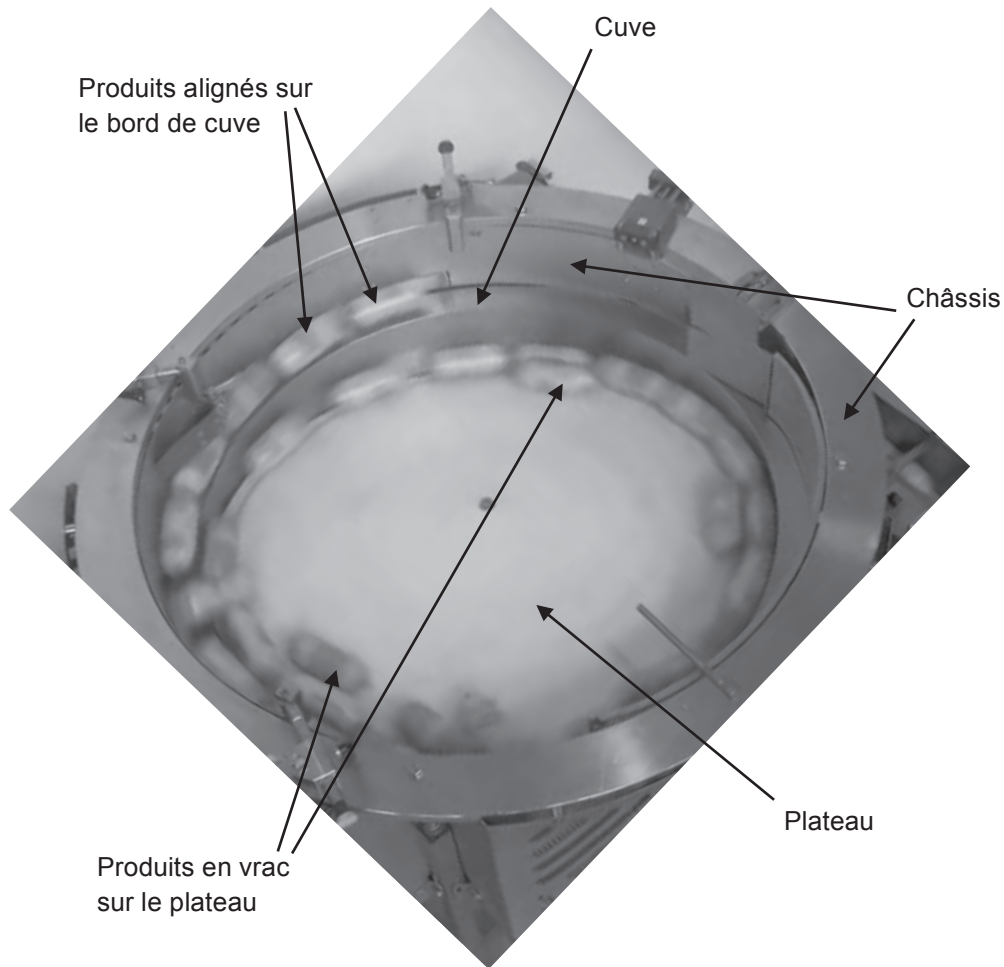


Figure 7 : photo de la machine en fonctionnement

Problématique

La machine centrifuge a été développée pour répondre à des besoins de production à grande cadence.

Une première version commercialisée de la machine centrifuge comporte quelques anomalies au niveau de sa fiabilité :

- usure prématurée des éléments de guidage en rotation ;
- endommagement de certains produits fragiles ;
- difficultés de maintenance de certains composants.

Afin d'améliorer la fiabilité de la machine et d'éviter les rebus, il est donc envisagé d'apporter quelques modifications à sa conception en remplaçant notamment certains de ses composants.

On souhaite vérifier, au travers des six parties à étudier, que les nouveaux choix technologiques conduisant à une nouvelle conception permettent de répondre à l'exigence principale de production à grande cadence.

1^{RE} PARTIE : ANALYSE DE LA MACHINE ET DE SON COMPORTEMENT (Durée conseillée : 40 min)

Objectifs : analyser le comportement cinématique de la machine, comparer ses performances réelles avec celles simulées et interpréter les écarts.

Question 1.1
DT1 à DT3, DT9
Feuille de copie

Proposer un schéma cinématique minimal plan de la machine. Ni le système de débouillage ni le système de convoyage ne seront représentés.

Les produits à conditionner sont des saucisses de forme régulière, de diamètre 30 mm et de longueur 150 mm. S'accumulant dès le bord de cuve, leur cadence de sortie dépend ainsi directement de la vitesse linéaire de cuve. Le diamètre extérieur de la cuve est de 1 200 mm.

Question 1.2
DT4
Feuille de copie

Déterminer la fréquence de rotation de la cuve permettant de respecter la cadence imposée par les exigences du système.

On s'intéresse aux performances de la cuve, dont le modèle multi-physique proposé permet de simuler son comportement (voir DT5).

Question 1.3
DT5
DR1

Compléter le tableau en identifiant, pour chacun des blocs figurant sur le modèle, les types de grandeurs, les grandeurs entrées-sorties, les caractéristiques et les unités correspondantes.

Des mesures réalisées sur la cuve ont permis de tracer les courbes de vitesses et de couples en fonction du temps (voir DT6).

Question 1.4
DT4 et DT6
Feuille de copie

Vérifier si les valeurs réelles relevées permettent de respecter les exigences du système.

Les courbes de fréquences de rotation et de couples issues du modèle ont également été tracées à l'aide d'un logiciel de simulation (voir DT4 et DT6).

Question 1.5
DT4 et DT6
Feuille de copie

Vérifier si les valeurs simulées permettent de respecter les exigences du système.
Conclure sur la fidélité du modèle.

Question 1.6
DT6
Feuille de copie

Interpréter les écarts entre les valeurs maximales réelles et celles simulées pour chacune des grandeurs suivantes :

- couple moteur ($C_{mr} \text{ max} / C_{ms} \text{ max}$) ;
- couple transmis à la cuve ($C_{cr} \text{ max} / C_{cs} \text{ max}$) ;
- vitesse de rotation de la cuve ($N_{cr} \text{ max} / N_{cs} \text{ max}$).

Question 1.7
DT6
Feuille de copie

Proposer des améliorations du modèle permettant de le rendre plus fidèle afin réduire ces écarts.

2^E PARTIE : VALIDATION DE LA CINEMATIQUE DE LA MACHINE (Durée conseillée : 25 min)

Objectif : valider le choix du joint de cardan

Dans la première version de la machine (DT1 à DT3), l'accouplement du moteur du plateau avec le plateau était réalisé par un joint de cardan « sphéroïde » (voir DT7), occasionnant certaines anomalies de fonctionnement. Il a donc été décidé de remplacer ce composant par un joint de cardan à aiguilles (voir DT7).

Question 2.1 DT1 à DT3, DT7 Feuille de copie	<p>Exprimer les défauts corrigés par le joint de cardan et préciser les critères qui ont pu conduire au remplacement du composant initial.</p>
Question 2.2 DT1 à DT3, DT7 Feuille de copie	<p>Tracer le graphe des liaisons de l'ensemble « E » constitué des pièces {9, 20', 20'', 20''', 2}.</p>
Question 2.3 DT7 Feuille de copie	<p>Évaluer le degré de mobilités de « E ». En déduire son degré d'hyperstaticité. Le cas échéant, proposer une modification des liaisons pour que l'ensemble « E » ne soit pas hyperstatique.</p>
Question 2.4 DT7 Feuille de copie	<p>Déterminer la liaison équivalente réalisée par le joint de cardan. Justifier votre réponse.</p>
Question 2.5 DT7 Feuille de copie	<p>Représenter les figures planes de changement de base relatives aux angles α, θ_1 et θ_2 et déterminer la loi entrée-sortie en position du joint de cardan (20).</p>
Question 2.6 Feuille de copie	<p>En déduire la loi entrée-sortie en vitesse du joint de cardan $\omega_2 = f(\omega_1, \theta_1)$. On notera $\omega_1 = \dot{\theta}_1 = \frac{d\theta_1}{dt}$ et $\omega_2 = \dot{\theta}_2 = \frac{d\theta_2}{dt}$. Rappel : $(\tan u)' = u' \cdot (1 + \tan^2 u)$</p>
Question 2.7 Feuille de copie	<p>Conclure sur le caractère homocinétique de la transmission par le joint de cardan. Montrer que la relation précédente peut s'écrire sous la forme du rapport $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \theta_1 \cdot \sin^2 \alpha}$.</p>

Afin de maîtriser leur cadence de sortie, les produits doivent s'accumuler dès le bord de cuve. Il est donc nécessaire d'appliquer une fréquence de rotation du plateau supérieure à celle de la cuve, elle-même portée à $24,5 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Question 2.8 DT4 et DT7 Feuille de copie	<p>Déterminer les valeurs maximale $\omega_{\text{plateau max}}$ et minimale $\omega_{\text{plateau min}}$ de la vitesse angulaire du plateau permettant de respecter les exigences du système Conclure sur la validité cinématique du joint de cardan.</p>
--	---

3^E PARTIE : MODIFICATION DE LA TRANSMISSION DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA CUVE (Durée conseillée : 35 min)

Objectif : dimensionner l'engrenage constitué du pignon monté sur l'arbre du motoréducteur de la cuve et de la roue dentée en liaison complète avec la cuve et choisir le matériau.

La première version de la machine proposait une transmission du mouvement de rotation à la cuve par un système « poulies-courroie » (voir figure 8). Les opérations de montage-démontage étant très courantes, notamment lors du nettoyage ou de la maintenance, la courroie nécessitait d'être « ouverte », avec jonction par agrafe. Mais cette agrafe fragilisait la courroie et limitait la fiabilité de la machine. On envisage donc de remplacer le système poulies-courroies par une transmission par engrenage (voir figure 8).

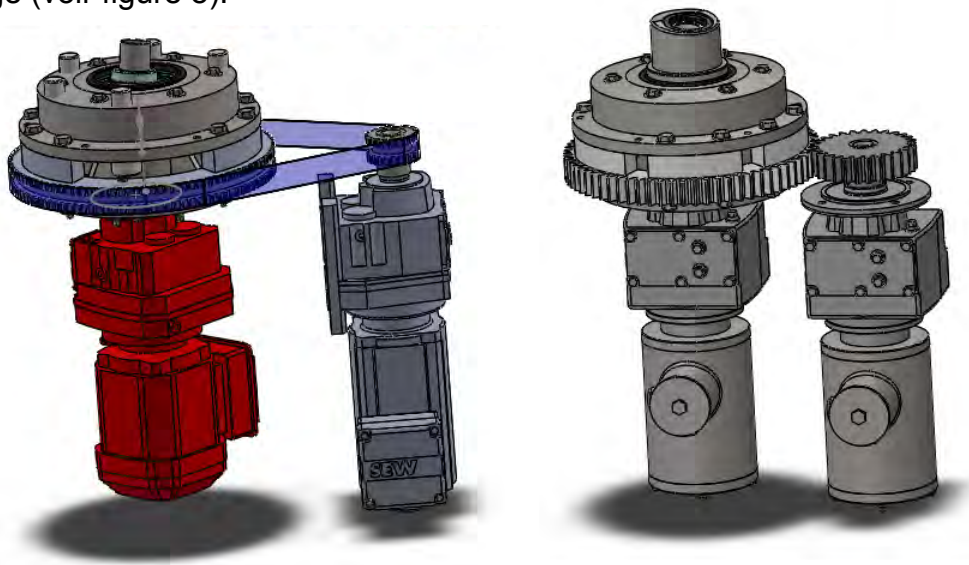


Figure 8 : ancienne et nouvelle versions de la transmission

Détermination de la contrainte normale de flexion dans une dent de la roue

L'engrenage est représenté sur la figure 9.

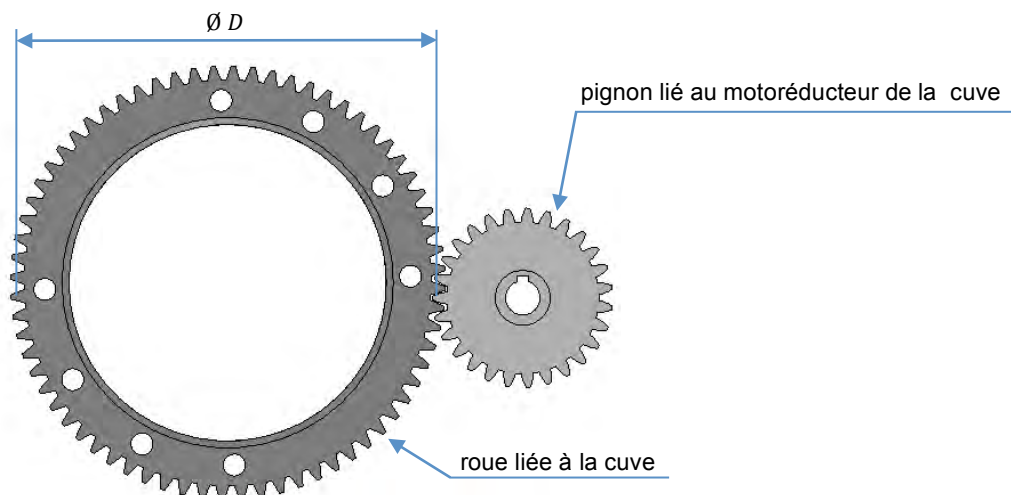
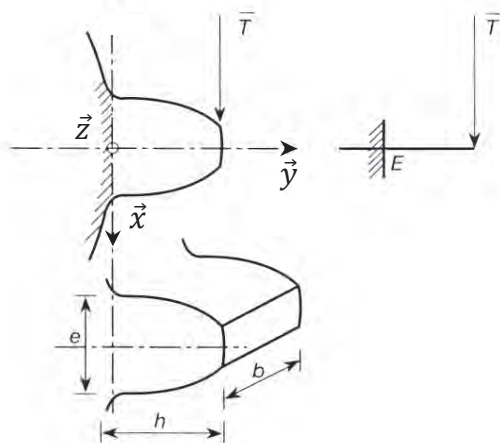


Figure 9 : engrenage assurant la transmission de mouvement à la cuve

Les dents de la roue sont réparties sur un diamètre primitif D .
Les dimensions de chaque dent (voir figure 10) dépendent d'un module m .

On choisit de modéliser chaque dent de la roue par une poutre encastrée sur la roue, fléchiée par la composante tangentielle T de la force de contact induite par le couple transmis C , que l'on supposera située à son sommet afin de se placer dans le cas le plus défavorable. L'approximation néglige volontairement l'effet de la composante radiale, génératrice de compression, car elle renforce la résistance de la dent à la fatigue.



pas : longueur d'arc sur le diamètre primitif D entre deux dents consécutives

$$h = 2,25 m$$

$$e = \frac{pas}{2} = \frac{\pi \cdot m}{2}$$

Figure 10 : dimensions et modélisation de la denture

Pour simplifier le modèle, on suppose que :

- l'effort tangentiel de référence T est entièrement appliqué sur une seule dent ;
- l'effort T s'applique au sommet de la dent et perpendiculairement à l'axe de symétrie de la dent ;
- le seul état de contrainte considéré dans la dent, modélisée par une poutre, est la flexion ;
- l'effet de concentration de contrainte en pied de dent est négligé.

Données :

- diamètre primitif de la roue en première approche : $D = 312 \text{ mm}$;
- largeur de denture : $b = 32 \text{ mm}$;
- couple transmis à la cuve : $C = 95 \text{ N} \cdot \text{m}$;
- résistance pratique à l'extension du matériau : $\sigma_{pe} = 25 \text{ MPa}$.

Question 3.1

Feuille de copie

En utilisant le modèle poutre de la figure 9, **calculer** la valeur de l'effort T .

Question 3.2

Feuille de copie

Déterminer :

- l'expression du moment fléchissant maximum M_f subi par la dent ;
- l'expression de la contrainte normale de flexion maximum σ_f dans la dent.

Question 3.3
Feuille de copie

Déterminer, parmi les valeurs normalisées ci-dessous (voir figure 11), le module de denture m à choisir pour permettre aux dents de résister aux efforts. Les valeurs secondaires entre parenthèses pourront être retenues.

0,06	(0,07)	0,08	(0,09)	0,1	(0,11)	0,12	(0,14)	0,15	(0,18)	0,2	(0,22)	0,25	(0,28)	0,3	(0,35)	0,4	(0,45)	0,5	(0,55)	0,6	(0,7)
(0,75)	0,8	(0,9)	1	(1,125)	1,25	(1,375)	1,5	(1,75)	2	(2,25)	2,5	(2,75)	3	(3,25)	(3,5)	(3,75)	4	(4,5)	5	(5,5)	6
(6,5)	(7)	8	(9)	10	(11)	12	(14)	16	(18)	20	(22)	25	(28)	32	(36)	40	(45)	50	(55)	60	(70)

Figure 11 : modules normalisés

Question 3.4
Feuille de copie

Calculer le nombre de dents et le diamètre primitif définitif de la roue. Le rapport de réduction de l'engrenage étant fixé à 2,5, **en déduire** le nombre de dents et le diamètre primitif du pignon moteur..

