

SESSION 2024

---

**CAPET**  
**CONCOURS EXTERNE ET CAFEP CORRESPONDANT**  
**ET TROISIEME CONCOURS**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR**

**Option : INGÉNIERIE MÉCANIQUE**

**ÉPREUVE ÉCRITE DISCIPLINAIRE**

Durée : 5 heures

---

*Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.*

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

*Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.*

*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. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.**

**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 externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D E	1 4 1 4 E	1 0 1	9 3 1 1

► **Concours externe du CAFEP/CAPET de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D F	1 4 1 4 E	1 0 1	9 3 1 1

► **Troisième concours externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D V	1 4 1 4 E	1 0 1	9 3 1 1





Ce sujet contient 37 pages

Questionnement : 16 pages

Dossier technique : 13 pages (DT1 à DT13)

Dossier réponse : 8 pages (DR1 à DR8) **à rendre avec les feuilles de copie**

La quasi-totalité des pays industrialisés sont équipés de stations d'épuration afin de traiter les eaux usées domestiques et urbaines. Le traitement de ces eaux usées répond à de nombreuses problématiques :

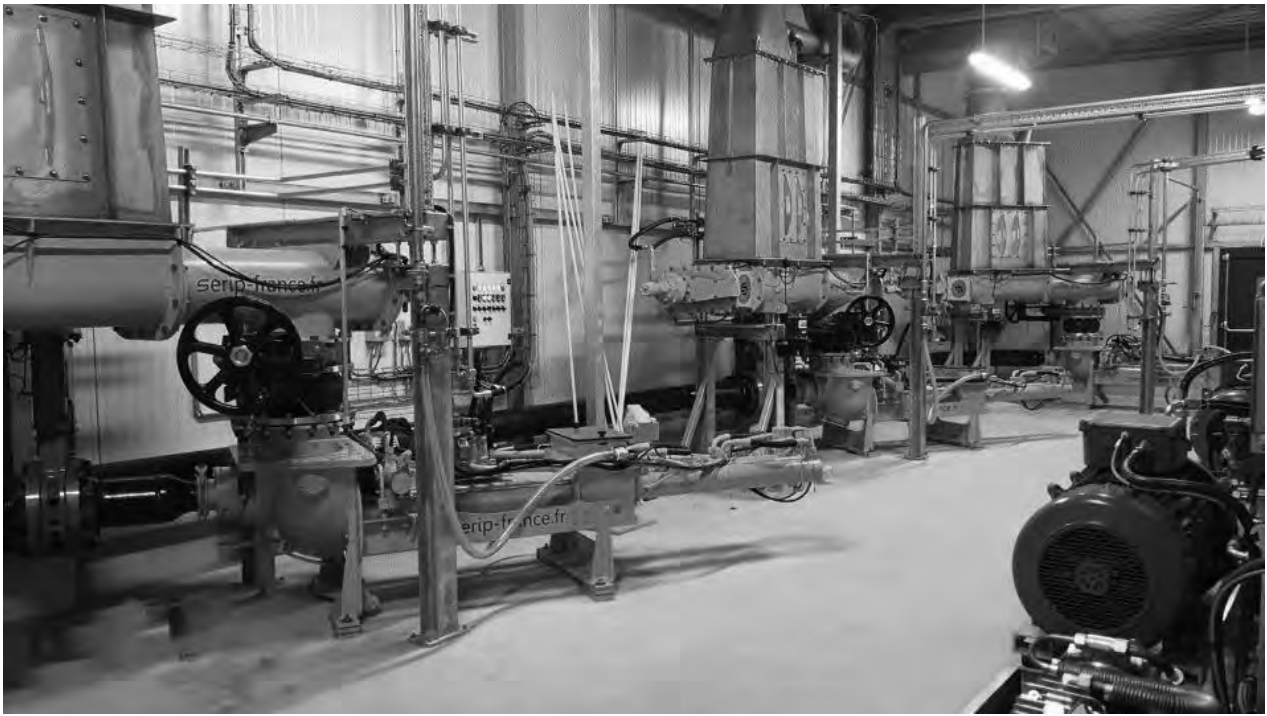
- la protection de l'environnement : les eaux usées non traitées peuvent contenir des produits chimiques, des micro-organismes pathogènes et des matières organiques qui peuvent contaminer les rivières, les lacs et les océans ;
- la protection de la santé publique : les eaux usées non traitées peuvent contenir des maladies et des infections dangereuses pour la santé humaine. Les eaux usées traitées éliminent la plupart des bactéries, virus et autres agents pathogènes dangereux, réduisant ainsi le risque de propagation de maladies ;
- la réduction de la demande en eau potable : le traitement des eaux usées permet de produire de l'eau recyclée qui peut être substituée à l'eau potable pour l'irrigation, le lavage de voitures, le nettoyage des rues, etc.
- la préservation des ressources naturelles : le traitement des eaux usées permet de récupérer des nutriments et d'autres ressources qui peuvent être réutilisées telles les boues d'épuration épandues comme engrais pour les cultures agricoles, réduisant ainsi la dépendance aux engrais chimiques.



*Figure 1 – Station d'épuration*

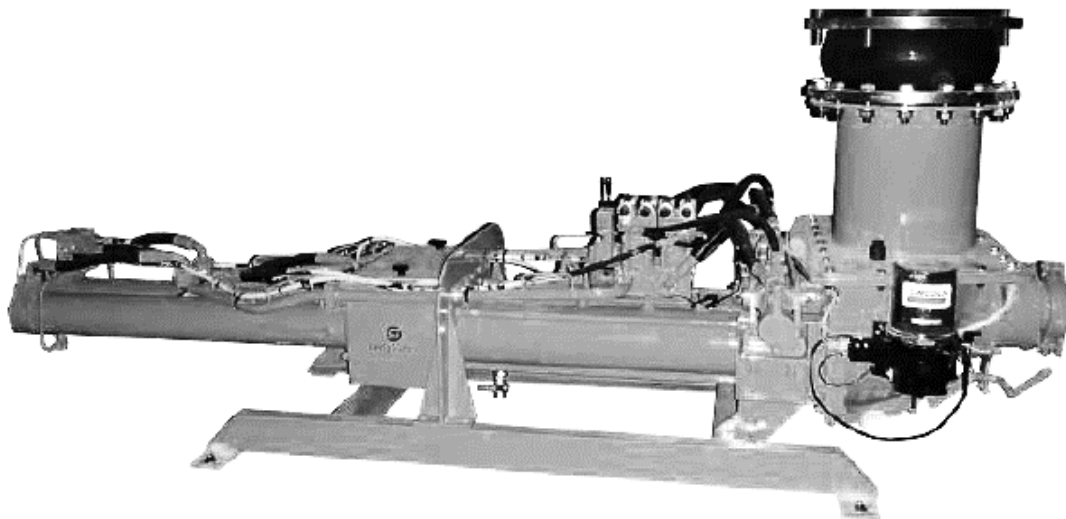
Le traitement des eaux usées génère une quantité importante de boues. La plupart de ces boues font l'objet de valorisation et doivent être déplacées de postes en postes parfois éloignés de plusieurs centaines de mètres selon la configuration et la taille de la station d'épuration.