Choix du matériau de l'engrenage

L'alimentarité des matériaux est un critère prépondérant dans l'industrie agroalimentaire (respect de la réglementation relative à la sécurité sanitaire). Le choix d'un matériau plastique injectable, éventuellement compatible avec les sollicitations mécaniques que subit l'engrenage et répondant à la réglementation agroalimentaire, est envisagé.

On souhaite notamment comparer le polyoxyméthylène (POM), à l'acier inoxydable (voir DT8), afin de procéder à un choix parmi ces deux matériaux éligibles.

Trois critères sont retenus :

- la durabilité à l'eau et aux solutions aqueuses ;
- la limite élastique R_e ;
- le prix.

Question 3.5
Feuille de copie

Proposer deux autres critères importants pour le choix du matériau.

Question 3.6
Feuille de copie

Proposer un coefficient de sécurité $s = \frac{R_e}{\sigma_{pe}}$.
Justifier votre choix.
En déduire la limite élastique du matériau.

Question 3.7
DT8
Feuille de copie

Choisir le matériau.
Justifier votre choix.

4^E PARTIE : MODIFICATION DE LA LIAISON ENTRE LA CUVE ET LE CHÂSSIS (Durée conseillée : 40 min)

Objectif : valider le choix de la couronne d'orientation réalisant la liaison entre la cuve et le châssis

Auparavant, la liaison entre la cuve et le châssis était réalisée par un plateau tournant igus® (voir figure 12). Ce composant est constitué d'éléments de glissement réalisés en iglidur®, un polymère qui permet un fonctionnement à sec sans la moindre goutte de lubrifiant, avec un très faible coefficient de frottement. Il présentait cependant certaines anomalies de fonctionnement qui ont nécessité son remplacement par une couronne d'orientation (Franke LVA0150, voir DT9).

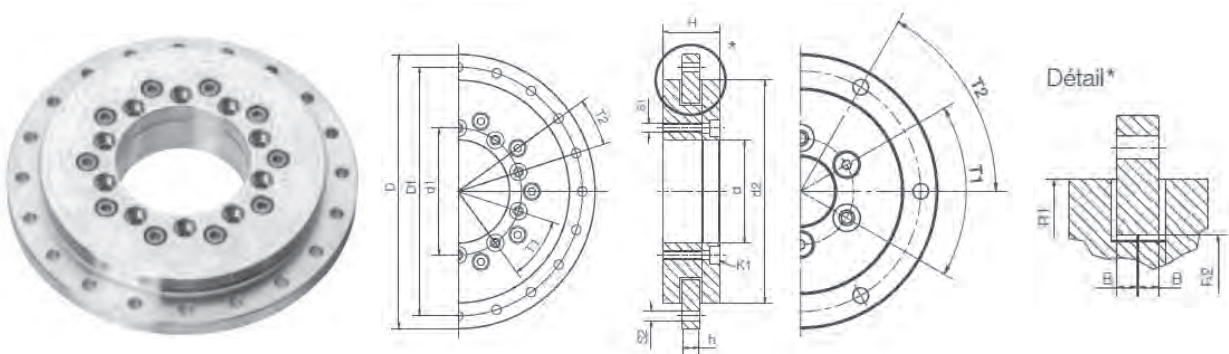


Figure 12 : plateau tournant igus®

On souhaite vérifier la durée de vie de la couronne d'orientation.

On considère que les produits répartis dans la cuve sont assimilés à une masse ponctuelle m_p appliquée au point A , solidaire du sous-ensemble mécanique lié à la cuve « entrainement de cuve » (voir DT2 et figure 13).

L'action de contact entre le pignon (11) et la roue (6) est appliquée au point B (voir figure 13).

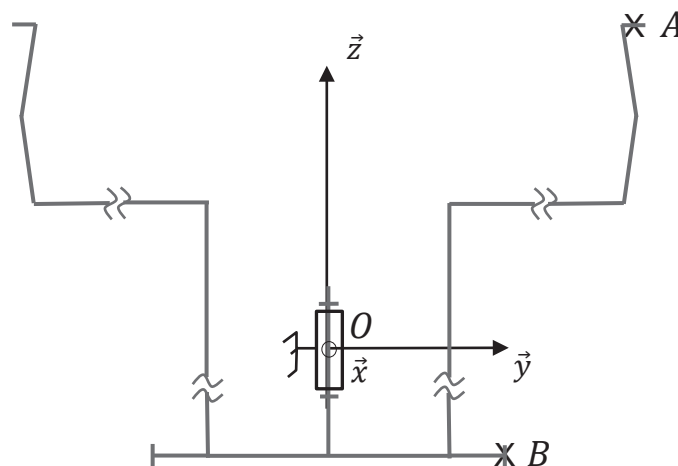


Figure 13 : modélisation du sous-ensemble « entrainement de cuve »

Données et hypothèses :

- $\overrightarrow{OA} = r_c \cdot \vec{y} + h_A \cdot \vec{z}$, avec $r_c = 600 \text{ mm}$ et $h_A = 150 \text{ mm}$;
- $\overrightarrow{OB} = r_r \cdot \vec{y} - h_B \cdot \vec{z}$, avec $r_r = 157,5 \text{ mm}$ et $h_B = 85 \text{ mm}$;
- masse des produits : $m_p = 9 \text{ kg}$;
- masse du sous ensemble « entrainement de cuve » : $m_c = 160 \text{ kg}$;
- accélération de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- angle de pression de l'engrenage roue **(6)** / pignon **(11)** : $\alpha = 20^\circ$;
- fréquence de rotation du sous-ensemble « entrainement de cuve » en régime établi : $24,5 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$;
- moment d'inertie du sous-ensemble « entrainement de cuve » suivant l'axe de rotation de la cuve : $J_c = 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$;
- liaisons parfaites ;
- cuve parfaitement équilibrée ;
- action due au frottement des saucisses sur le châssis négligée.

Question 4.1

DT1 à DT3, DT9

Feuille de copie

Justifier la modélisation de la liaison entre le châssis de la machine et le sous-ensemble « entrainement de cuve » (point O , voir figure 13).

Question 4.2

DT9

Feuille de copie

Par une étude statique, **déterminer** les charges appliquées sur la couronne d'orientation.

Question 4.3

DT9

Feuille de copie

Déterminer la charge équivalente P appliquée sur la couronne d'orientation.

En déduire sa durée de vie.

Conclure.

Le constructeur de la couronne d'orientation préconise, pour l'emploi de ce type de composant, le respect d'un coefficient de sécurité statique S_{st} (voir DT9).

Question 4.4

DT9

Feuille de copie

Calculer le coefficient de sécurité statique S_{st} et **vérifier** qu'un calcul dynamique est nécessaire.

Le mouvement de rotation de la cuve est supposé uniformément accéléré et on impose un temps de démarrage de celle-ci de 2,5 secondes.

Question 4.5

Feuille de copie

Déterminer la matrice d'inertie de la masse m_p au point O , relativement à la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, en fonction de m_p , r_c et h_A .

Question 4.6

DT9

Feuille de copie

Par une étude dynamique, **déterminer** les charges appliquées sur la couronne d'orientation.

Question 4.7

DT9

Feuille de copie

Calculer à nouveau le coefficient de sécurité statique S_{st} .

Conclure sur le dimensionnement de la couronne d'orientation.

5^E PARTIE : RECONCEPTION ET FABRICATION DE L'AXE DE CUVE (Durée conseillée : 45 min)

Objectif : valider la nouvelle cotation de l'axe de cuve et organiser sa fabrication.

Les modifications réalisées sur la machine (remplacement du joint de cardan et du plateau tournant) nécessitent de reconcevoir l'axe de cuve, d'établir sa nouvelle cotation et de prévoir sa fabrication.

Le document DT10 représente le dessin de définition de l'axe de cuve.

Question 5.1
DT10
DR2
Feuille de copie

Identifier la surface de référence B et **nommer** cette surface par rapport à son identification sur les vues du modèle figurant dans le tableau d'analyse des antériorités.

Question 5.2
DT10
Feuille de copie

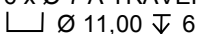
Justifier le choix des surfaces de références A, B, C, D, E, F, et G ainsi que les zones de tolérances spécifiées.

Question 5.3
DT10 et DT11
DR2

Traduire les spécifications de l'axe de cuve en complétant le tableau d'analyse des antériorités.

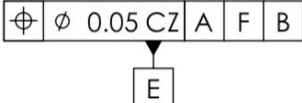
Question 5.4
DT10
Feuille de copie

Préciser la signification de la spécification

6 x Ø 7 À TRAVERS TOUT


Question 5.5
DT10
Feuille de copie

Analyser et interpréter la spécification
Justifier la mention de zone commune.



Question 5.6
DT10
Feuille de copie

Proposer une gamme de contrôle pour la spécification précédente à l'aide d'une machine à mesurer tridimensionnelle.

Question 5.7
DT10
Feuille de copie

Analyser et interpréter la spécification de l'alésage Ø 55 H6 $\text{\textcircled{E}}$
Justifier la mention d'exigence de l'enveloppe.

Lors de l'assemblage du sous-ensemble entraînement plateau / cuve, le montage de l'arbre du plateau (1) et des roulements (15) et (17) peut nécessiter une modification de forme des surfaces internes actuelles de l'axe de cuve (2).

Question 5.8
DT1 et DT10
DR3

Critique la solution actuelle nécessitant la modification
Proposer alors une évolution de forme des surfaces internes de l'axe de cuve (2). **Justifier** la modification proposée.

En vue de la réalisation de l'axe de cuve, une étude de fabrication est lancée, dans le but de réaliser une présérie de 50 pièces sur la base du plan actuel (voir DT10).

Les éléments retenus pour la fabrication sont présentés sur le document DT12.

Définition du brut :

- barre ronde, laminée, $\varnothing 145$, tolérance sur le diamètre $\pm 2 \text{ mm}$, selon norme EN 10060 ;
- débit : sciage à longueur 135 mm .

Question 5.9

DT10 et DT12
DR4

Proposer une gamme de fabrication compatible avec les éléments techniques retenus.

Dans le cas de la réalisation de l'alésage $\varnothing 55 \text{ H6}$ sur la fraiseuse proposée et avec les outils sélectionnés (voir DT12), il est nécessaire de vérifier la faisabilité de ces usinages.

Question 5.10

DT12
Feuille de copie

Déterminer les conditions de coupe pour l'opération de perçage (ébauche).

La puissance de broche P_c est donnée par la relation suivante :

$$P_c = \frac{f_n \cdot V_c \cdot D_c \cdot K_c}{240 \cdot 10^3}$$

Avec :

- f_n : vitesse d'avance en $\text{mm} \cdot \text{tr}^{-1}$;
- V_c : vitesse de coupe en $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$;
- D_c : diamètre du foret en mm ;
- $K_c = 2\,800 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$: pression spécifique de coupe.

Question 5.11

DT12
Feuille de copie

Déterminer la puissance de broche P_c .

Indiquer si le choix de la machine retenue est judicieux, selon le critère de la puissance de broche.

**6^E PARTIE : COUPLE MATÉRIAU-PROCÉDÉ
POUR L'OBTENTION DE LA CUVE
(Durée conseillée : 35 min)**

Objectif : valider le couple matériau-procédé pour l'obtention de la cuve.

Afin de garantir la qualité de la cuve et compte-tenu des contraintes liées à son utilisation dans le domaine de l'agro-alimentaire, un nouveau procédé d'obtention est envisagé. La pièce, actuellement obtenue en fonderie, est susceptible de comporter des microporosités risquant d'être polluées par les produits travaillés et pouvant provoquer une corrosion caverneuse. Des contrôles de conformité très coûteux sont donc nécessaires.

Le nouveau procédé proposé consiste à obtenir la pièce brute par cintrage puis soudage d'une tôle corroyée livrée par un fournisseur. Ici, les microporosités sont absentes et le grain, plus fin, augmente la résilience de l'alliage.

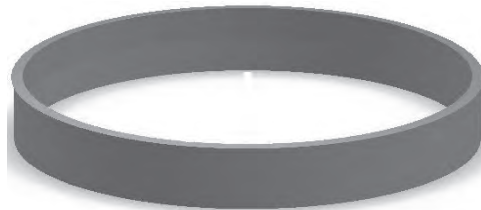


Figure 14 : vue isométrique de la cuve

Question 6.1 | **Justifier** la forme intérieure en « double pente » de la cuve usinée, compte tenu des exigences du système.
DT4 et DT13
Feuille de copie

Le matériau envisagé pour la réalisation de la cuve est un acier ayant pour désignation X2 Cr Ni 18 09.

Question 6.2 | À l'aide du diagramme de Pryce et Andrew, **préciser** la structure cristalline obtenue par la composition de cet acier.
DT14 et DT15
Feuille de copie | **Justifier** l'intérêt de cette structure pour la fonction et l'élaboration de la cuve.

Question 6.3 | **Justifier** l'intérêt d'utiliser ce type d'acier à bas carbone.
DT16 et DT17
Feuille de copie

Question 6.4 | **Préciser** le rôle du chrome et du nickel dans la composition de cet acier.
DT17 à DT19
Feuille de copie | **Justifier** leurs teneurs respectives.

Après avoir été corroyée, la tôle subit un traitement thermique d'hypertrempe avant d'être livrée par le fournisseur.

Question 6.5 | **Préciser** le rôle de ce traitement thermique.
DT16
Feuille de copie

Question 6.6
DT16
Feuille de copie

Proposer un ordre de grandeur de la température de chauffage et du temps de maintien de la tôle dans le four.
Justifier vos choix.

Question 6.7
DT16
Feuille de copie

Préciser si le refroidissement doit être lent ou rapide.
Justifier votre réponse.
Proposer alors un milieu de refroidissement.

Après cintrage, la pièce est soudée. La figure 15 représente l'évolution de la température dans la pièce lors de l'opération de soudage.

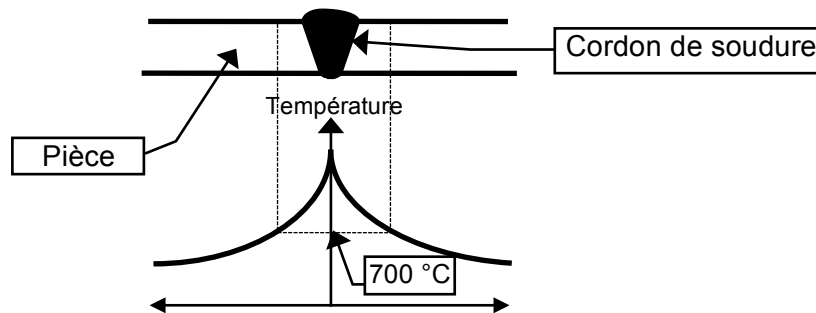


Figure 15 : évolution de la température dans la pièce lors de l'opération de soudage

Question 6.8
DT16
Feuille de copie

Justifier la nécessité de procéder à nouveau à une hypertrempe.

La déformation par cintrage ainsi que le soudage engendrent des contraintes élastiques dans la pièce. Un traitement de stabilisation permettant d'éliminer ces contraintes résiduelles est donc nécessaire.

Question 6.9
DT16
Feuille de copie

Préciser la raison pour laquelle on cherche à éliminer ces contraintes résiduelles.

Question 6.10
DT16
Feuille de copie

Proposer un ordre de grandeur de la température de chauffage et du temps de maintien de la pièce dans le four.
Justifier vos choix.

Question 6.11
Feuille de copie

Préciser si le refroidissement doit être lent ou rapide.
Justifier votre réponse.
Proposer alors un milieu de refroidissement.

Question 6.12
Feuille de copie

Préciser le placement de ce traitement thermique par rapport aux opérations d'usinage (avant-après).
Justifier votre réponse.