L'entreprise SERIP-FRANCE est une spécialiste dans l'ingénierie du transport et du stockage des boues de station d'épuration. SERIP-FRANCE développe et fabrique une gamme complète de pompes à pistons dédiées au transport de boues.



*Figure 2 – Pompes à pistons en situation*

Une des solutions techniques les plus courantes pour le transport des boues est la pompe à doubles pistons. Inspirée des pompes à béton, la pompe à doubles pistons permet de faire circuler en toute sécurité les matières à consistance pâteuse telles que les boues urbaines déshydratées, les boues hétérogènes, etc.

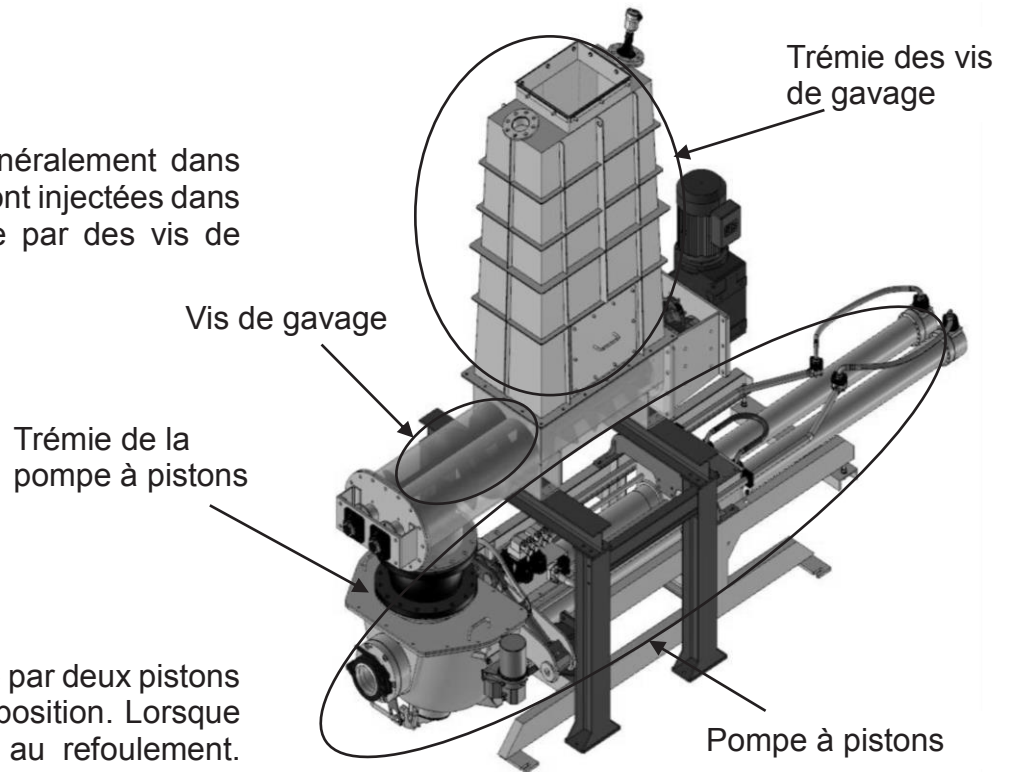


*Figure 3 – Pompe à double piston SERIP (sans trémie)*

Les pressions de refoulement élevées permettent de transporter les produits sur de longues distances et s'adaptent à la configuration de toutes les installations. L'énergie hydraulique de pilotage permet une conduite en souplesse, en limitant les à-coups et en toute sécurité.

Ce type de pompe permet de délivrer 150 bars en sortie en régime nominal.

Les boues arrivent généralement dans une grande trémie et sont injectées dans la trémie de la pompe par des vis de gavage.



Le pompage est réalisé par deux pistons qui fonctionnent en opposition. Lorsque l'un aspire l'autre est au refoulement. Afin d'évacuer la boue d'un cylindre puis de l'autre, un « tube S » se positionne successivement en face de chacun d'entre eux. Le positionnement du « tube S » est réalisé par un sous-ensemble d'inversion actionné par deux vérins hydrauliques (voir DT4 à DT6).

Figure 4 – Mise en situation de la pompe double piston

Du fait de la technologie choisie, le refoulement de la pompe est pulsatoire. Un déplacement rapide du « tube S » est nécessaire afin d'atténuer la pulsation.

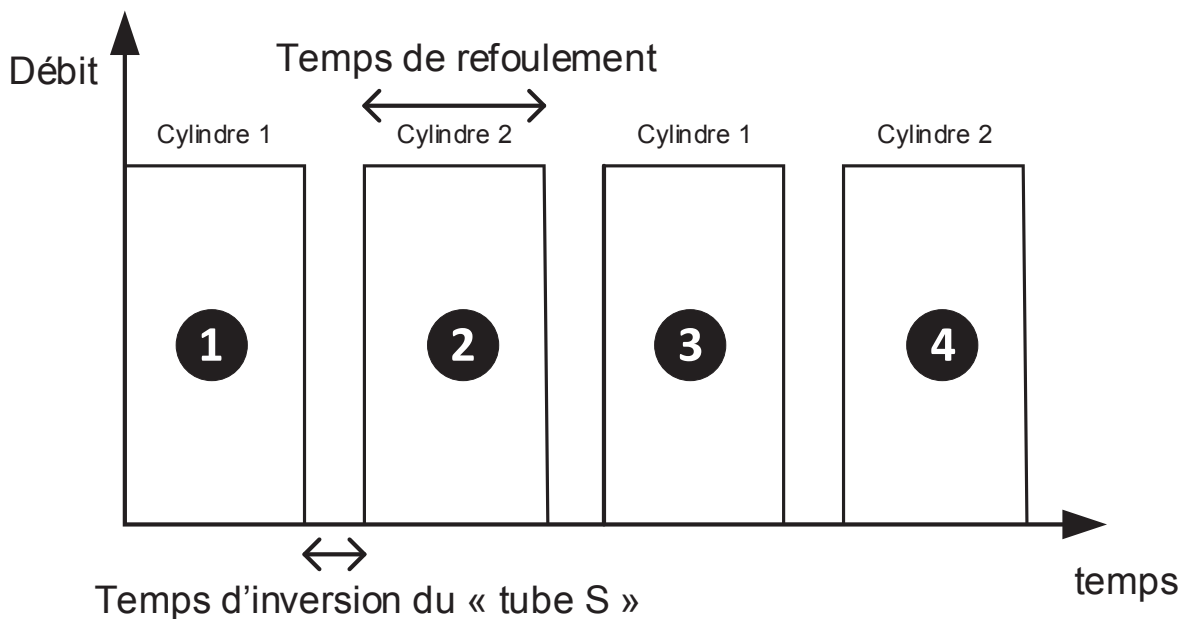


Figure 5 – Débit de refoulement de la pompe double piston



La commande des actionneurs et la synchronisation de ceux-ci sont réalisées par un groupe hydraulique ayant une pression de fonctionnement maximale limitée à 250 bars.