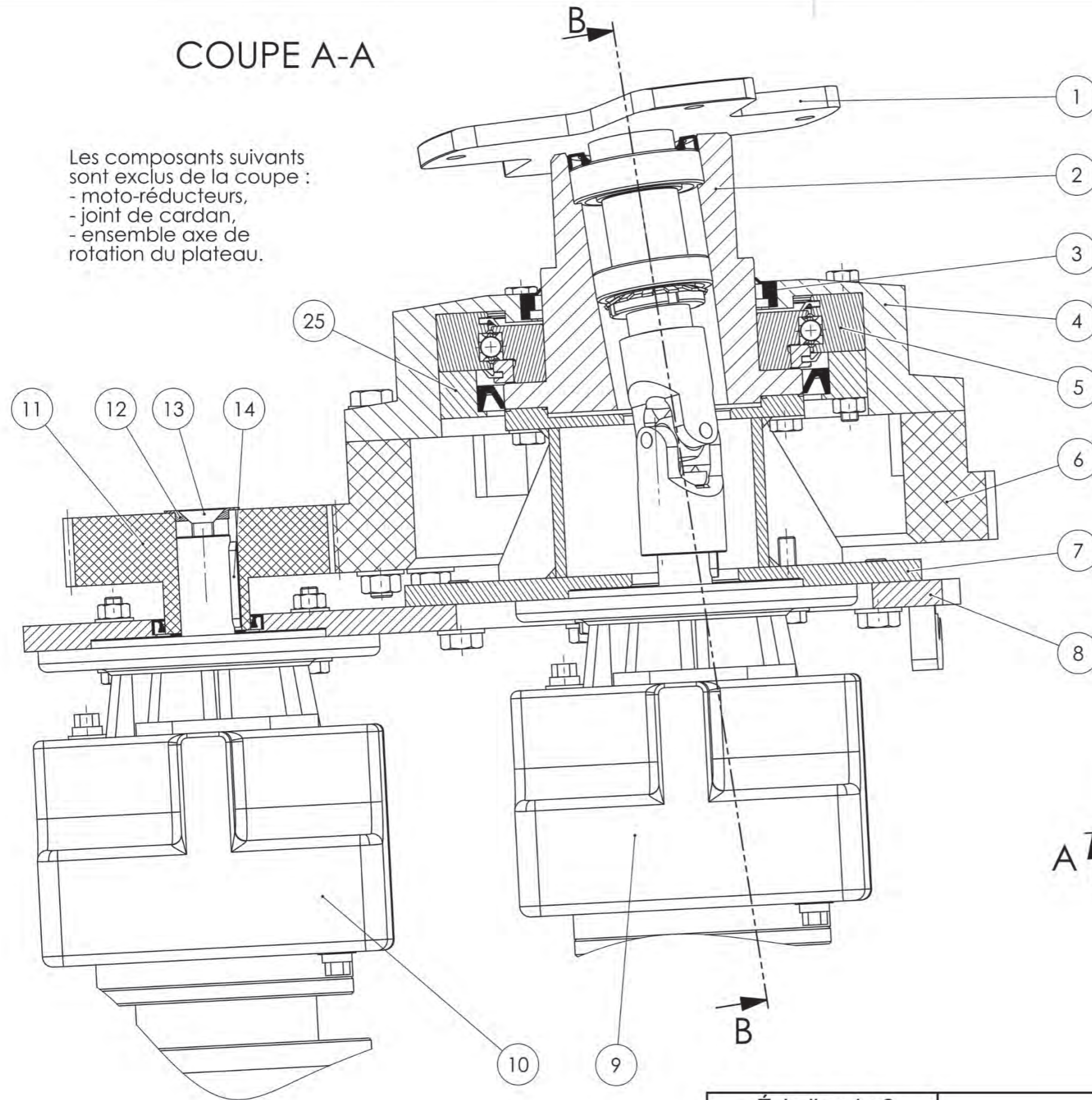
DT - DOCUMENTS TECHNIQUES

DT1 : plan du sous-ensemble « entrainements plateau / cuve »
DT2 : plan du sous-ensemble « entrainement de cuve »
DT3 : nomenclature
DT4 : extraits du diagramme des exigences
DT5 : modèle multi-physique de comportement de la cuve
DT6 : courbes de fréquences de rotation et de couples
DT7 : joints de cardan
DT8 : diagrammes d'Ashby (2 <i>feuilles</i>),
DT9 : couronne d'orientation (2 <i>feuilles</i>),
DT10 : dessin de définition de l'axe de cuve,
DT11 : axe de cuve : parents – enfants,
DT12 : éléments de fabrication retenus pour la pré-série (3 <i>feuilles</i>),
DT13 : dessin de définition de la cuve,
DT14 : diagramme de Pryce et Andrew,
DT15 : structures cristalline des aciers inoxydables,
DT16 : diagramme d'équilibre fer-carbone à 18% de Cr et 9% de Ni,
DT17 : corrosion inter granulaire,
DT18 : diagramme de phase fer-chrome,
DT19 : coupe du diagramme ternaire Fe-Cr-Ni ;

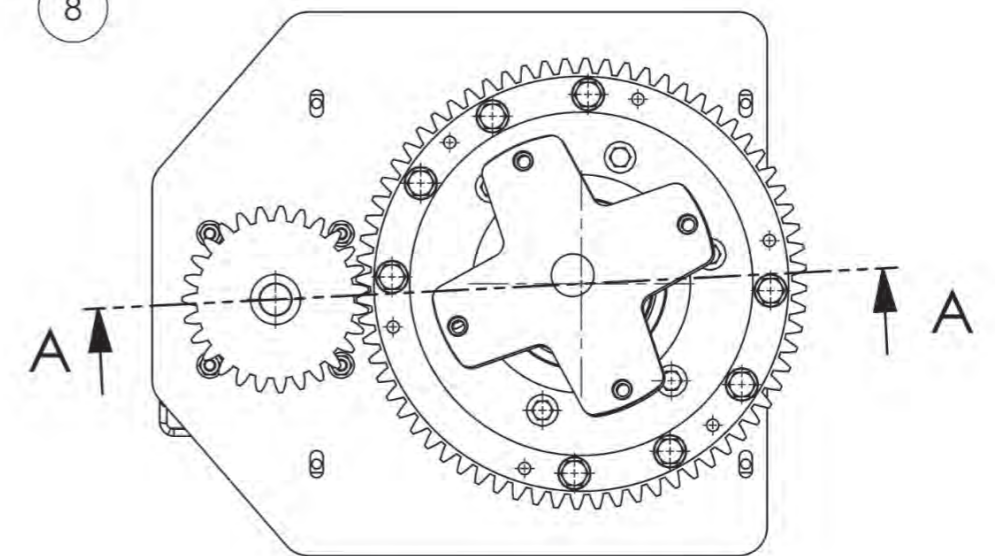
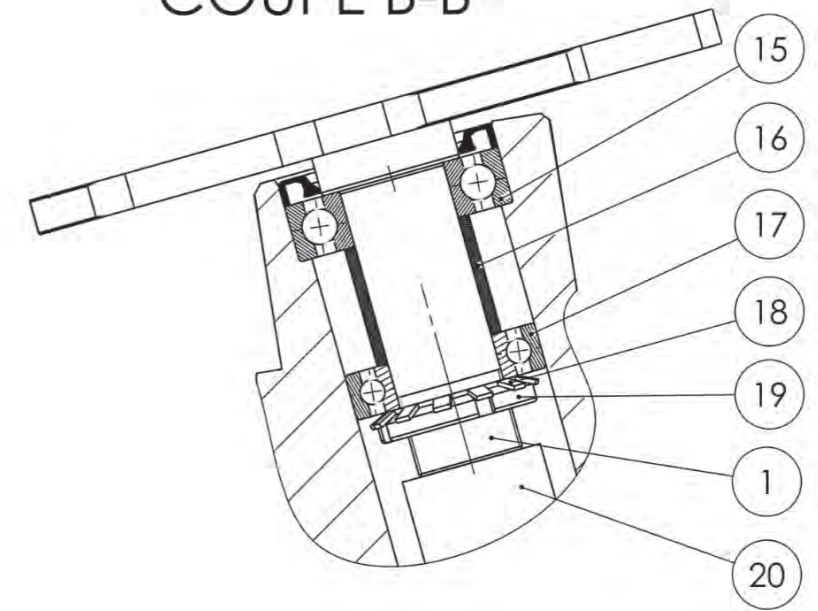
Les DT14 et 15, DT16 et DT17, DT18 et DT19 sont associés et imprimés respectivement sur une seule page

COUPE A-A

Les composants suivants
sont exclus de la coupe :
- moto-réducteurs,
- joint de cardan,
- ensemble axe de
rotation du plateau.



COUPE B-B



ÉCHELLE 1 : 5

Échelle : 1 : 2

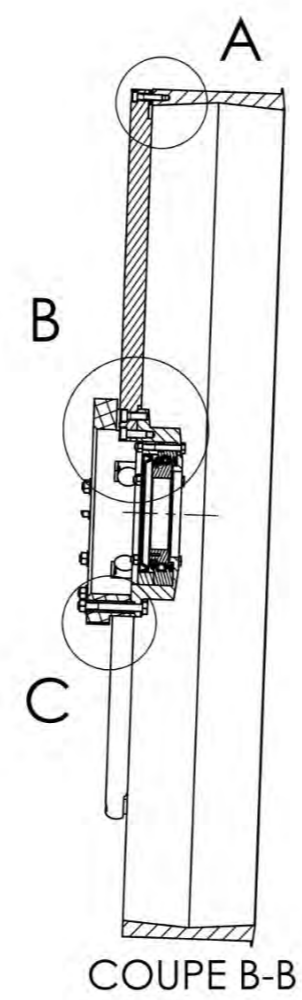
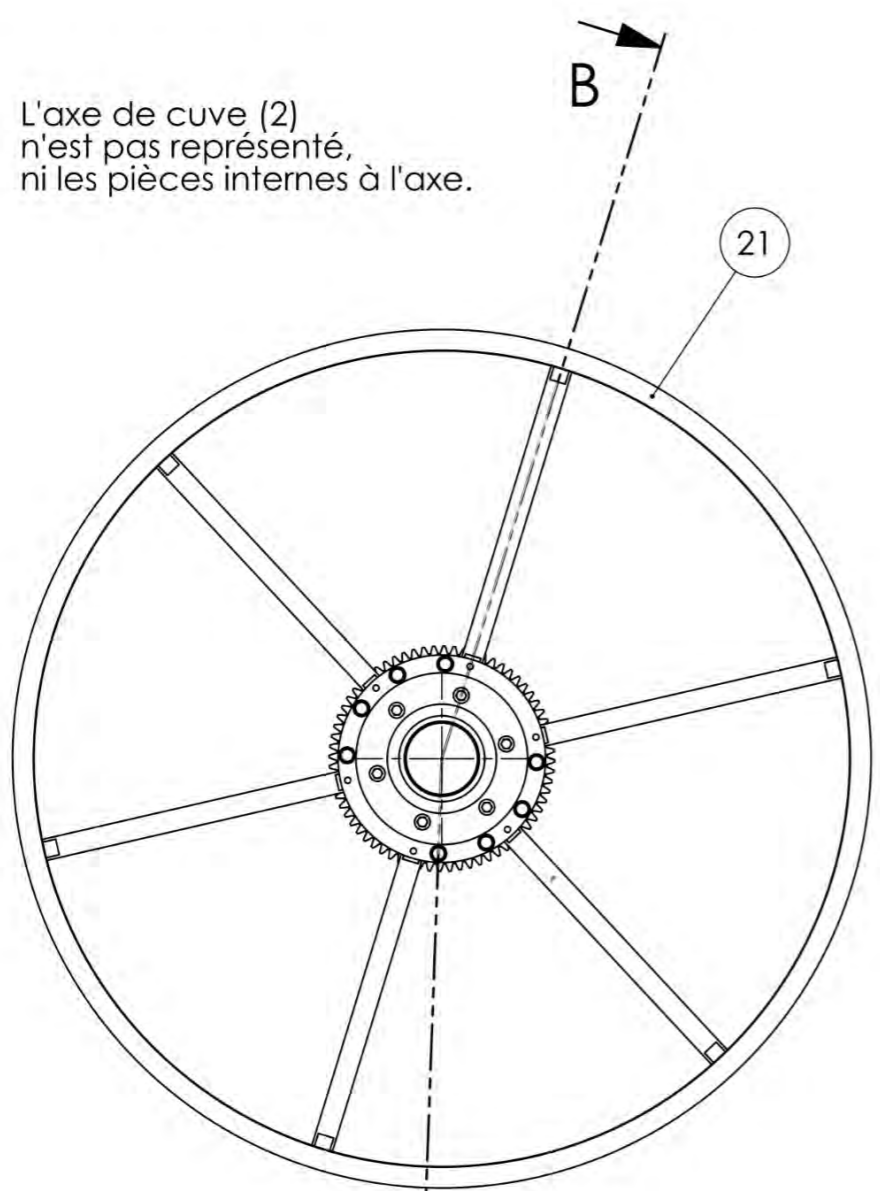


A3 H

**Sous-ensemble
entrainements plateau / cuve**

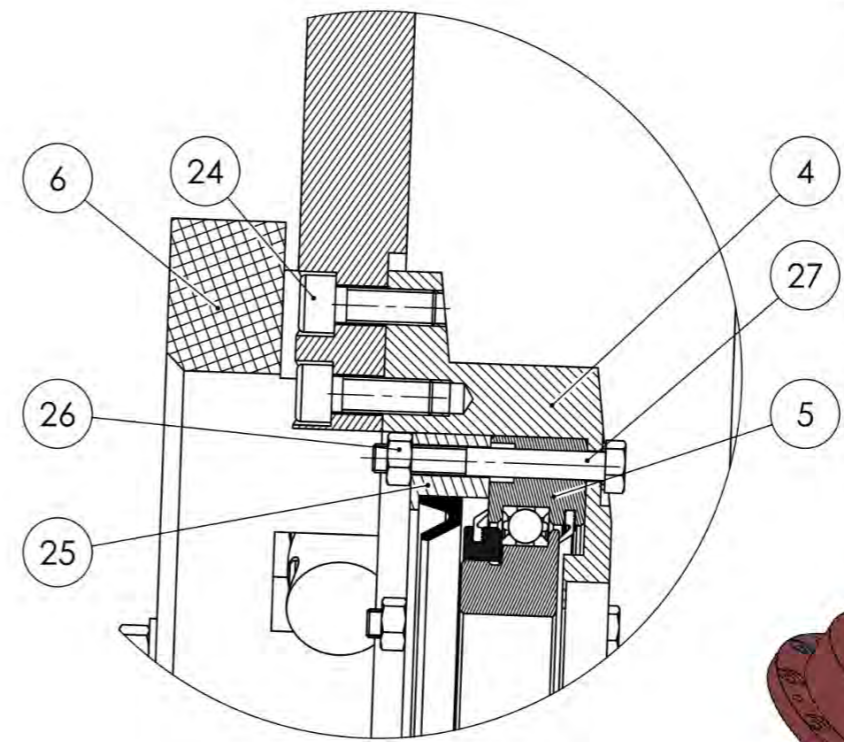
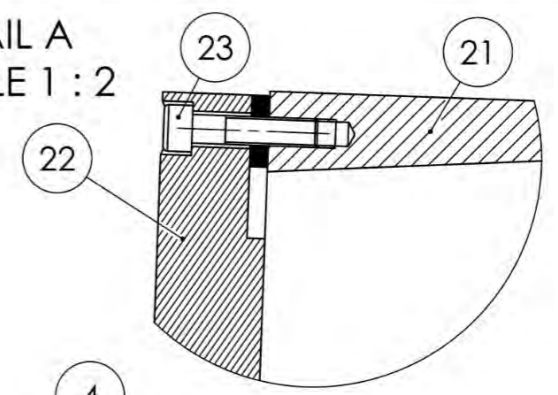
DT1

L'axe de cuve (2)
n'est pas représenté,
ni les pièces internes à l'axe.

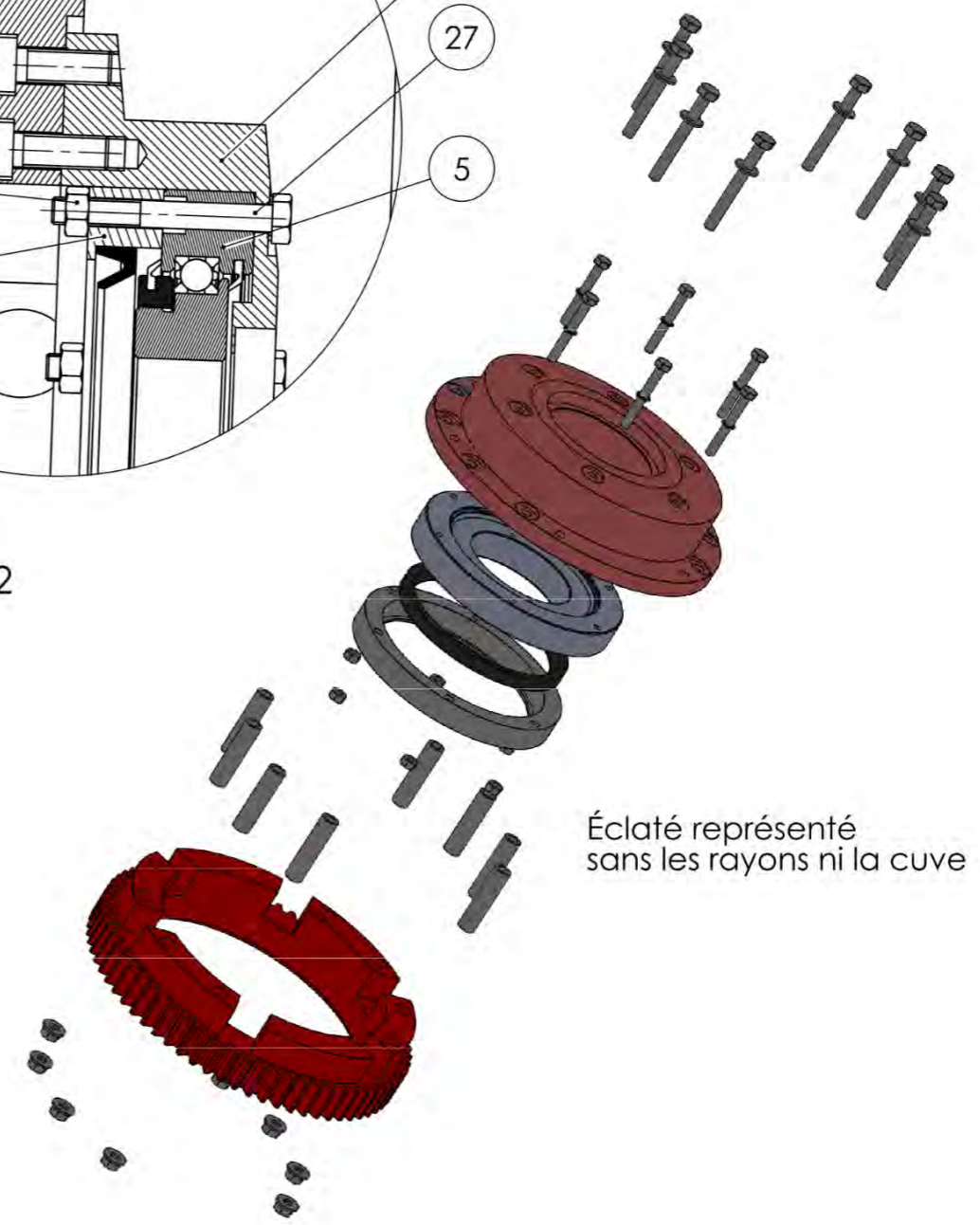


COUPE B-B

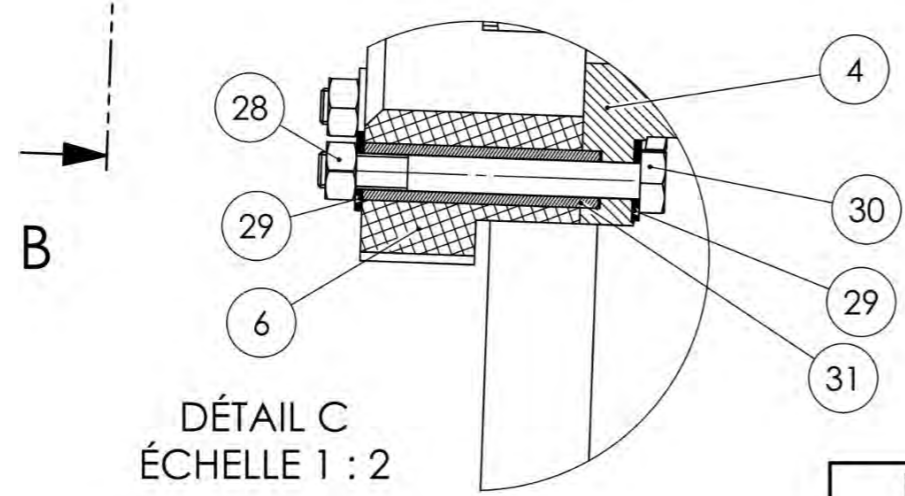
DÉTAIL A
ÉCHELLE 1 : 2



DÉTAIL B
ÉCHELLE 1 : 2



Éclaté représenté
sans les rayons ni la cuve



DÉTAIL C
ÉCHELLE 1 : 2

Échelle : 1 : 10	
	A3 H

**Sous-ensemble
entraînement de cuve**

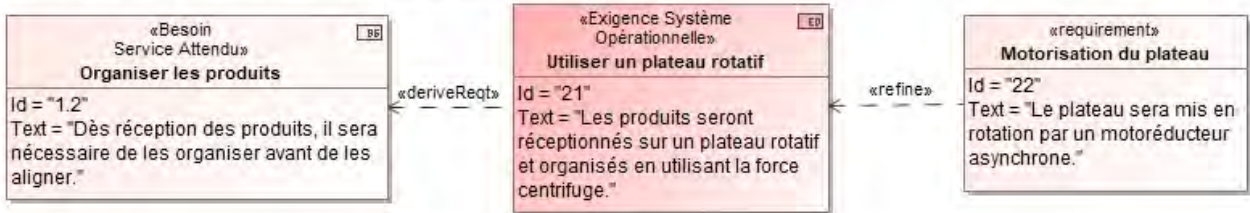
DT2

DT3 – Nomenclature

	Nom	Commentaire	Quantité
1	Arbre plateau	mécano-soudé	1
2	Axe de Cuve	maintenu par vis	1
3	Joint tournant supérieur		1
4	Moyeu de Cuve	maintenu par vis	1
5	Couronne d'orientation	assemblage rotatif Franke type LVA acier	1
6	Roue dentée de cuve		1
7	Lanterne	mécano-soudée	1
8	Plaque d'interface lanterne / bâti	fixée sur le châssis de la machine	1
9	Motoréducteur de plateau	motoréducteur SEW 0,37 kW	1
10	Motoréducteur de cuve	Motoréducteur SEW 0,37 kW	2
11	Pignon		1
12	Rondelle de maintien		1
13	Vis		1
14	Clavette		1
15	Roulement à billes	S6206-2RS-ZEN	1
16	Entretoise		1
17	Roulement à billes	S6006-2RS-ZEN	1
18	Rondelle Frein	Ø30	1
19	Écrou à encoche	de serrage M30 x 1.5	1
20	Joint de cardan	à aiguilles Ø40 x LT108	1
21	Cuve		1
22	Rayon de cuve		6
23	Vis CHC M8 x 35		6
24	Vis CHC M10 x 28		12
25	Couvercle joint inférieur		1
26	Écrou H Freiné M6		6
27	Vis H M6-65		6
28	Écrou H Freiné M10		8
29	Rondelle d'appui normale M10		16
30	Vis H M10-90		8
31	Entretoise		8

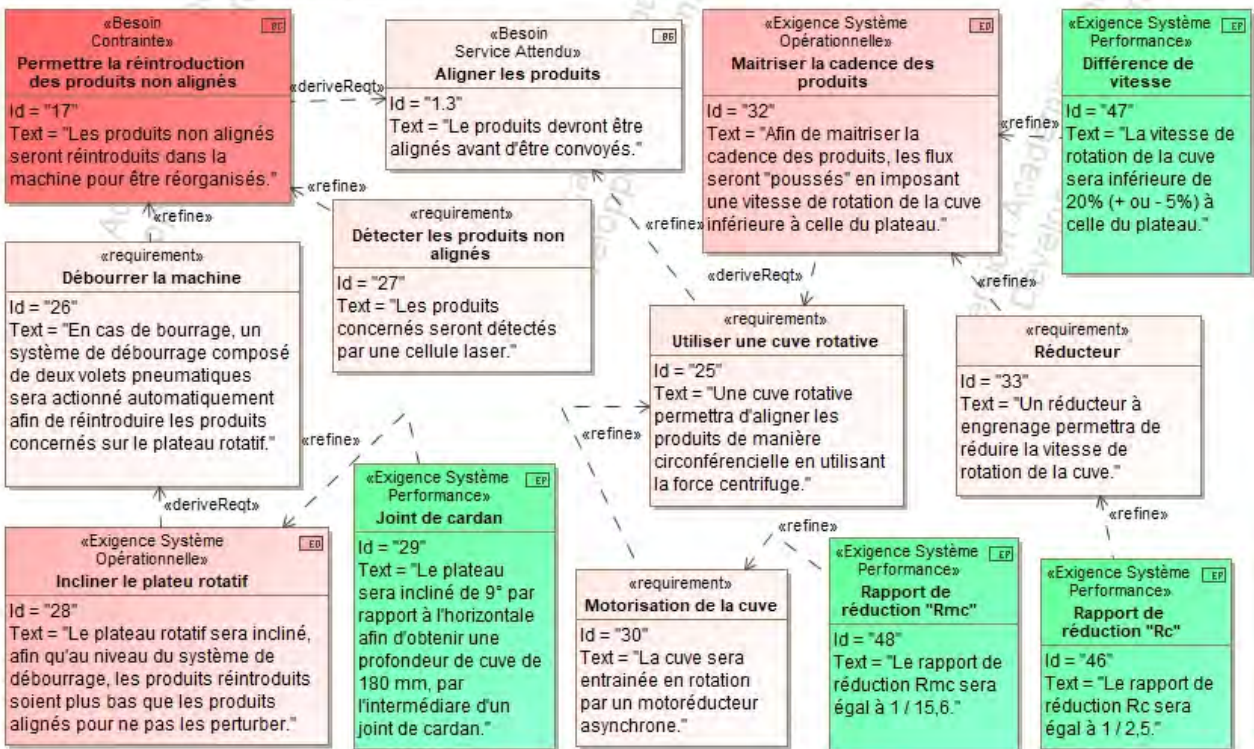
DT4 – Extraits du diagramme des exigences

req [Paquet] 5 - Besoins des Parties Prenantes [Organiser les produits]



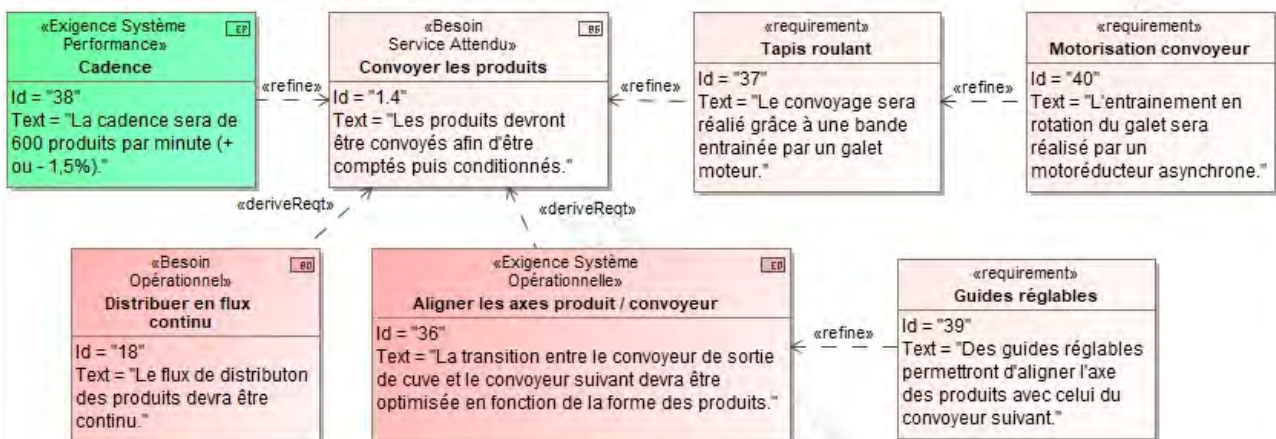
Extrait du diagramme des exigences « organiser les produits »

req [Paquet] 5 - Besoins des Parties Prenantes [Aligner les produits]



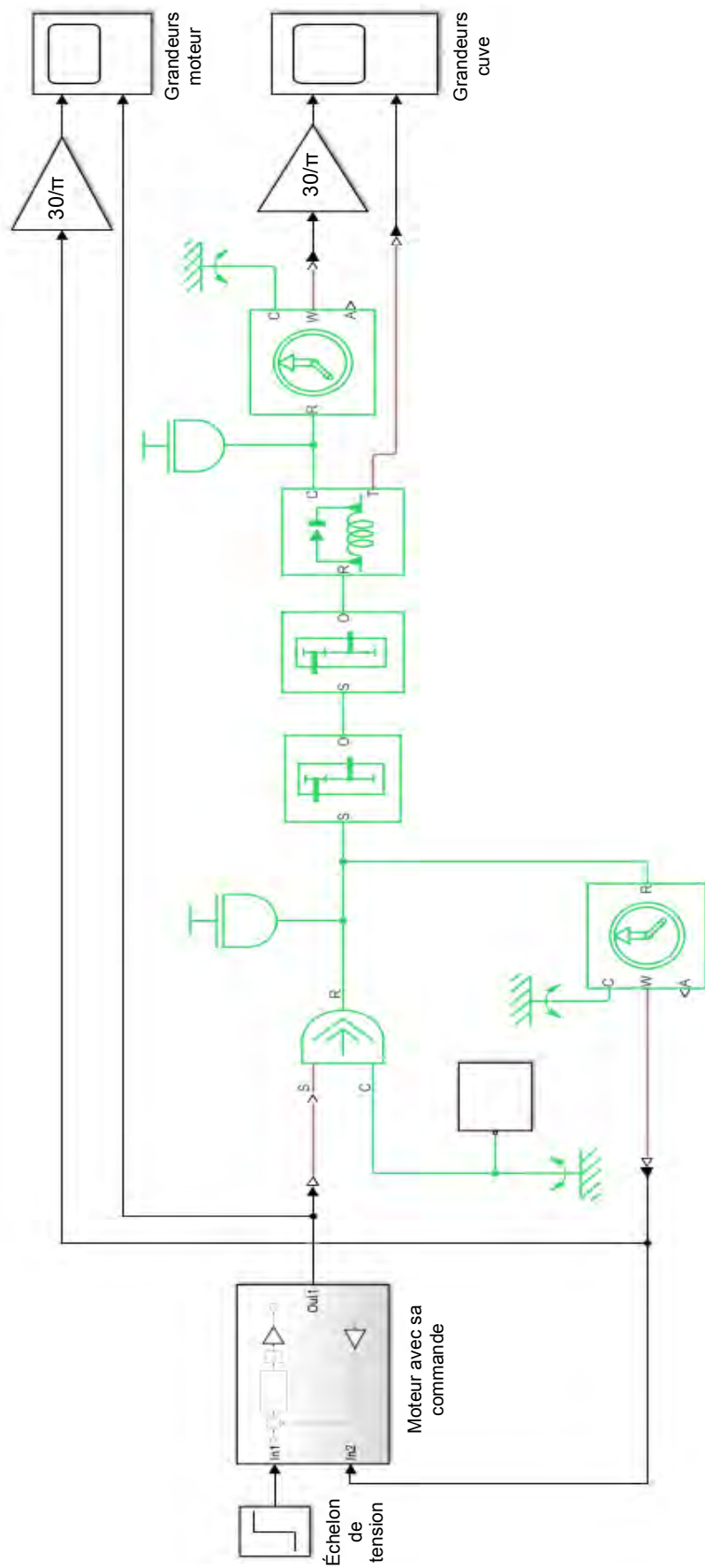
Extrait du diagramme des exigences « aligner les produits »

req [Paquet] 5 - Besoins des Parties Prenantes [Convoyer les produits]



Extrait du diagramme des exigences « convoyer les produits »

DT5 – Modèle multi-physique de comportement de la cuve



Données de la chaîne de transmission de la cuve :

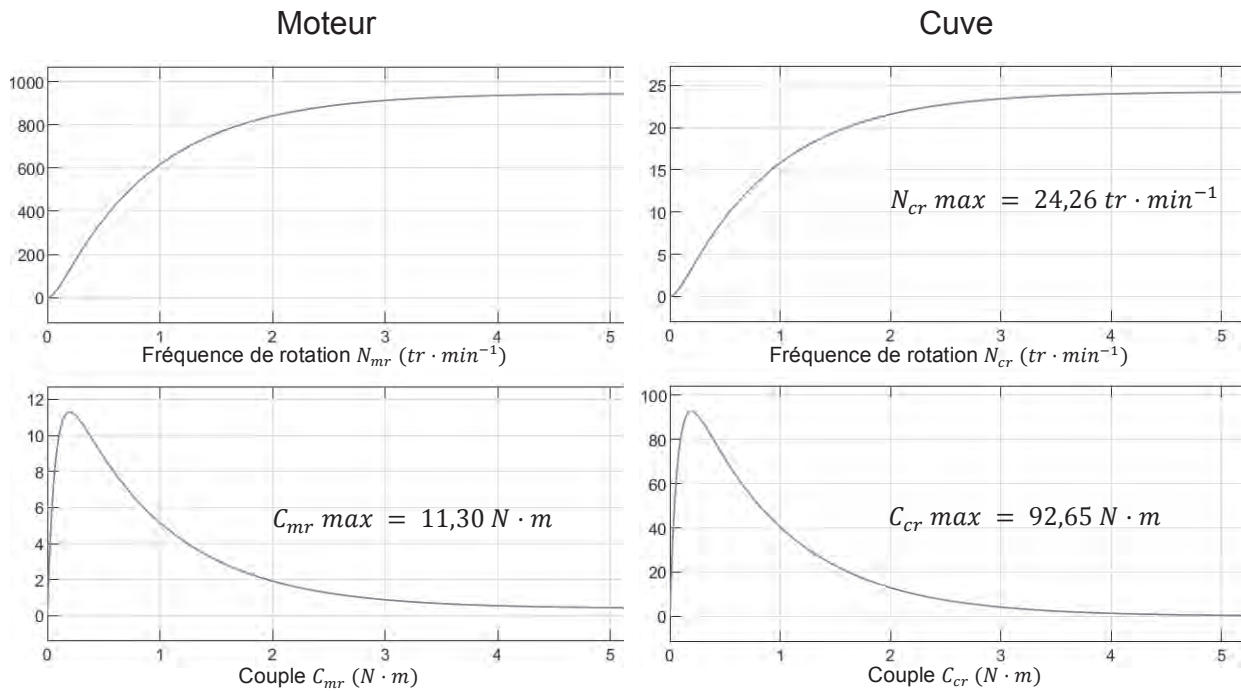
- $J_c = 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (moment d'inertie de la cuve et des pièces associées, suivant l'axe de rotation de la cuve) ;
- $R_c = 1/2,5$ (rapport de transmission de l'ensemble pignon-roue de la cuve).