En cas de blocage, ou pour décompresser la tuyauterie de refoulement pour la maintenance, les distributeurs hydrauliques de la pompe autorisent une inversion de pompage.

Une boîte à eau assure la lubrification et le rinçage arrière des cylindres et des pistons. Les boues étant très abrasives et corrosives, la surveillance de l'absence de boue dans les eaux de rinçage permet le contrôle de l'usure des pistons de pompage.

## Partie 1 – Étude générale du système

**Problématique : valider les caractéristiques générales du cahier des charges de la pompe à double piston.**

### Étude de la fonction « garantir l'acheminement de la boue vers un poste de traitement »

**Question 1 -** Compléter les quatre schémas du DR1 en indiquant le cheminement de la boue par des flèches (verte pour l'aspiration, rouge pour le refoulement).

**Question 2 -** Sur le DR1, pour chaque phase de fonctionnement, indiquer par des flèches bleues les mouvements des deux pistons et du « tube S » et compléter le nom des phases en s'inspirant de l'exemple de la phase 1.

**Question 3 -** À l'aide des documents DT2 à DT6, compléter le schéma cinématique de la pompe à double pistons ébauché sur le DR2.

**Question 4 -** À partir des documents DT3 à DT6, calculer la cylindrée de la pompe à pistons et vérifier sa conformité avec le diagramme des exigences.

**Question 5 -** Sachant que l'on désire un débit de  $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  en sortie de pompe, calculer le nombre de cycles par heure nécessaires pour garantir ce débit.

**Question 6 -** En déduire  $t_c$  le temps maximum pour un cycle de pompage.

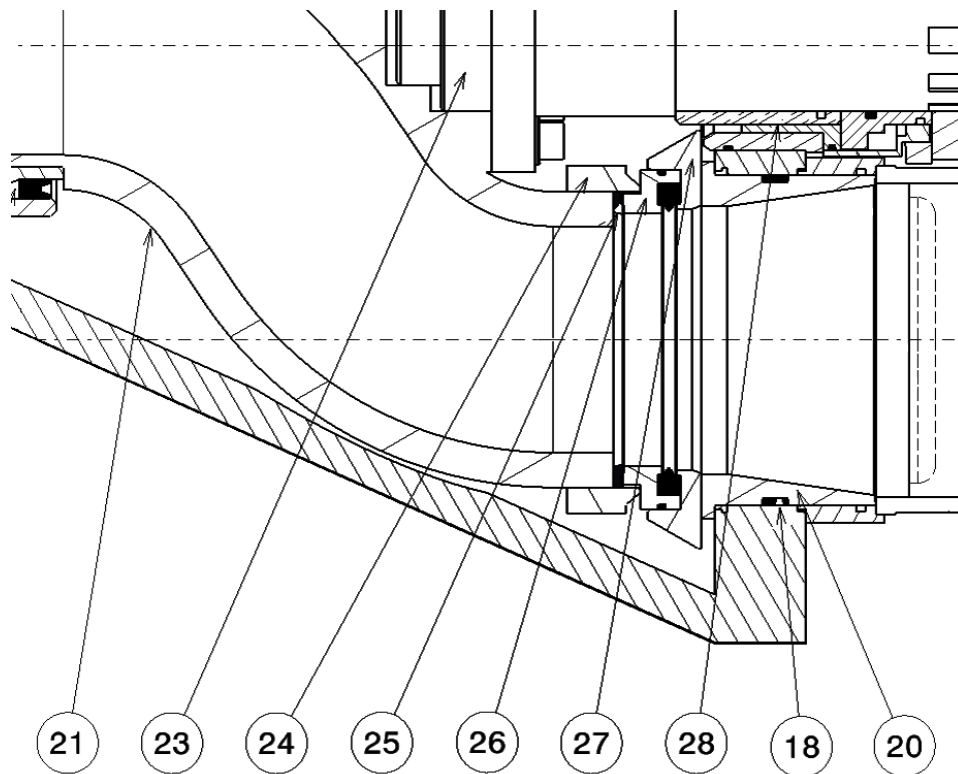
**Question 7 -** Sachant que le temps de basculement du « tube S » ne doit pas dépasser 10% du temps de cycle, en déduire  $t_b$  le temps maximum d'un basculement. Indiquer de manière qualitative si le temps maximum d'un basculement est un objectif atteignable avec la technologie utilisée ?

### Étude de la fonction « garantir la non pollution de l'environnement »

**Question 8 -** Sur feuille de copie, à l'aide des DT4 à DT6, expliquer comment sont réalisées les étanchéités suivantes :

- étanchéité entre l'ensemble tube S et la trémie côté évacuation (**08, 22, 36**) ;
- étanchéité entre l'ensemble tube S et la trémie côté système d'inversion (**01, 09**) ;
- étanchéité entre les tubes d'aspiration/refoulement et la trémie (**01, 20**).

**Question 9 -** L'efficacité de l'étanchéité entre le « tube S » **21** et la bague de coupe **20** est liée à la valeur de la pression de refoulement des boues. Expliquer succinctement comment est réalisé ce lien à l'aide de l'extrait de plan figure 6.



*Figure 6 – Extrait du DT4  
détail du système d'étanchéité « tube S » 21 / bague de coupe 20*

Étude de la fonction « garantir un bon fonctionnement »

**Question 10 -** Indiquer la ou les fonctions assurées par « la boîte à eau » et expliquer son intérêt.

## Partie 2 – Étude de l'installation hydraulique

**Problématique :** le système de commande hydraulique doit garantir la synchronisation des différents actionneurs et permettre une conduite de l'installation sans à-coup et en toute sécurité.

**Objectif :** identifier les composants et fonctions du schéma hydraulique et valider les interdépendances réalisant la synchronisation.

**Question 11 -** Sur le DR3, surligner en rouge, sur les conduites de puissance, le trajet du fluide hydraulique dans la phase « Vérin de pompage 2 » en refoulement, pour l'alimentation des différents actionneurs.

**Question 12 -** Sur le DR3, surligner en vert les conduites de pilotage mises en pression lorsque le « vérin de pompage 2 » est arrivé en bout de course. Préciser l'état du clapet logique 1.

**Question 13 -** Sur le DR4, surligner en bleu, sur les conduites de puissance, le trajet du fluide hydraulique dans la phase d'inversion du « tube S », pour l'alimentation des différents actionneurs.

**Question 14 -** Sur le DR4, surligner en vert les conduites de pilotage mises en pression lorsque le « vérin d'inversion 1 » arrive en bout de course.