Données du motoréducteur asynchrone :

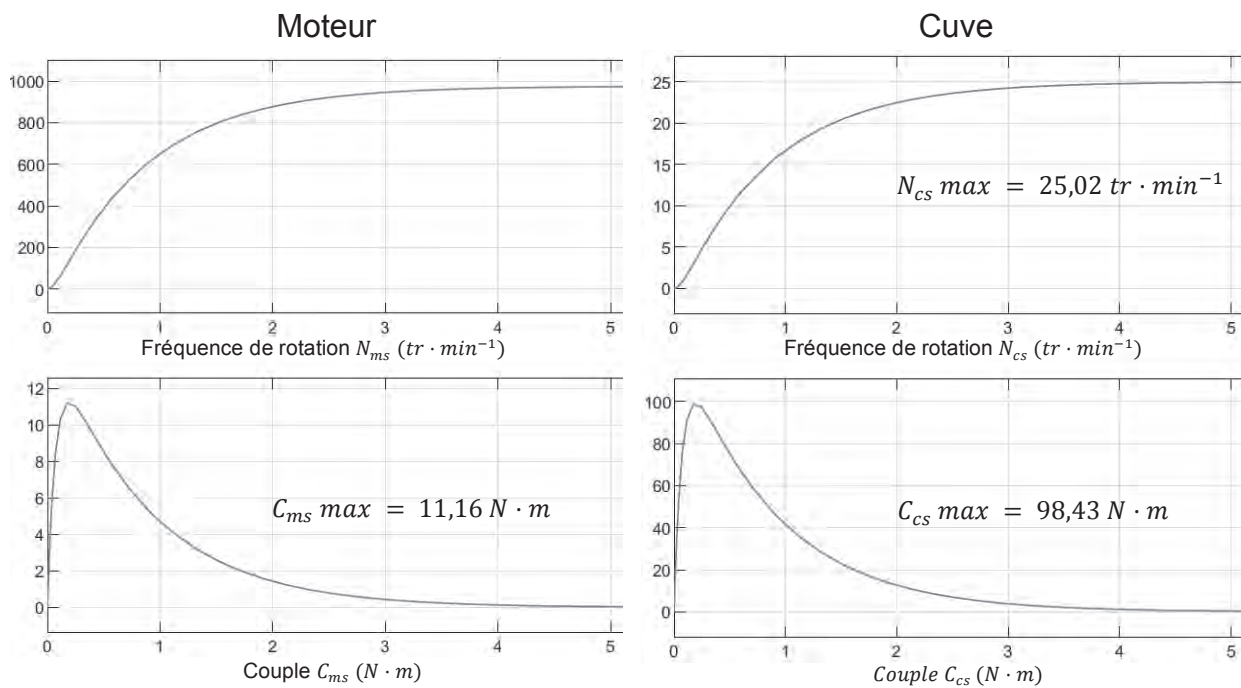
- $J_m = 0,0899 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (moment d'inertie du réducteur associé au moteur ramenée sur l'axe du rotor et des pièces liées au rotor, suivant l'axe de rotation du moteur) ;
- $R_{mc} = 1/15,6$ (rapport de transmission du réducteur du moteur).

DT6 – Courbes de fréquences de rotation et de couples

Courbes issues de mesures réelles sur le moteur et la cuve :



Courbes simulées, issues du modèle de comportement de la cuve :



DT7 – Joints de cardan

Joint de cardan simple sphéroïde

Caractéristiques :

- seulement 3 pièces massives ;
- angle de désalignement maxi 35° ;
- transmission de couples élevés ;
- vitesses de rotation modérées ;
- graissage soigné recommandé ;
- bronze.



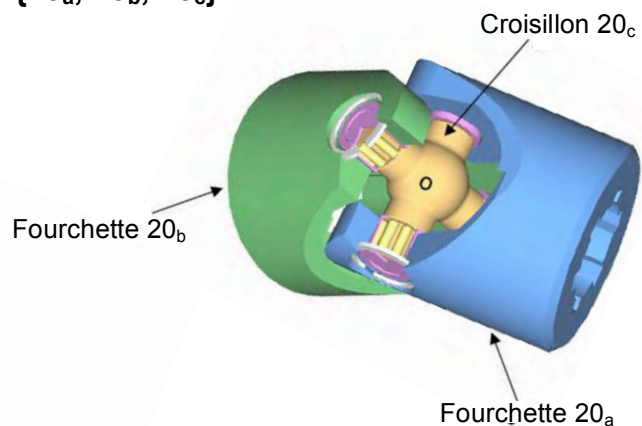
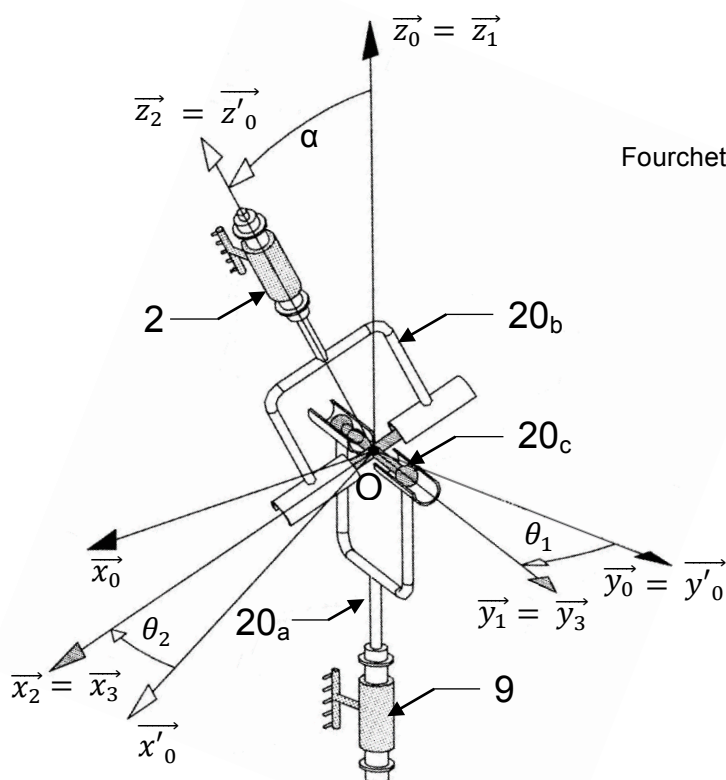
Joint de cardan simple à aiguilles

Caractéristiques :

- paliers à aiguilles ;
- angle de désalignement maxi 45° ;
- vitesses de rotation élevées.



Paramétrage du joint de cardan 20 = {20_a, 20_b, 20_c}



On associe les repères :

$R_0 (O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ au moto réducteur 9 ;

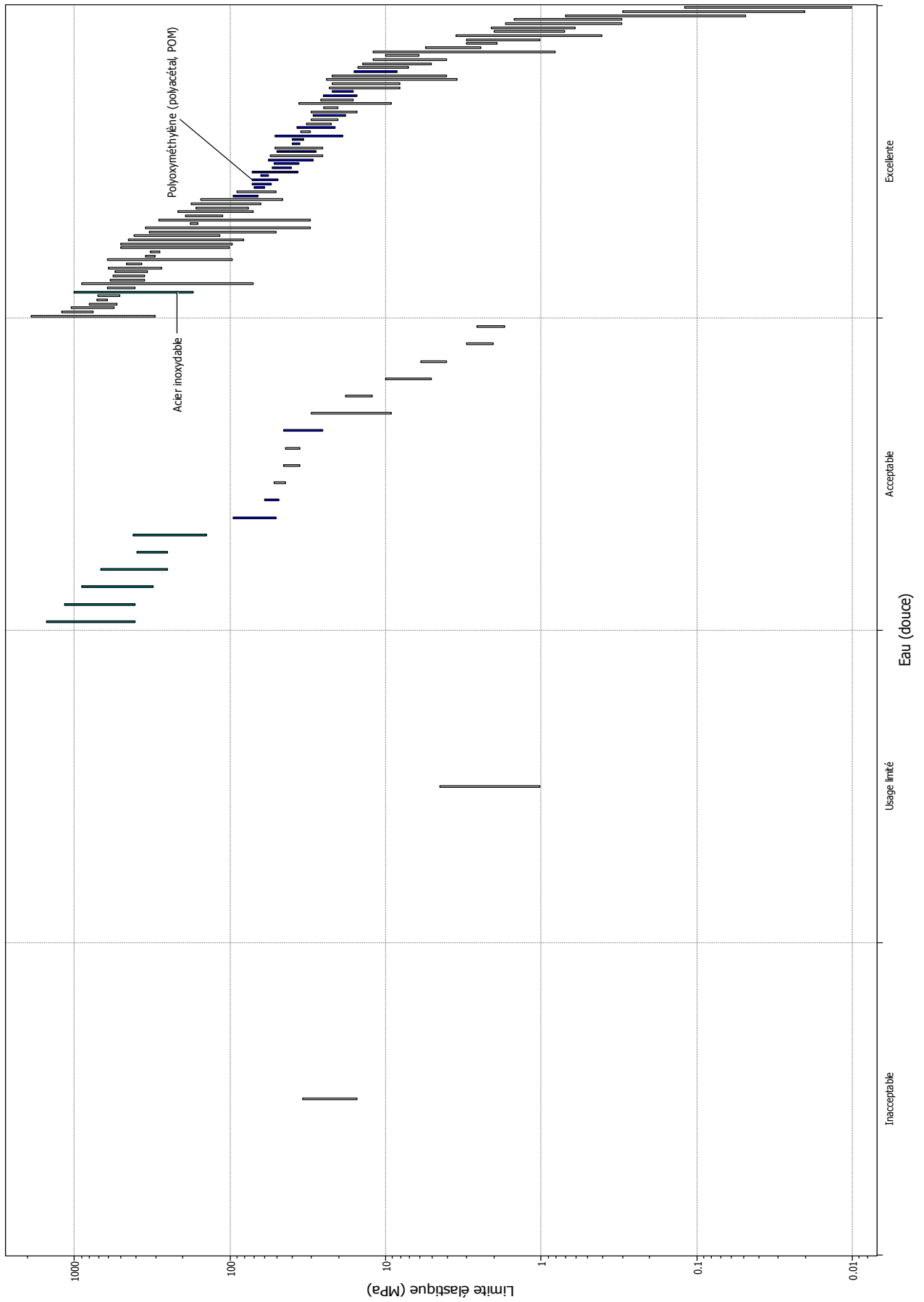
$R'_0 (O, \vec{x}'_0, \vec{y}'_0, \vec{z}'_0)$ à l'axe de cuve 2 ;

$R_1 (O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ à la fourchette 20_a ;

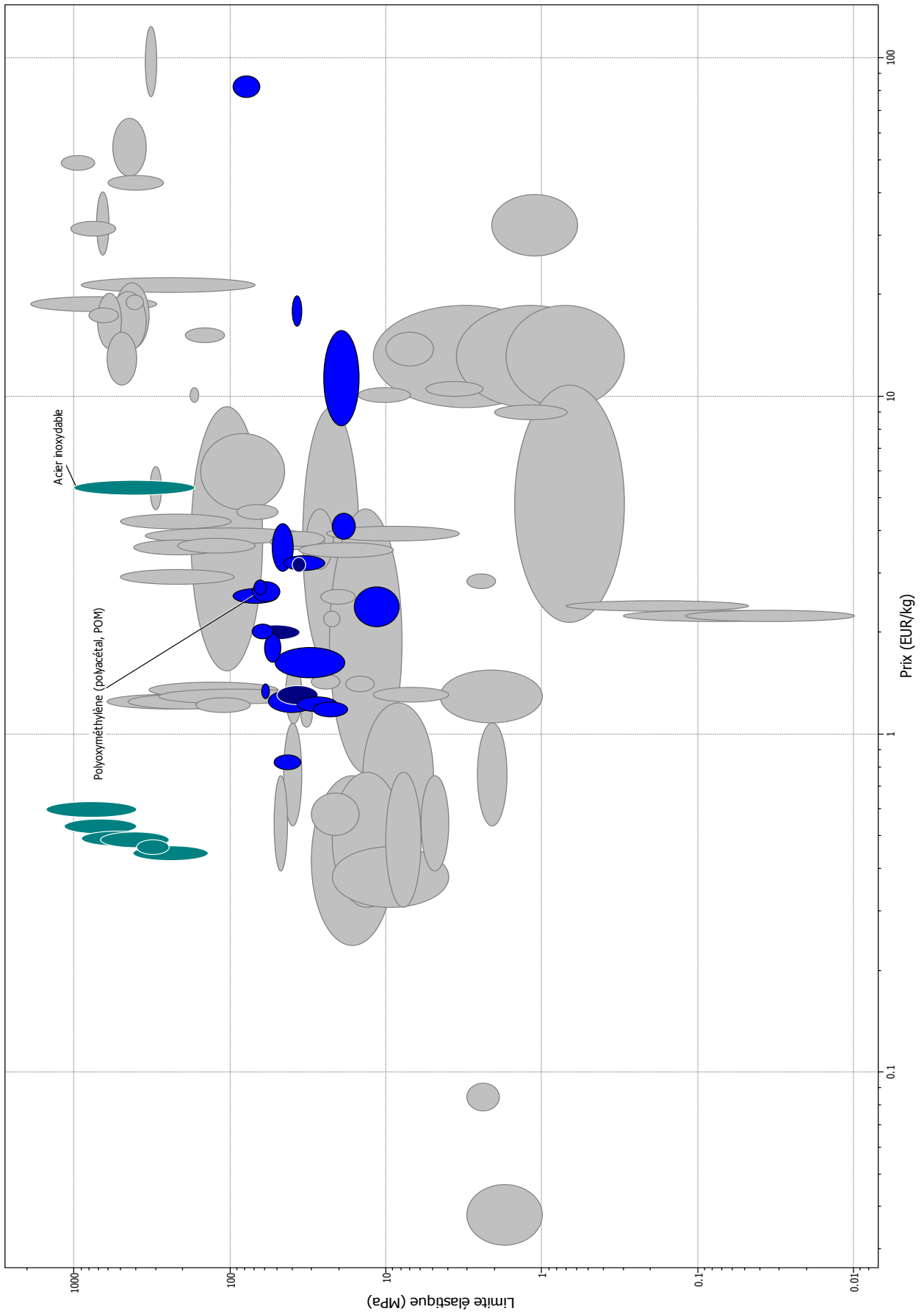
$R_2 (O, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ à la fourchette 20_b ;

$R_3 (O, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ au croisillon 20_c.

DT8 – Diagrammes d'Ashby (feuille 1/2)



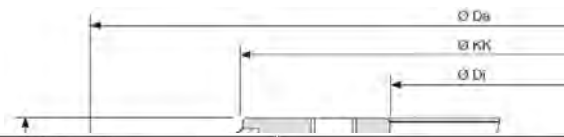
DT8 – Diagrammes d'Ashby (feuille 2/2)



DT9 – Couronne d'orientation (feuille 1/2)

Caractéristiques

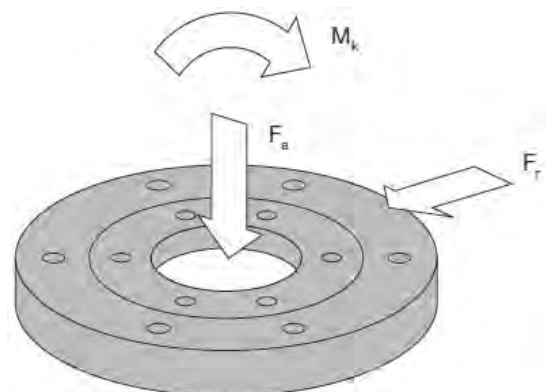
Les assemblages rotatifs (ou couronnes d'orientation) Franke de type LVA sont des roulements complets entièrement montés avec roulements sur joncs intégrés. Ils se prêtent aux vitesses de rotation et aux précisions moyennes. Conçus en tant que roulements à quatre points de contact, ils supportent la même charge dans toutes les directions et sont insensibles aux chocs et aux vibrations. Les assemblages rotatifs sont équipés de joints de chaque côté et sont préchargés.