**Question 15 -** Résumer succinctement le fonctionnement global du système. Vous préciserez notamment comment est garantie la synchronisation des divers mouvements.

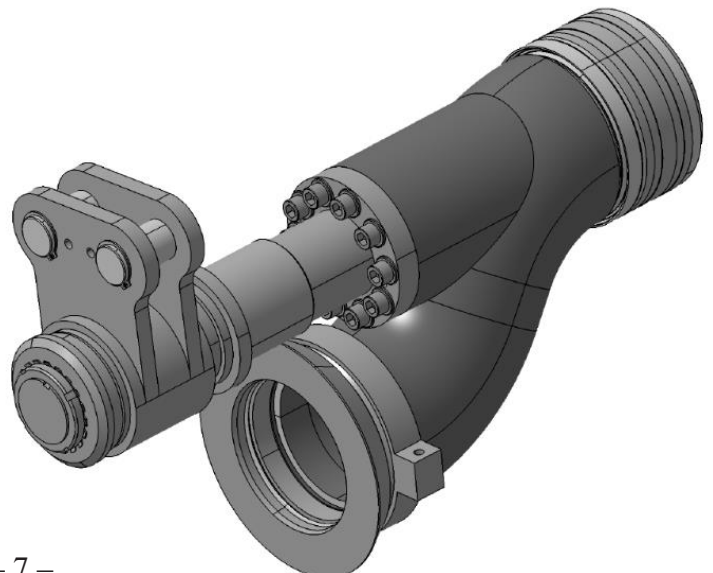
## Partie 3 – Étude du mouvement de l'« ensemble tube S »

**Problématique :** la position du « tube S » 21 est un des points clés qui permet d'assurer la fonction « garantir l'acheminement vers un poste de traitement ». En cas de mauvais positionnement de celui-ci, l'ensemble des boues collectées dans un tube risque de ne pas être évacué dans sa totalité et dégrader la capacité de pompage du système et user prématurément l'anneau aval 27.

**Objectif :** vérifier la course des vérins d'inversion et analyser le mécanisme de réglage.

Données : les vérins utilisés sont des vérins hydrauliques CICROSA Hidraulica de référence 704/2 (voir DT8).

l'« ensemble tube S » est constitué des pièces {21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 33, 35, 38, 39} (voir DT4 à DT6 et vue ci-contre)



**Question 16 -** À l'aide du DR5, déterminer l'angle de rotation du « tube S » **21** entre les deux positions extrêmes de refoulement.

**Question 17 -** Sur le DR5, déterminer et tracer la position des points A<sub>2</sub> et B<sub>2</sub> correspondant à la position extrême n°2.

**Question 18 -** En déduire la course minimum nécessaire pour les vérins d'inversion 63-64.

La rotation du tube est arrêtée lorsque le vérin d'inversion en fermeture arrive en butée de fin de course tige rentrée.

**Question 19 -** En déduire la longueur du vérin d'inversion en position totalement rentré.

**Question 20 -** À l'aide du DT8, vérifier que les vérins choisis conviennent.

L'alignement du « tube S » **21** avec l'axe de la bague de coupe **20** doit être le plus précis possible afin d'éviter une usure prématurée des pièces du mécanisme (les boues sont souvent abrasives). Les plaques **48-13-14**, réglables suivant la direction  $\vec{y}_0$ , permettent d'obtenir un réglage fin de la position angulaire de l'ensemble d'inversion.

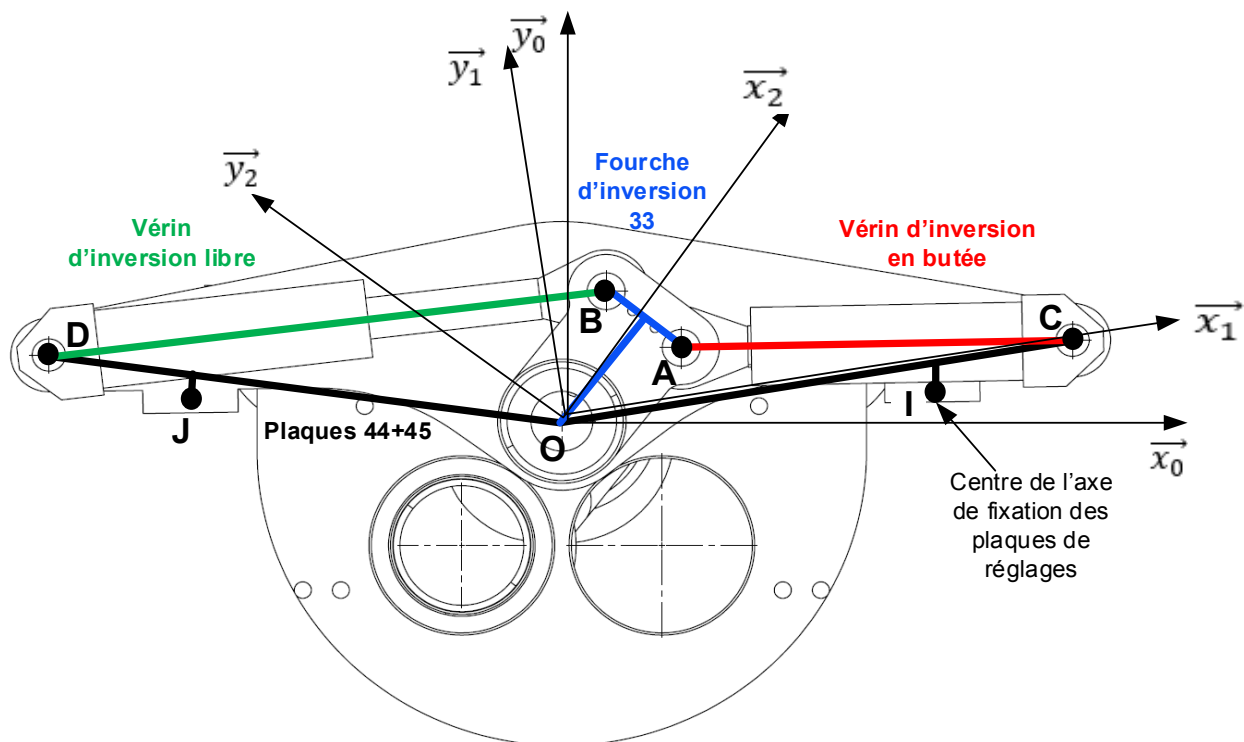


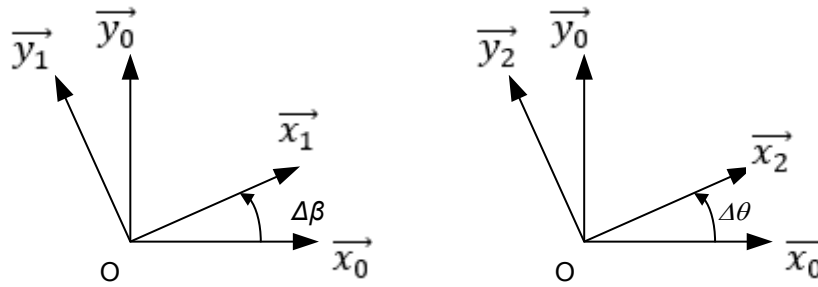
Figure 7 – Modélisation du système de réglage

Soit  $R_0 (O ; \vec{x}_0 ; \vec{y}_0 ; \vec{z}_0)$  le repère associé à l'ensemble fixe.

Soit  $R_1 (O ; \vec{x}_1 ; \vec{y}_1 ; \vec{z}_1)$  le repère associé à l'ensemble {Plaques **44+45**}.

Soit  $R_2 (O ; \vec{x}_2 ; \vec{y}_2 ; \vec{z}_2)$  le repère associé à l'ensemble {fourche d'inversion **33+23+21**}.

Les angles  $\Delta\beta$  et  $\Delta\theta$  sont les variations angulaires de positions durant la phase de réglage.



On note

$$\|\overrightarrow{OB}\| = \|\overrightarrow{OA}\| = 148,5 \text{ mm}$$

$$\|\overrightarrow{OI}\| = \|\overrightarrow{OJ}\| = 259 \text{ mm}$$

$$\|\overrightarrow{OD}\| = \|\overrightarrow{OC}\| = 543,5 \text{ mm}$$

$$\|\overrightarrow{DB}\| = 410 \text{ mm}$$

$$\overrightarrow{OI} \cdot \overrightarrow{y_0} = 30 + \Delta h \text{ avec } \Delta h \text{ le paramètre de réglage en hauteur}$$

**Question 21 -** Déterminer la relation entre l'angle de réglage  $\Delta\theta$  de rotation en fonction de la hauteur  $\Delta h$  de la position de la plaque. Sachant que la hauteur  $\Delta h$  a une variation possible de 20mm en déduire la plage angulaire de réglage possible.

**Question 22 -** Expliquer la procédure de réglage pour garantir l'alignement de l'ensemble tube S avec l'axe du cylindre de refoulement.

**Question 23 -** Sachant que le diamètre de sortie de la bague de coupe **20** est de 154 mm, que le diamètre d'entrée de l'anneau aval de coupe **27** est de 153 mm et que le rayon entre l'axe de rotation de l'« ensemble tube S » et l'axe de l'anneau aval de coupe **27** est de 171mm, conclure sur la capacité du système de réglage à assurer l'alignement désiré.

**Question 24 -** Lors du réglage de la coaxialité du tube en S par rapport à la bague de coupe **20**, des plaques en élastomère **13** sont insérées et précontraintes. Indiquer la fonction technique de ces plaques élastomères **13**.

En fonctionnement, il a été mesuré une déformation de ces plaques allant jusqu'à 1mm sur l'épaisseur (selon la direction  $\vec{y}_0$ ). Déterminer numériquement l'influence de cette déformation sur l'alignement du tube en S avec le tube de refoulement

## Partie 4 – Étude du déplacement de l'« ensemble tube S »

**Problématique :** le temps de déplacement de l'« ensemble tube S » doit être le plus petit possible pour assurer un débit en sortie le plus régulier possible.

**Objectif :** valider le dimensionnement des vérins d'inversion et vérifier que le temps d'inversion est conforme au diagramme des exigences.

À l'aide d'un logiciel CAO, on donne la matrice d'inertie de l'« ensemble tube S » plein de boue exprimée dans le repère ( $S_0, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z}$ ).

Moments d'inertie : (grammes \* millimètres carrés)  
Exprimés dans le repère ( $S_0, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z}$ ).

$I_{xx} = 16579733711.62$	$I_{xy} = -40815814.42$	$I_{xz} = -88410841.54$
$I_{yx} = -40815814.42$	$I_{yy} = 15905080491.88$	$I_{yz} = 1480302346.01$
$I_{zx} = -88410841.54$	$I_{zv} = 1480302346.01$	$I_{zz} = 1069167278.58$

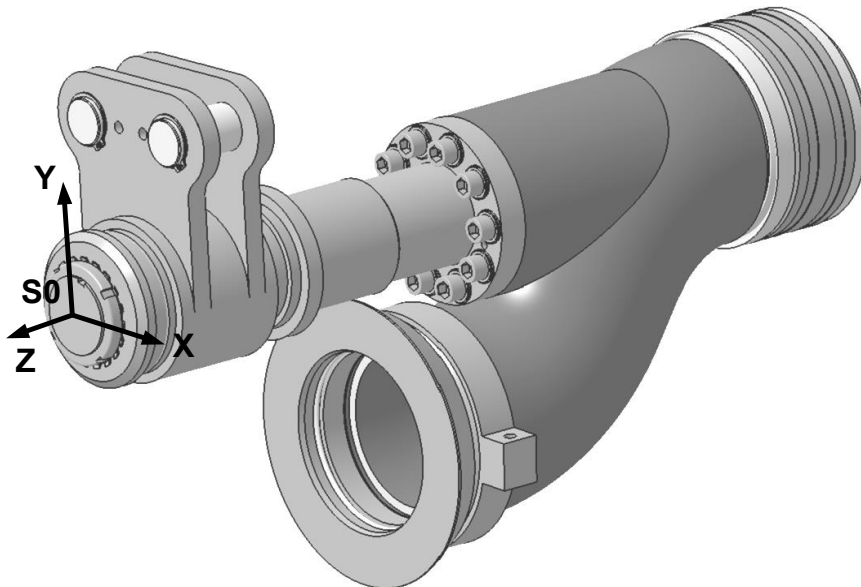


Figure 8 – Matrice d'inertie de l'« ensemble tube S » rempli avec de la boue.

On isole l'« ensemble tube S ».

Hypothèses :

- le couple résistant de la boue à la rotation du « tube S » **21** est variable en fonction de la granulométrie des boues, de leurs hétérogénéités et des solides pouvant se trouver mélangés à la boue. Afin d'obtenir une modélisation pour de futures installations, l'entreprise a quantifié le couple résistant maximum et déterminé  $C_{r \max} = 3213,8 \text{ N}\cdot\text{m}$  ;
- le poids des pièces est négligé devant les efforts mis en jeu ;
- le frottement dû aux bagues de guidage est négligé devant les autres actions mécaniques ;
- on suppose que seul le vérin qui pousse réalise une action ;
- le vérin est alimenté sous une pression  $p = 150 \text{ bars}$  avec un taux de charge de 75%.