Taille*	Dimensions mm				Charges de base kN				Moment stat. kNm	Poids kg
	Ø KK	Ø Da	Ø Di	H	C _{0e}	C _{0r}	C _B	C _r	C _{0m}	
LVA0100	100	150	50	34	54	25	18	16	1	3,0
LVA0150	150	200	100	34	82	39	22	19	3	4,6
LVA0200	200	250	150	34	110	52	24	21	5	6,1
LVA0250	250	300	200	34	138	65	26	23	8	7,6
LVA0300	300	360	240	38	166	78	28	24	12	12,8
LVA0400	400	470	330	44	424	199	54	47	40	23,7
LVA0500	500	580	420	49	530	249	59	51	62	39,1
LVA0600	600	680	520	49	635	299	63	54	63	46,9
LVA1800	1800	1930	1670	90	2367	1114	114	99	1003	449,0

Charges appliquées

Les charges appliquées sur la couronne se résument en une force axiale F_a , une force radiale F_r et un moment M_k additionnel.



DT9 – Couronne d'orientation (feuille 2/2)

Termes

C_a charge axiale dynamique de base (N) ; C_r charge radiale dynamique de base (N)

C_{0a} charge axiale statique de base (N) ; C_{0r} charge radiale statique de base (N)

C_{0m} moment statique de base ($N \cdot m$)

$\emptyset KK$ diamètre de la couronne au centre des billes, $\emptyset KK = (Da + Di) / 2$ (m)

L_h durée de vie nominale de la couronne (90% de fiabilité) (h)

N vitesse de rotation ($tr \cdot min^{-1}$)

P charge dynamique équivalente (N)

S_{st} coefficient de sécurité statique

X facteur radial , Y facteur axial , Z facteur de moment

Calcul statique

Un calcul statique est suffisant si la couronne est au repos ou si elle est soumise à des charges modérées et que la vitesse circonférentielle au niveau de $\emptyset KK$ est inférieure à $0,1 m \cdot s^{-1}$.

Une couronne avec une capacité de charge suffisante pourra être choisie dès lors que le coefficient de sécurité statique S_{st} sera respecté.

$$S_{st} = \frac{1}{\frac{F_a}{C_{0a}} + \frac{F_r}{C_{0r}} + \frac{M_k}{C_{0m}}}$$

Coefficient de sécurité statique S_{st} recommandé

	S_{st}
Fonctionnement en douceur sans vibrations	> 1,8
Fonctionnement normal	> 2,5
Lourdes charges et exigences accrues de précision en mouvement	> 8

Calcul dynamique

Une vitesse circonférentielle au niveau du $\emptyset KK$ supérieure à $0,1 m \cdot s^{-1}$ nécessitera un calcul statique ainsi qu'un calcul dynamique. Dans les deux cas, le coefficient S_{st} calculé devra être inférieur à la valeur recommandée.

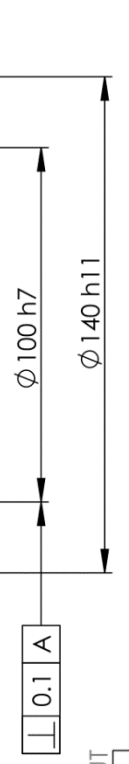
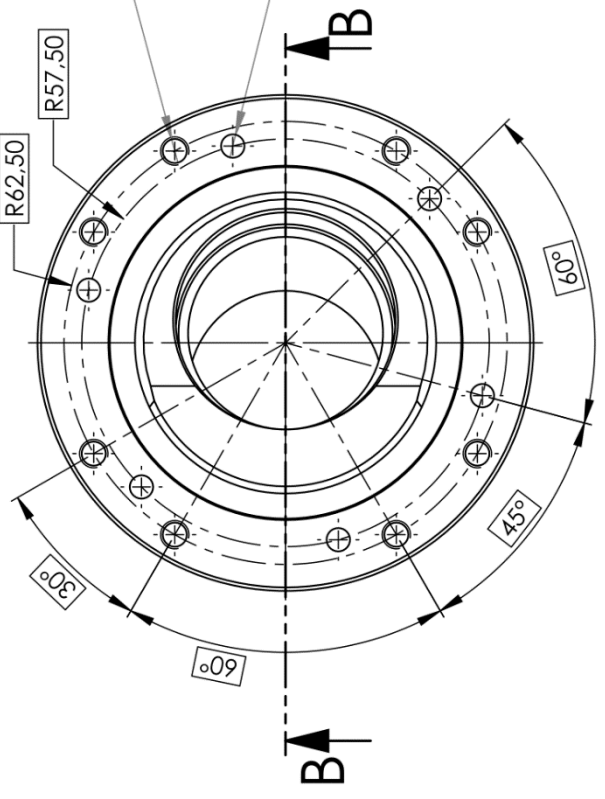
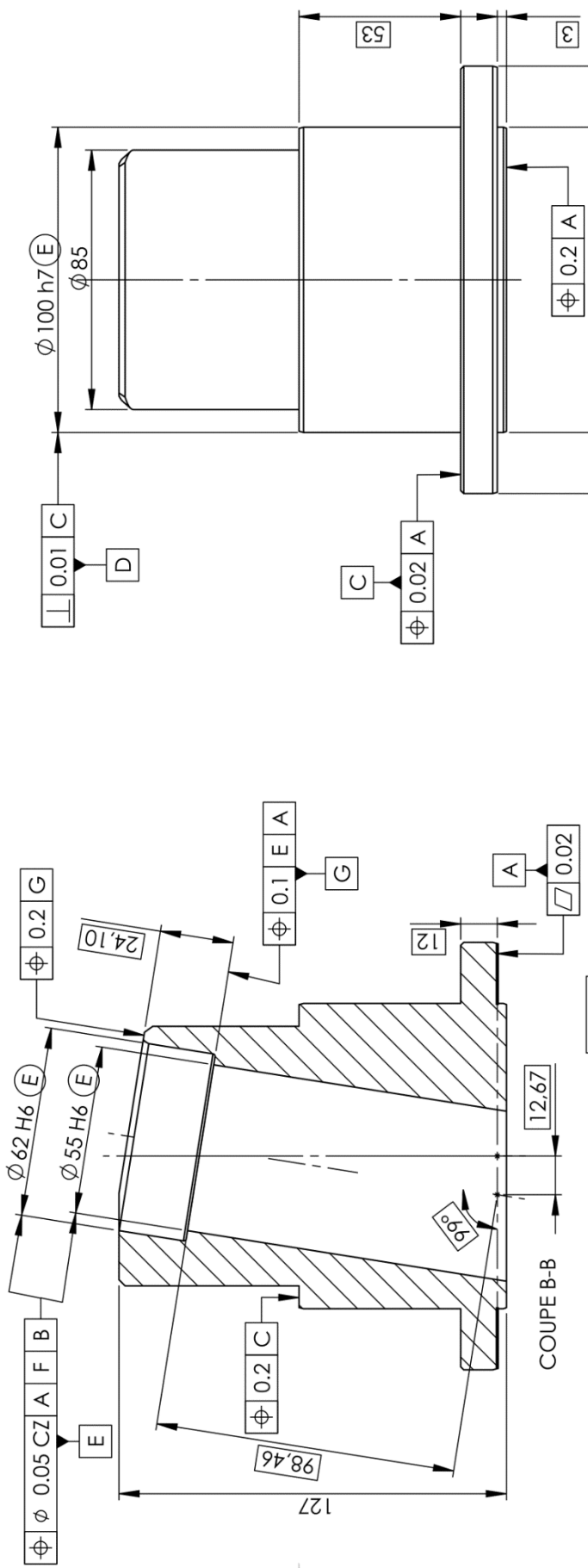
Durée de vie

$$L_h = \left(\frac{C_r}{P}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot N}$$

Charge dynamique équivalente

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a + Z \cdot \frac{M_k}{\emptyset KK}$$

	X	Y	Z
$\frac{F_a}{F_r} \leq 1$	0,86	0,86	---
$\frac{F_a}{F_r} > 1$	1,26	0,45	---
$\frac{M_k}{F_a \cdot \emptyset KK} \leq 0,5$	---	0,86	1,72
$\frac{M_k}{F_a \cdot \emptyset KK} > 0,5$	---	0,45	2,54
$\frac{M_k}{F_r \cdot \emptyset KK} \leq 0,5$	1	---	1,68
$\frac{M_k}{F_r \cdot \emptyset KK} > 0,5$	0,86	---	1,96

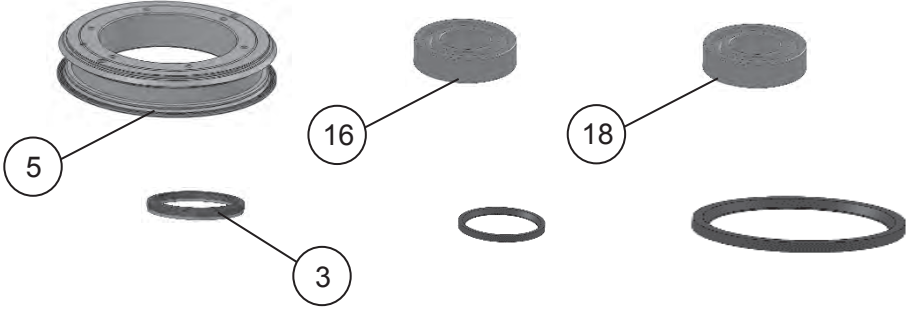
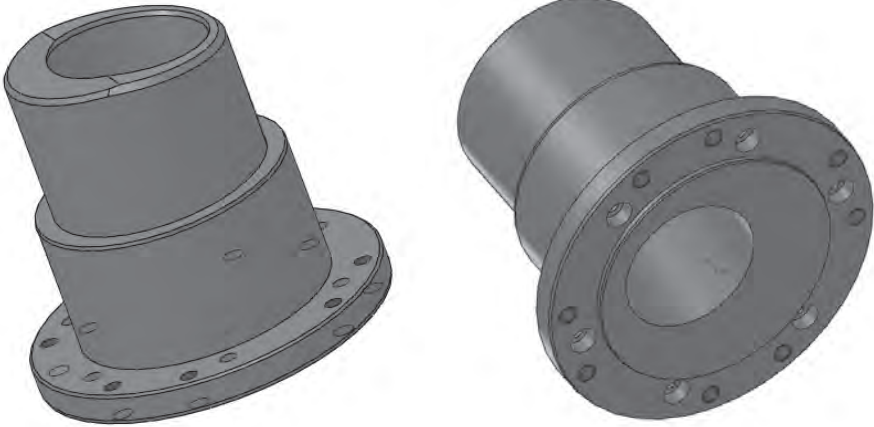
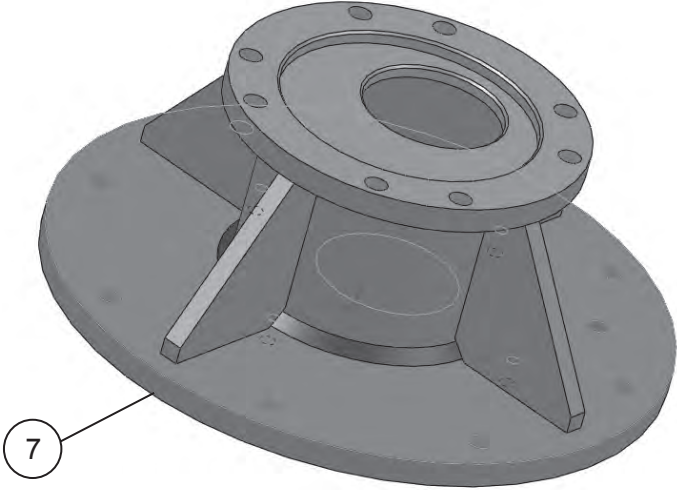


La rugosité maximale Ra pour l'ensemble des surfaces de la pièce est $Ra\ 0.8$

Les géométries de chanfreins ou d'arrondis seront définis à partir du modèle numérique.

Axe de cuve		DT10
Échelle : 1 : 2	Tolérance générale ISO2768 -mK	matière : X2 Cr Ni 18 09
	A4 H	

DT11 – Axe de cuve : parents – enfants

	<p>Enfants</p>
	<p>Axe de cuve</p>
	<p>Parents</p>

DT12 – Éléments de fabrication retenus pour la pré-série (feuille 1/3)

Machines disponibles

Tour CN 3 axes, Marque HAAS, modèle ST-35Y

Extrait des caractéristiques techniques :

- puissance broche maxi : 29,8 kW ;
- fréquence broche maxi : 3 200 $tr \cdot min^{-1}$;
- course X : 318 mm ;
- course Y : ± 51 mm ;
- course Z : 584 mm ;
- taille du mandrin : 305 mm ;
- capacité en barres : 102 mm ;
- entraxe : 762 mm.

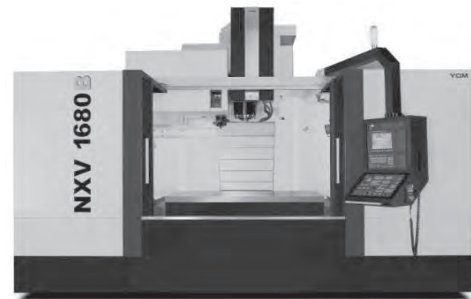


Tour HAAS ST-35Y (illustration)

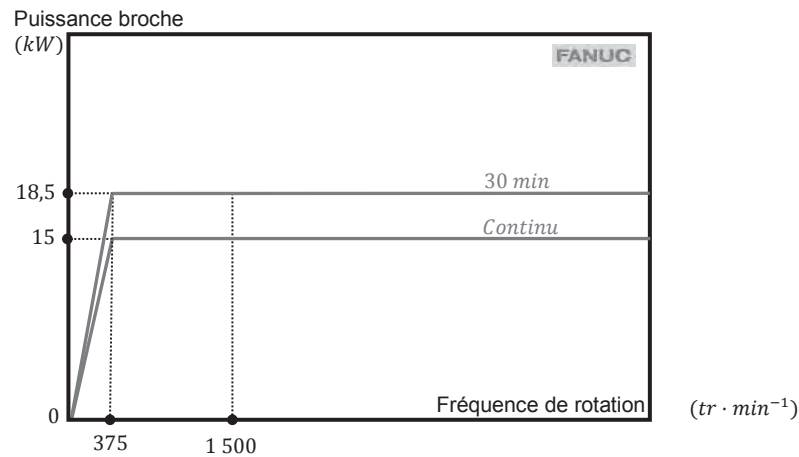
Fraiseuse CN 3 axes, Marque YCM, modèle NXV1680B

Extrait des caractéristiques techniques :

- broche FANUC System 6 000 $tr \cdot min^{-1}$;
- course X : 1 630 mm ;
- course Y : 860 mm ;
- course Z : 762 mm ;
- attachements : BT50 (BBT50) ;
- charge maximale sur table : 2 000 kg ;
- vitesses rapides (X, Y, Z) : jusqu'à 24 $m \cdot min^{-1}$;
- vitesses programmables : jusqu'à 10 $m \cdot min^{-1}$;
- chargeur 32 outils.