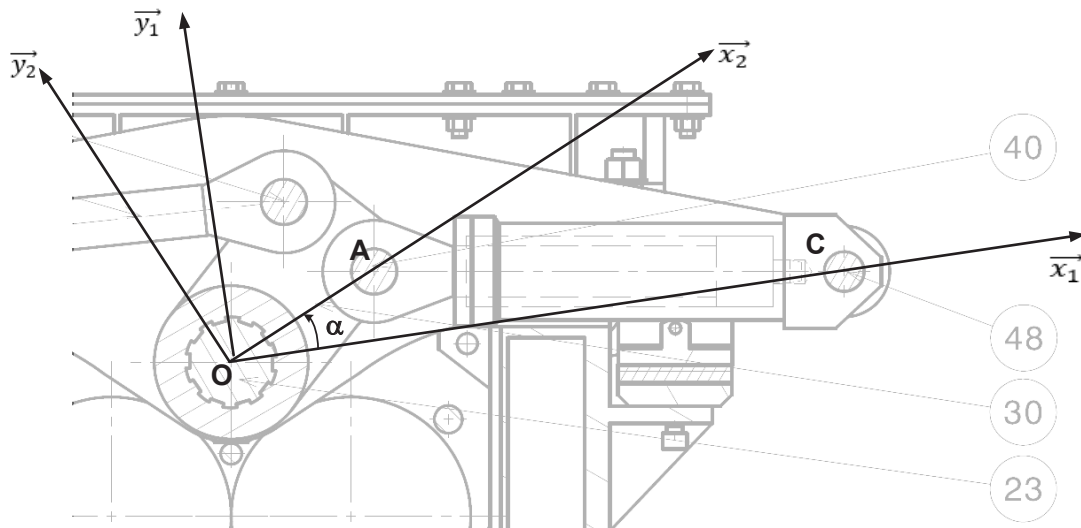


Figure 9 – Paramétrage retenu pour l'étude

Soit  $R_1 (O ; \vec{x}_1 ; \vec{y}_1 ; \vec{z}_1)$  le repère associé à l'ensemble {Plaques 44+45} fixe.

Soit  $R_2 (O ; \vec{x}_2 ; \vec{y}_2 ; \vec{z}_2)$  le repère associé à l'ensemble {fourche d'inversion 33 + 23 + 21}.

On notera  $\vec{OA} = R_1 \vec{x}_2$  et  $\vec{OC} = R_2 \vec{x}_1$

On supposera que l'ensemble « tube S » réalise une rotation de 78 degrés.

**Question 25 -** En remarquant que l'effort du vérin peut s'écrire  $\vec{F} = p_{\text{eff}} \cdot S \cdot \frac{\vec{CA}}{\|\vec{CA}\|}$  (avec  $p_{\text{eff}}$  la pression utile prenant en compte le taux de charge dans la chambre du vérin), exprimer le torseur des actions mécaniques exercées par le vérin sur l'ensemble « tube S » au point O.

**Question 26 -** Faire l'inventaire des actions mécaniques s'exerçant sur l'ensemble « tube S ». Exprimer les actions mécaniques sous forme de torseurs.

**Question 27 -** En appliquant le principe fondamental de la dynamique à l'« ensemble tube S », montrer que la relation liant l'accélération angulaire aux paramètres caractéristiques du mécanisme peut s'écrire sous la forme suivante :

$$R_1^2 \cdot R_2^2 \cdot \sin^2(\alpha) \cdot 0,75^2 \cdot p^2 \cdot S^2 = (I_{ZZ} \cdot \ddot{\alpha} + C_r)^2 \cdot (R_2^2 + R_1^2 - 2 \cdot R_2 \cdot R_1 \cdot \cos(\alpha))$$

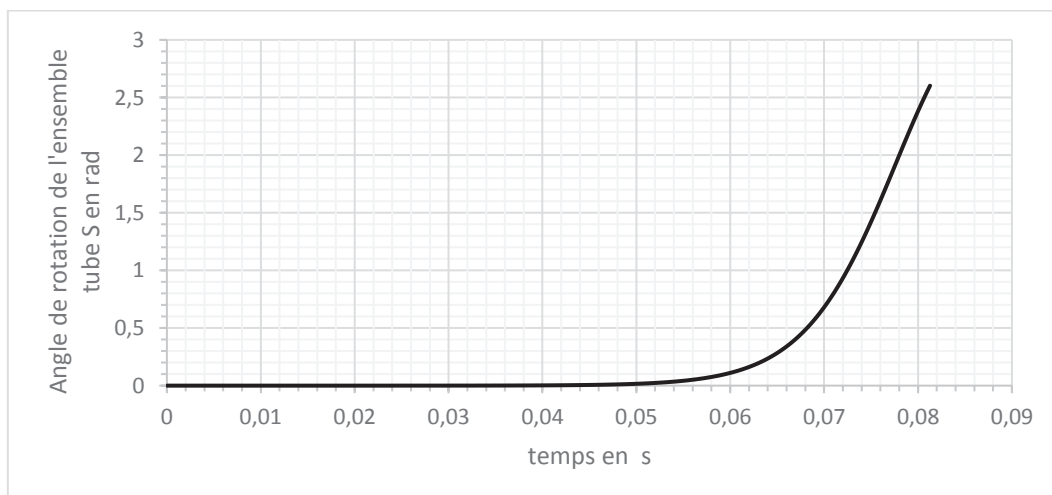


Figure 10 – Courbe de l'angle de rotation de l'ensemble tube S par rapport au temps

**Question 28 -** À l'aide de la courbe de la simulation figure 10, relever le temps nécessaire pour parcourir l'angle de rotation souhaité.

**Question 29 -** Sachant que le temps de basculement maximum souhaité est de 0,3 secondes, conclure quant à la validité du temps de déplacement de l'« ensemble tube S » au regard du diagramme des exigences.

## Partie 5 - Étude d'un cas de blocage

**Problématique :** *durant le fonctionnement, des blocages peuvent se produire dans les conduites en aval.*

**Objectif :** *vérifier que la tige de vérin résiste à un blocage.*

**Hypothèses :**

- *matériaux de la tige de vérin en 42CrMo4 on prendra  $E=205 \text{ GPa}$  et  $Re=980 \text{ MPa}$  ;*
- *diamètre de piston de 125 mm ;*
- *diamètre de la tige 60 mm ;*
- *course de la tige de vérin : 1000 mm ;*
- *les autres dimensions utiles seront mesurées sur les plans DT4 et DT5.*

**Question 30 -** À l'aide du DT3 relever la valeur de la pression maximum dans la chambre du vérin de pompage.

**Question 31 -** En déduire l'effort maximum développé par le piston.

Le flambage est un phénomène mécanique qui tend à déformer un solide modélisé par une poutre élancée chargée axialement.

Le risque de flambage dépend essentiellement :

- du moment quadratique de la poutre ;
- de la longueur de la poutre ;
- de la nature des liaisons aux extrémités de la poutre.

Dans le cas d'un vérin, le modèle simple de vérification considère uniquement le risque flambage de la tige du vérin. La longueur libre de flambage prise en considération pour le calcul sera différente suivant les cas de montage (voir DT9).

**Question 32 -** En analysant les solutions constructives retenues pour le vérin, choisir et justifier un modèle de chargement proposé sur le DT9.

**Question 33 -** À l'aide du DT9, vérifier le dimensionnement de la tige de vérin. En déduire une estimation du coefficient de sécurité effectif pour la résistance au flambage.

**Question 34 -** Conclure sur la capacité des vérins de pompage à résister à un blocage.



## Partie 6 – Spécification géométrique partielle du « tube S » 21.

**Problématique :** l'« ensemble tube S » est l'élément le plus sollicité du mécanisme. La qualité des guidages doit être garantie ainsi que l'interchangeabilité des pièces afin de faciliter la maintenance.

**Objectif :** réaliser une cotation fonctionnelle partielle du « tube S » 21.

L'« ensemble tube S » est réalisé en plusieurs parties avec notamment un arbre de guidage 23. Cet ensemble doit pouvoir pivoter autour de son axe de rotation.

Hypothèse : les plaques du système d'inversion 45 et 43 sont supposées totalement bloquées, on négligera la déformation des plaques élastomères 13 pour cette étude.

**Question 35 -** Expliquer succinctement comment est guidé en rotation l'« ensemble tube S ».

**Question 36 -** Le roulement 31 est un roulement à rotule sur billes. Justifier le choix du concepteur.

**Question 37 -** Proposer une modélisation technologique de l'ensemble de la liaison pivot. Déterminer son degré d'hyperstatisme. Sur le DR6, indiquer les conditions géométriques nécessaires pour garantir le bon fonctionnement.

**Question 38 -** Sur feuille de copie, expliquer comment est réalisé l'assemblage du « tube S » 21 et de l'arbre de guidage 23, préciser les mises et les maintiens en position.

L'ajustement préconisé pour le montage des coussinets est de type H7e7. On souhaite déterminer la valeur de la tolérance à installer entre les deux portées de guidages. Afin de limiter l'usure des coussinets, on souhaite éviter que l'arbre ne se retrouve dans la configuration extrême présentée figure 11.

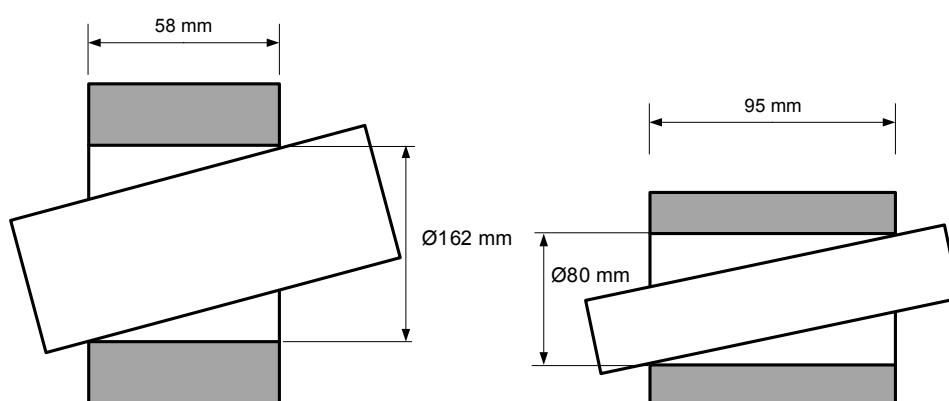


Figure 11 – Représentation des deux coussinets dans le cas d'un défaut majeur

Arbre	≤ 3	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400
<b>d10</b>	-20 -60	-30 -78	-40 -98	-50 -120	-65 -149	-80 -180	-100 -220	-120 -250	-145 -305	-170 -355	-190 -400	-210 -440
<b>d11</b>	-20 -80	-30 -105	-40 -130	-50 -160	-65 -195	-80 -240	-100 -290	-120 -340	-145 -395	-170 -460	-190 -510	-210 -570
<b>e7</b>	-14 -24	-20 -32	-25 -40	-32 -50	-40 -61	-50 -75	-60 -90	-72 -107	-85 -125	-100 -146	-110 -162	-125 -182
<b>e8</b>	-14 -28	-20 -38	-25 -47	-32 -59	-40 -73	-50 -89	-60 -106	-72 -126	-85 148	-100 -172	-110 -191	-125 -214
<b>h6</b>	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -16	0 -19	0 -22	0 -25	0 -29	0 -32	0 -36
<b>h7</b>	0 -10	0 -12	0 -15	0 -18	0 -21	0 -25	0 -30	0 -35	0 -40	0 -46	0 -52	0 -57

Alésage	≤ 3	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400
<b>D10</b>	+60 +20	+78 +30	+98 +40	+120 +50	+149 +65	+180 +80	+220 +100	+260 +120	+305 +145	+355 +170	+400 +190	+440 +210
<b>F7</b>	+16 +6	+22 +10	+28 +13	+34 +16	+41 +20	+50 +25	+60 +30	+71 +36	+83 +43	+96 +50	+108 +56	+119 +62
<b>E6</b>	+20 +14	+28 +20	+34 +25	+43 +32	+53 +40	+66 +50	+79 +60	+94 +72	+110 +85	+129 +100	+142 +110	+161 +125
<b>E7</b>	+24 +14	+28 +20	+34 +25	+43 +32	+53 +40	+66 +50	+79 +60	+94 +72	+110 +85	+129 +100	+142 +110	+161 +125
<b>H6</b>	+6 0	+8 0	+9 0	+11 0	+13 0	+16 0	+19 0	+22 0	+25 0	+29 0	+32 0	+36 0
<b>H7</b>	+10 0	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0	+30 0	+35 0	+40 0	+46 0	+52 0	+57 0

Figure 12 – Extrait des tolérances en micromètres

**Question 39 -** À l'aide de la figure 11 et de l'extrait de tolérances figure 12, déterminer pour chacun des deux coussinets l'angle maximum d'inclinaison. Justifier si l'on considère le jeu minimal ou maximal entre l'arbre et le coussinet dans l'objectif de déterminer la valeur de la tolérance à spécifier entre les deux portées de guidages.

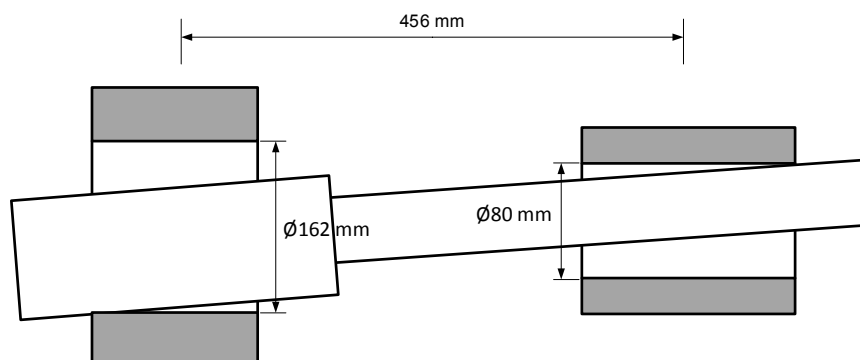


Figure 13 – Figure représentant l'inclinaison de l'arbre dans le cas d'un défaut majeur

**Question 40 -** À l'aide de la figure 13, déterminer la valeur de la tolérance de coaxialité à spécifier entre les deux portées de guidages.