Fraiseuse YCM NXV1680B (illustration)




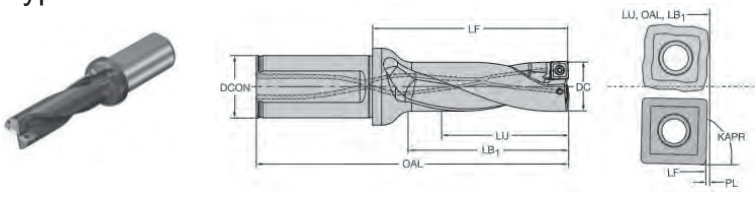
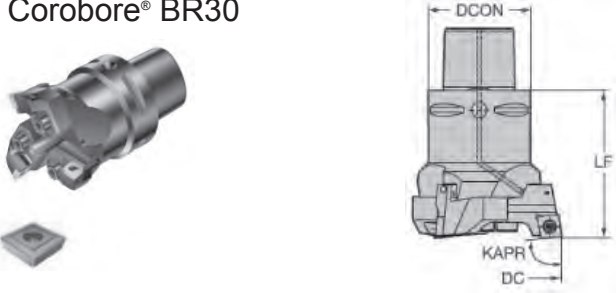
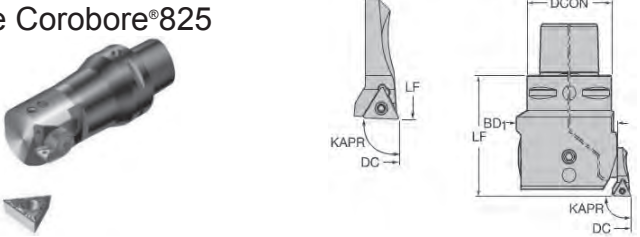
Aciers
Aciers inoxydables austénitiques / ferritiques / martensitiques
Fontes
Métaux non ferreux, plastiques, bois
Alliages réfractaires, alliages de titane
Aciers trempés

Matières usinées



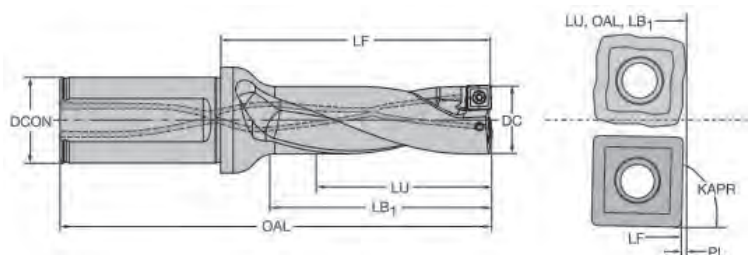
DT12 – Éléments de fabrication retenus pour la pré-série (feuille 2/3)



Solution actuellement retenue pour la réalisation de l'alésage Ø 55 H6

Opération	Type d'outil 	Ø obtenu
Perçage (ébauche)	Foret à plaquettes indexables Ø 45 Type CoroDrill®880 	Ø 45 ^{+0.30} ₀
Alésage (1/2 finition)	Outil d'alésage à 3 plaquettes indexables Type Corobore® BR30 	Ø 54,4 H9
Alésage (finition)	Outil d'alésage micrométrique Type Corobore®825 	Ø 55 H6

Caractéristiques des forets à plaquettes indexables type CoroDrill®880

- queue cylindrique avec méplat selon ISO 9766 ;
- adduction interne de liquide de coupe.

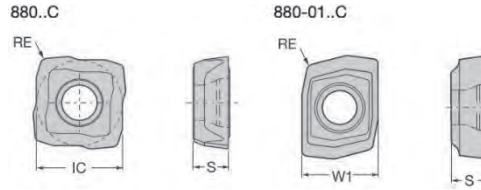


DC (mm)	Plaquette centrale	Plaquette périphérique	Référence de commande	DCON (mm)	LU (mm)	LF (mm)	LB ₁ (mm)	OAL (mm)	PL (mm)	KAPR (°)	Vitesse de rotation (tr·min ⁻¹)
45,00			880-D4500L40-02	40,00	90,00	126,22	95,00	197,00	0,77	88	15 000
			880-D4500L40-03	40,00	135,00	171,22	140,00	242,00	0,77	88	15 000
			880-D4500L40-04	50,00	180,00	216,26	185,00	297,00	0,77	88	9 000

DT12 – Éléments de fabrication retenus pour la pré-série (feuille 3/3)

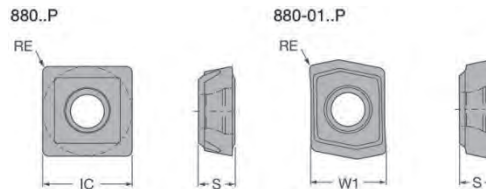
Caractéristiques des plaquettes pour foret CoroDrill® 880

Plaquette centrale



INSUC	Référence de commande	Dimensions, mm									
		P	M	K	N	S	H				
		1044	1044	1144	1044	1044	1044	S	RE	IC	W1
08C	C 880-08 05 08H-C-GM	☆	☆	☆	☆	☆	☆	★	4.50	0.80	14.9
	C 880-08 05 08H-C-LM	★	☆	★	☆	☆	★	☆	4.50	0.80	14.9

Plaquette périphérique



INSUC	Référence de commande	Dimensions, mm																
		P	M	K	N	S	H	S	RE	IC	W1							
		4324	4334	4344	2044	4334	4344	4324	4334	4344	4334	4344	4334	4344	S	RE	IC	W1
08P	P 880-08 05 W08H-P-GM	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	★	4.50	0.80	15.5
	P 880-08 05 W10H-P-LM	☆	★	☆	☆	☆	☆	★	☆	☆	☆	★	☆	☆	☆	4.50	1.00	15.5
	P 880-08 05 W10H-P-MS	☆	☆	☆	★	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	4.50	1.00	15.5

Tableau de correspondance matériau usiné / caractéristiques du foret

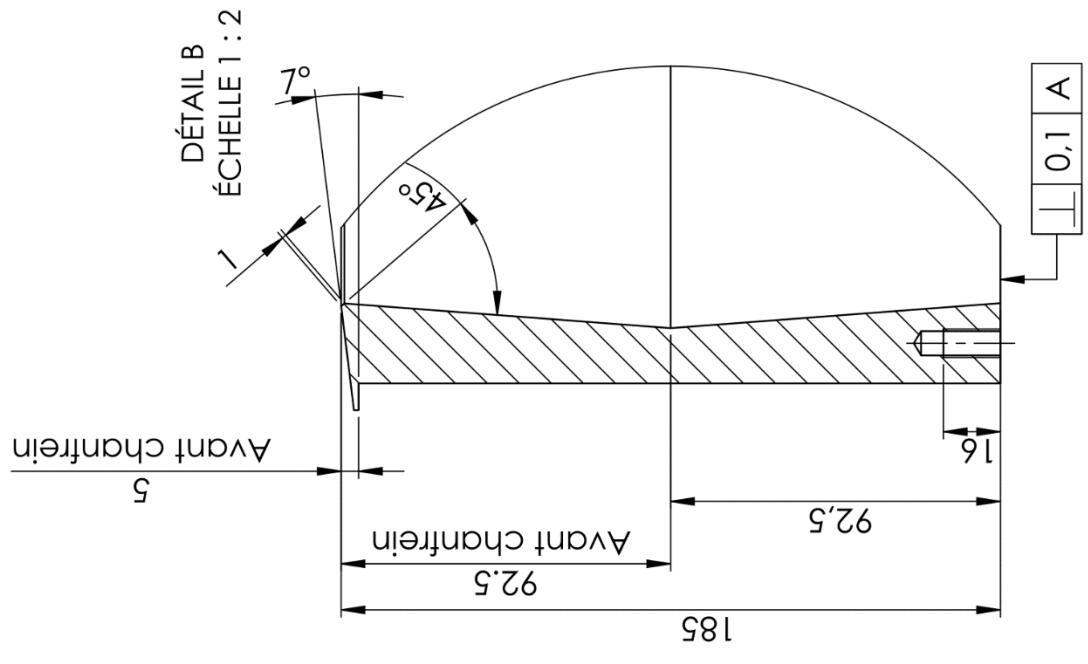
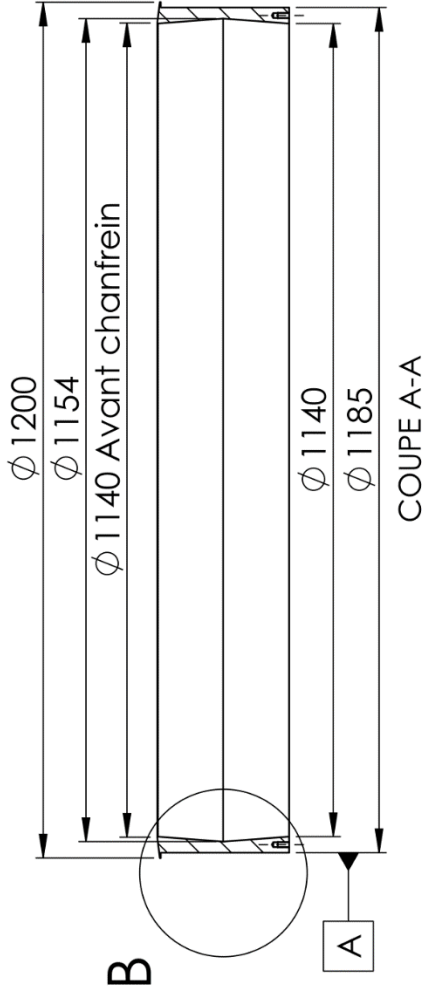
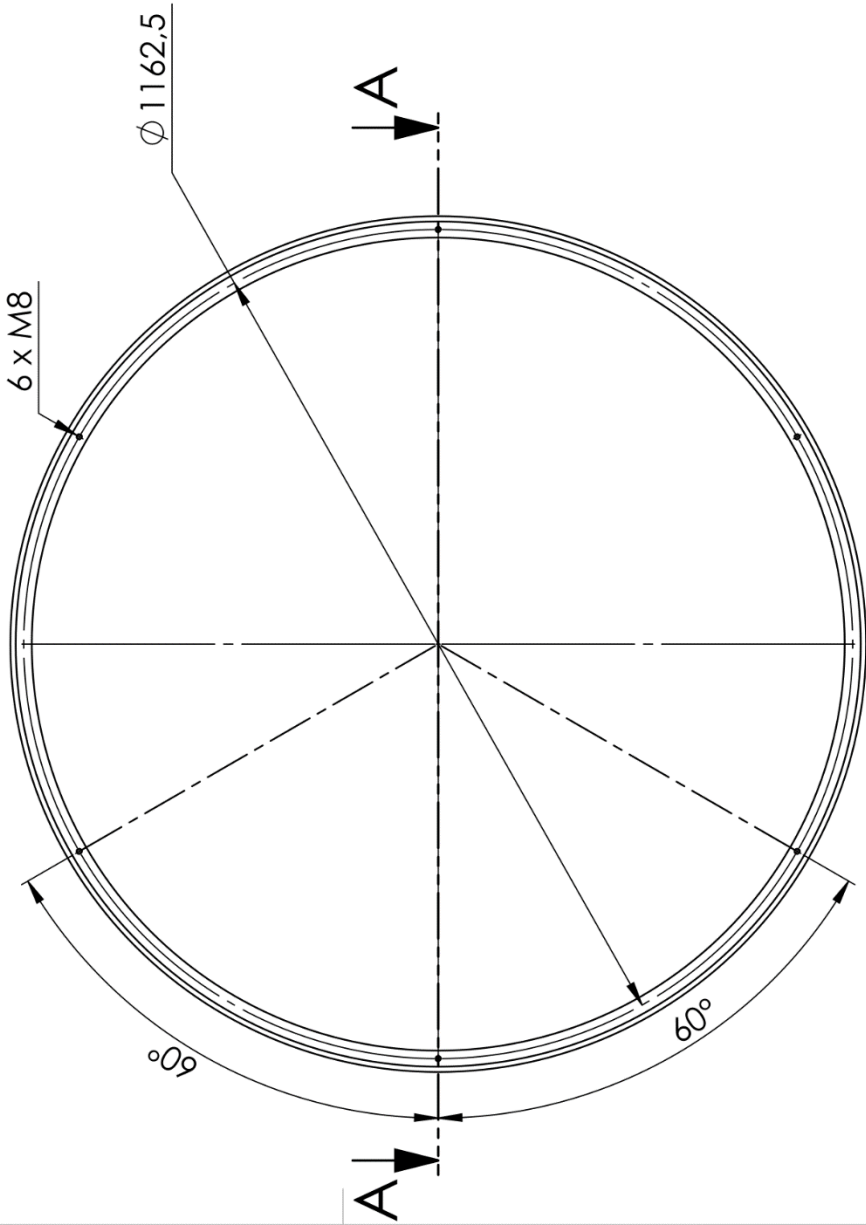
ISO	MC No.	Matériau	Dureté Brinell HB	Nuance	Vitesse de coupe (m/min)	Diamètre du foret DC mm	Géométrie/ avance (f _r , mm/tr)		
							Profondeur de perçage 2-3xD		
							-LM	-MS ¹⁾	-GM
M	P5.0.Z.AN (05.11)	Acier inoxydable ferritique/martensitique 13-25 % Cr	150-270	4324	120-280	12.00-13.99	0.04-0.12	0.04-0.12	0.04-0.08
					115-225	14.00-16.49	0.04-0.14	0.04-0.14	0.04-0.08
					115-175	16.50-19.99	0.06-0.16	0.06-0.16	0.04-0.08
					115-165	20.00-23.99	0.06-0.18	0.06-0.18	0.06-0.14
						24.00-29.99	0.06-0.18	0.06-0.18	0.06-0.16
						30.00-35.99	0.06-0.20	0.06-0.20	0.06-0.16
	M1.0.Z.AQ (05.21)	Austénitique Ni > 8%, 13-25% Cr	150-275	4324	120-265	12.00-13.99	0.04-0.12	0.04-0.12	0.04-0.08
					115-225	14.00-16.49	0.04-0.14	0.04-0.14	0.04-0.08
					115-190	16.50-19.99	0.06-0.14	0.06-0.14	0.04-0.08
					115-180	20.00-23.99	0.06-0.16	0.06-0.16	0.06-0.12
						24.00-29.99	0.06-0.16	0.06-0.16	0.06-0.16
						30.00-35.99	0.06-0.18	0.06-0.18	0.06-0.16
M3.1.Z.AQ (05.51) M3.2.Z.AQ (05.52)	Austénitique/Ferritique (Duplex)	200-320	4324	90-155	12.00-13.99	0.04-0.12	0.04-0.12	0.04-0.08	
				85-145	14.00-16.49	0.04-0.14	0.04-0.14	0.04-0.08	
				85-130	16.50-19.99	0.06-0.14	0.06-0.14	0.04-0.08	
				85-125	20.00-23.99	0.06-0.16	0.06-0.16	0.06-0.12	
					24.00-29.99	0.06-0.16	0.06-0.16	0.06-0.12	
					30.00-35.99	0.06-0.18	0.06-0.18	0.06-0.16	

Remarque : le texte en gras correspond à la géométrie recommandée

¹⁾ La géométrie -MS n'est disponible que dans la nuance GC2044

Le GC1044 est une nuance universelle pour la plaquette centrale, quelle que soit la matière

GC1144 est une nuance de plaquette centrale optimisée pour les matières ISO M

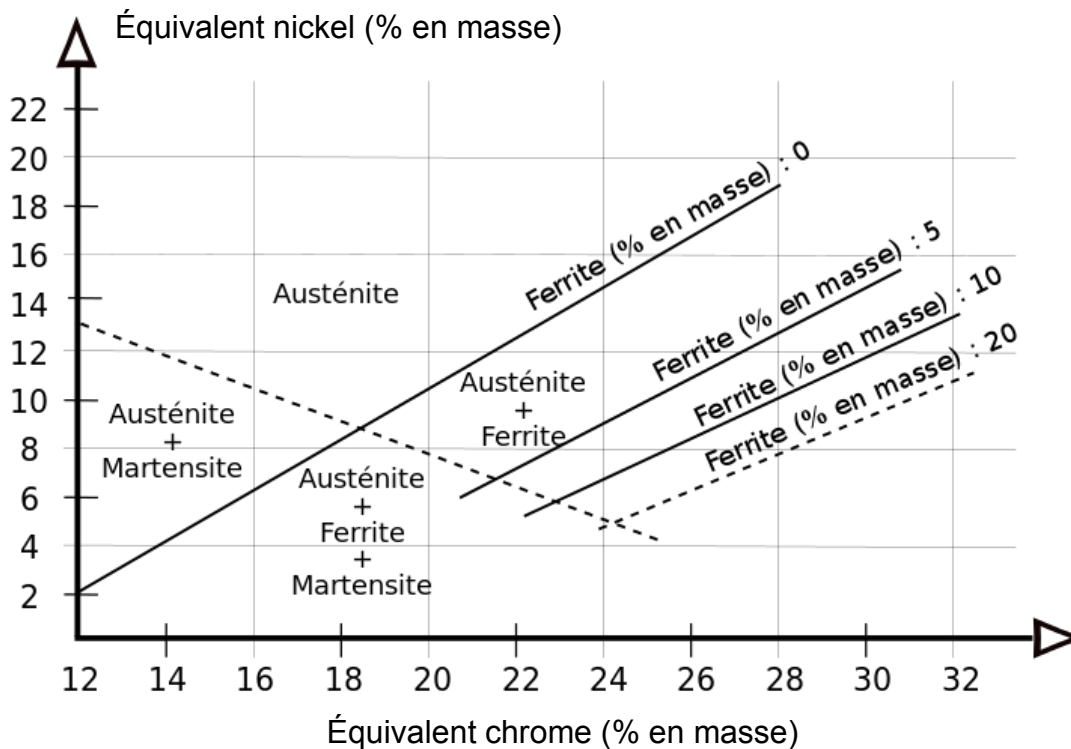


Échelle : 1 : 10		matière : X2 Cr Ni 18 09		Tolérance générale ISO2768 -mK	
A4 H		Cuve		DT13	

DT14 – Diagramme de Pryce et Andrew

Pour les produits laminés, il existe le **modèle de Pryce et Andrew** donnant les équations suivantes :

- chrome équivalent : $(\% Cr)_{eq} = (\% Cr) + 3 \times (\% Si) + (\% Mo)$
- nickel équivalent : $(\% Ni)_{eq} = (\% Ni) + 0,5 \times (\% Mn) + 21 \times (\% C) + 11,5 \times (\% N)$

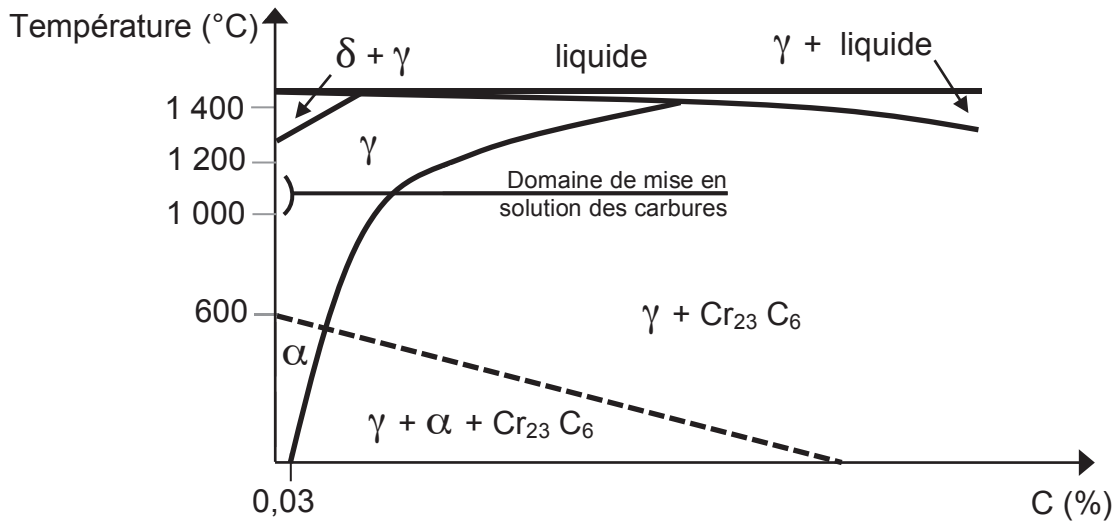


DT15 – Structures cristallines des aciers inoxydables

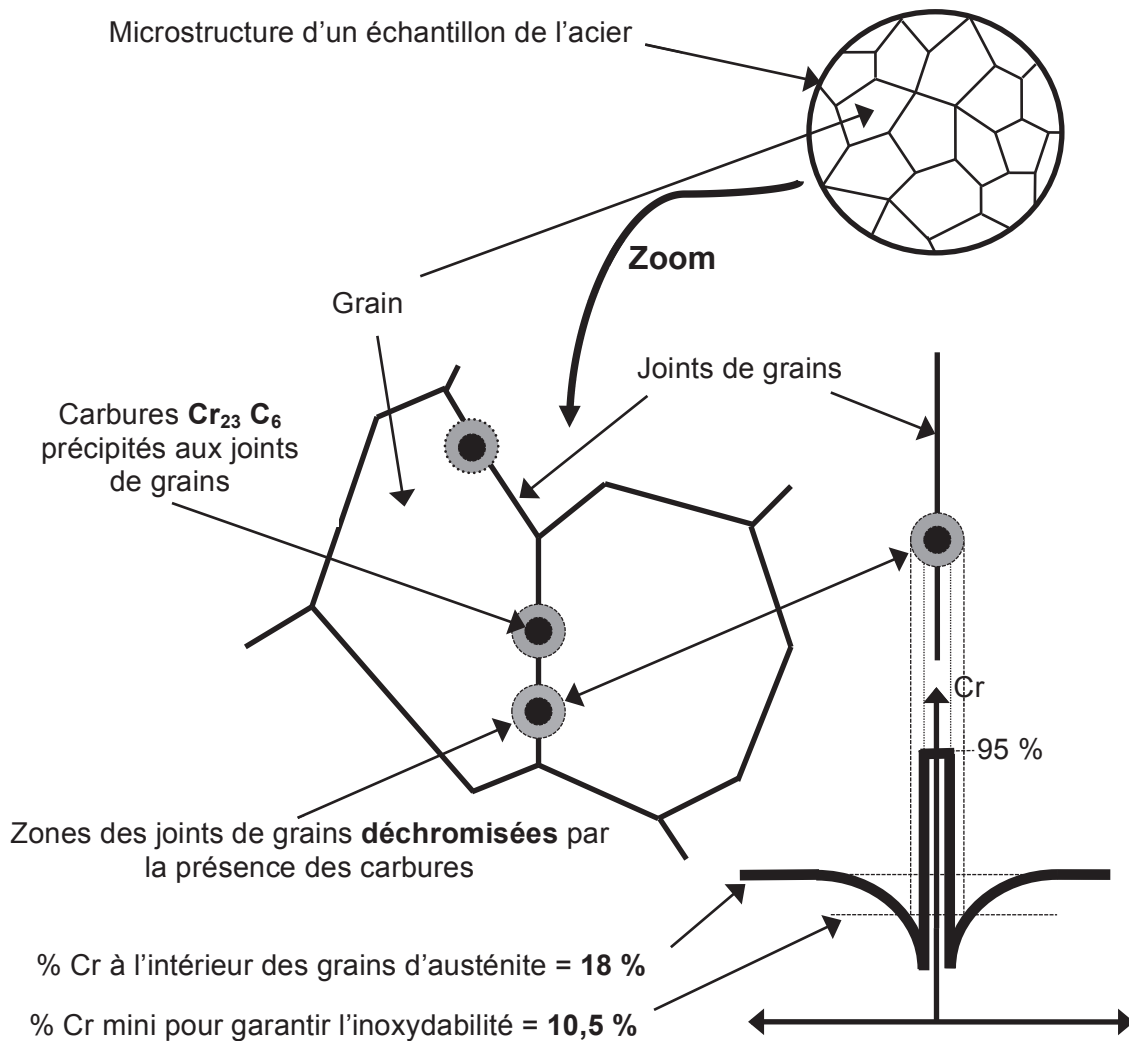
La classification ci-après est fondée sur la structure cristalline. On peut ainsi distinguer le plus couramment :

- Les aciers inoxydables **martensitiques** : ce sont des aciers contenant de 12 à 18 % de chrome, de teneur en carbone assez élevée (jusqu'à 1,2 %). Ils présentent une résistance à la corrosion modérée, un allongement à la rupture faible et des caractéristiques mécaniques élevées. Ces aciers sont magnétisables.
- Les aciers inoxydables **ferritiques** : ce sont des aciers à faible teneur en carbone dont la structure est ferritique. La résistance à la corrosion s'améliore avec l'augmentation de la teneur en chrome. Les aciers inoxydables ferritiques disposent de bonnes caractéristiques mécaniques. Leur limite d'élasticité est plus importante que celle des austénitiques. Il faut aussi signaler leur plus faible coefficient de dilatation ($12 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$), leur plus grande conductivité thermique, leur insensibilité à la corrosion sous contrainte. Ces aciers sont magnétisables.
- Les aciers inoxydables **austénitiques** : ce sont des aciers dont la structure est austénitique à température ambiante. Ils allient une grande ductilité et une résistance à la corrosion satisfaisante dans de très nombreux milieux (mais pas, sans entretien, en milieu marin). Une grande stabilité structurale permet leur utilisation à hautes températures (échangeurs de chaleur) et aux basses températures (stockage de gaz liquéfié). Ces aciers ne sont pas magnétisables.

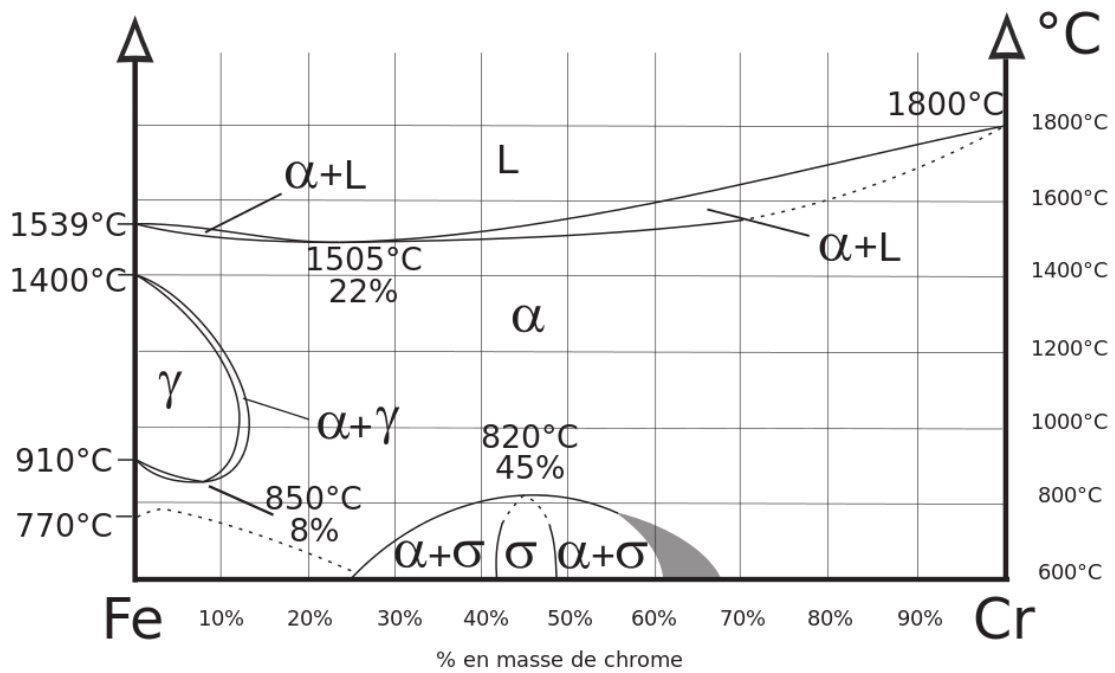
DT16 – Diagramme d'équilibre fer-carbone à 18 % de Cr et 9 % de Ni



DT17 – Corrosion inter granulaire

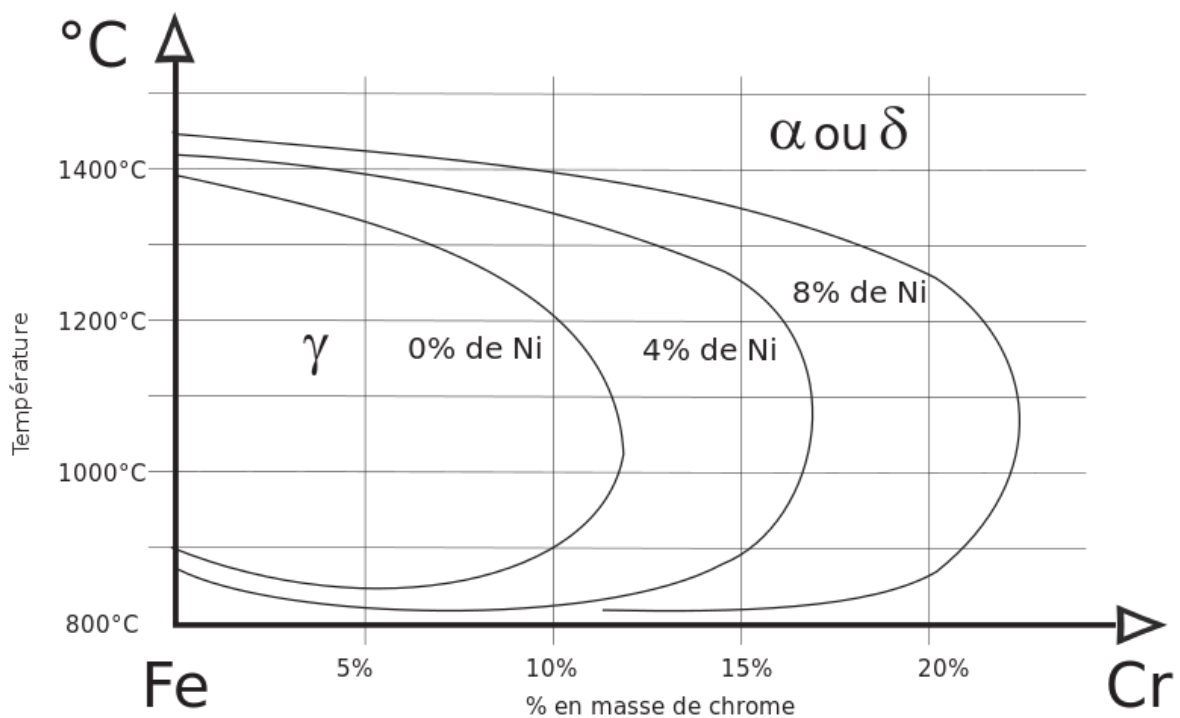


DT18 – Diagramme de phase fer-chrome



DT19 – Coupe du diagramme de phase ternaire Fe-Cr-Ni

Ce diagramme montre l'évolution du domaine austénitique γ en fonction de la teneur en nickel.



DR - DOCUMENTS RÉPONSES

DR1 : éléments du modèle et grandeurs associées
DR2 : tableau d'analyse des antériorités
DR3 : évolution de la cotation du Ø55H6 de l'axe de cuve
DR4 : gamme de fabrication de l'axe de cuve (<i>2 feuillets</i>).

Tous les documents réponses sont à rendre, même non complétés

Modèle CMEN-DOC v2 ©NEOPTEC

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription : **Né(e) le :** / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : **Section/S spécialité/Série :**

Epreuve : **Matière :** **Session :**

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

EAI SIM 2

DR2

**Tous les documents réponses sont à rendre,
même non complétés.**

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR2 – Tableau d'analyse des antériorités

Questions 5.1 et 5.3

Analyse des antériorités fonctionnelles et/ou de position			Antériorités			Caractéristiques			
IDENTIFICATION DES SURFACES DU MODÈLE	Fonction technique assurée	Surfaces ou groupes de surfaces fonctionnels	Primaire	Secondaire	Tertiaire	Intrinsèques	De contact		
<p>Vues du modèle</p>	MIP par le parent								
	Appui plan	SC1	Surface appui plan				Planéité		
	Centrage court	SC2	Surface cylindrique	SC1	Perpendiculaire		Diamètre et longueur		
	Hauteur de centrage	SL5	Surface plane	SC1	Parallèle et distant		Planéité		
	MAP par le parent								
	Orientation et maintien	GC1	Trou taraudé	SC1	Perpendiculaire	SC2	Parallèle et distant	Diamètre, taraudage et distance entre trous	
	MIP couronne d'orientation								
	MAP couronne d'orientation								
	MIP plateau								
	Assurer le passage du plateau								
	Garantir l'étanchéité								
Garantir une résistance									
Hauteur	SL4	Plan garantissant les guidages	SL5	Parallèle et distant					
Épaisseur	SL3	Surface cylindrique					Diamètre et cylindricité		

Feuille d'analyse préparatoire à la spécification de composants

Fonction technique assurée : mise en position (MIP), maintien en position (MAP), passage d'autres pièces, rigidité de la pièce, ...

S = surface libre
SC = surface de contact
SB = surface brute

G = groupe des surfaces libres
GC = groupe des surfaces de contact
GB = groupe des surfaces brutes

Caractéristiques intrinsèques : spécifications de forme, Diamètre, distance interne dans le groupe

Caractéristiques de contact : Voir tableau rugosité, traitements de surface

Modèle CMEN-DOC v2 ©NEOPTEC

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription : **Né(e) le :** / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : **Section/S spécialité/Série :**

Epreuve : **Matière :** **Session :**

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

EAI SIM 2

DR4 (1/2)

**Tous les documents réponses sont à rendre,
même non complétés.**

DR4 – Gamme de fabrication de l'axe de cuve (feuille 1/2)

Question 5.8

Phase :	Machine :
Croquis :	Mise en position : Maintien en position : Justifications :
Phase :	Machine :
Croquis :	Mise en position : Maintien en position : Justifications :



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Modèle CMEN-DOC v2 ©NEOPTEC

Nom de famille : (Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Inscription : **Né(e) le :** / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : **Section/S spécialité/Série :**

Epreuve : **Matière :** **Session :**

CONSIGNES

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

EAI SIM 2

DR4 (2/2)

**Tous les documents réponses sont à rendre,
même non complétés.**

DR4 – Gamme de fabrication de l'axe de cuve (feuille 2/2)

Question 5.8 (suite)

Phase :	Machine :
Croquis :	Mise en position : Maintien en position : Justifications :
Phase :	Machine :
Croquis :	Mise en position : Maintien en position : Justifications :