**Question 41 -** Sur le DR7, proposer, une cotation fonctionnelle de la pièce « tube S » **21**. Expliciter sur feuille de copie les étapes et calculs qui mènent à cette cotation : choix des surfaces de références, choix des surfaces tolérancées et détermination de la valeur de l'IT (intervalle de tolérance) pour garantir le bon fonctionnement du guidage par coussinets. On prendra comme hypothèse que l'IT sur le bâti est égal au double de l'IT sur l'arbre.

**Question 42 -** Afin de garantir le bon positionnement de l'anneau aval coupe **27** par rapport à la bague de coupe **20**, indiquer sur le DR7 les conditions géométriques nécessaires sur le « tube S » **21**.

## Partie 7 – Étude de la résistance mécanique de la fourche d'inversion 30.

**Problématique :** la plupart des pièces du mécanisme sont soumises à des efforts cycliques importants.

**Objectif :** vérifier la résistance de la fourche d'inversion 30.

On souhaite valider par une étude éléments finis la conception de la fourche d'inversion **30**.

**Question 43 -** Sur le DR8, en s'inspirant de l'exemple donné, mettre en place les conditions aux limites (liaisons et chargements) préalables à l'étude par éléments finis.

**Question 44 -** Les résultats de la simulation sont présentés sur le DT11. Relever les valeurs de la contrainte équivalente maximale et du déplacement maximal.

**Question 45 -** Sachant que la fourche est en acier 42 CrMo4, conclure sur sa capacité en termes de résistance et de déformation.

Acier AISI 4140		42 CrMo4 Trempé – Revenu à 650°		
Propriétés Mécaniques	Limite à la rupture	760 MPa	Dureté	245 HV
	Module d'élasticité	212 GPa	Température de fusion	~1450 °C
	Allongement à la rupture	22 %	Limite d'élasticité	650 MPa
	Densité	7,85	Limite élastique au glissement	520 MPa

Figure 14 – Caractéristiques de l'acier 42 CrMo4

Le dimensionnement d'une pièce soumise à une sollicitation en fatigue se fait à partir des courbes de Wöhler ou courbe S-N (Stress ; Number of cycles). Ces courbes sont définies pour chaque type de matériau. Le document DT10 présente la courbe de Wöhler de l'acier 42 CrMo 4.

Hypothèse : on considère que le temps de cycle est de 6s et que le fonctionnement est continu.

**Question 46 -** Déterminer le nombre de basculements effectués sur la durée de vie souhaitée du mécanisme (20 ans).

**Question 47 -** À l'aide du DT10, conclure sur les éventuels risques d'une rupture par fatigue avant la fin de la durée de vie du mécanisme.

## Partie 8 – Validation de la résistance des axes des vérins d'inversion

**Problématique :** les axes des vérins d'inversion sont soumis à des efforts importants et des chocs.

**Objectif :** vérifier la résistance des axes aux sollicitations mécaniques et au matage.

Hypothèses :

L'effort maximal développé par le vérin est de 49 000 N.

L'axe **40** est considéré comme un cylindre plein de  $\varnothing 40$  mm.

On néglige les concentrations de contrainte dues aux rainures de circlips.

On donne le modèle suivant pour le chargement de l'axe d'un vérin d'inversion :

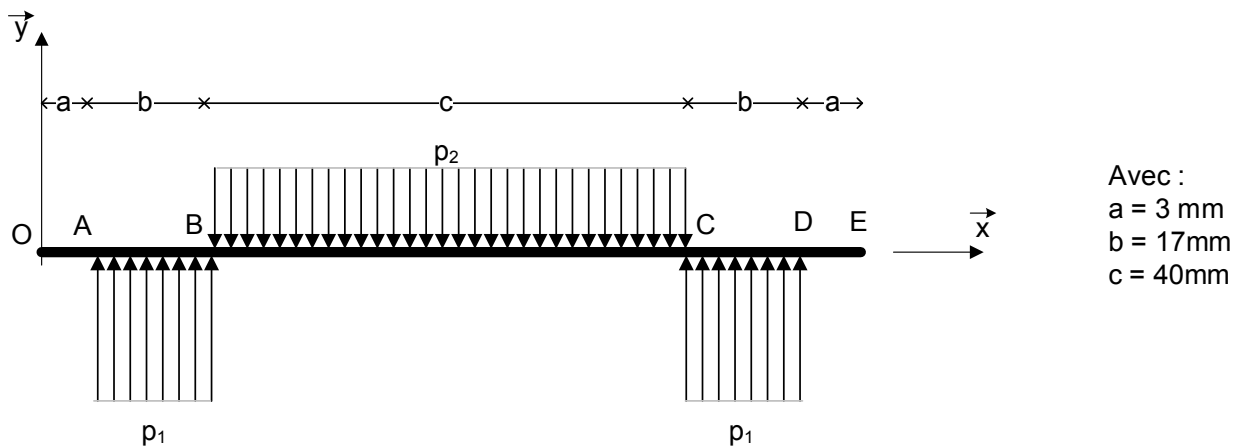


Figure 15 – Modèle de chargement d'un axe de vérin d'inversion

**Question 48 -** Déterminer les densités linéiques de charge  $p_1$  et  $p_2$ .

**Question 49 -** Déterminer les composantes du torseur de cohésion sur l'ensemble de l'axe **40**.

**Question 50 -** En déduire la ou les sollicitations auxquelles est soumis cet axe.

**Question 51 -** Déterminer les contraintes normales et tangentielles au point milieu (point le plus sollicité).

**Question 52 -** Sachant que l'axe **40** est en acier 39NiCrMo3 (caractéristiques données figure 16), conclure sur la résistance de cet axe.

Acier EN39 / AISI 9840		39NiCrMo3		
Propriétés Mécaniques	Limite à la rupture	970 MPa	Dureté	270 Brinell
	Module d'élasticité	205 GPa	Température de fusion	1580 °C
	Allongement à la rupture	12 %	Limite d'élasticité	700 MPa
	Densité	7,87 g·cm <sup>-3</sup>	Limite élastique au glissement	560 MPa

Figure 16 – Caractéristiques de l'acier 39 NiCrMo 3

**Question 53 -** À l'aide du DT12, déterminer la pression de matage maximale exercée par l'axe 40 sur la fourche 30. Est-elle compatible avec les matériaux ?

**Question 54 -** Quel est le critère le plus restrictif entre le critère de résistance et le critère de matage ? Justifier.

**Question 55 -** Conclure sur la capacité des axes à résister aux efforts qui leur sont appliqués

## Partie 9 – Choix du matériau du « tube S » 21

**Problématique :** valider le triptyque produit – procédé – matériau pour le « tube S » 21.

*Objectif :* valider le choix des concepteurs en fonction des contraintes du système.

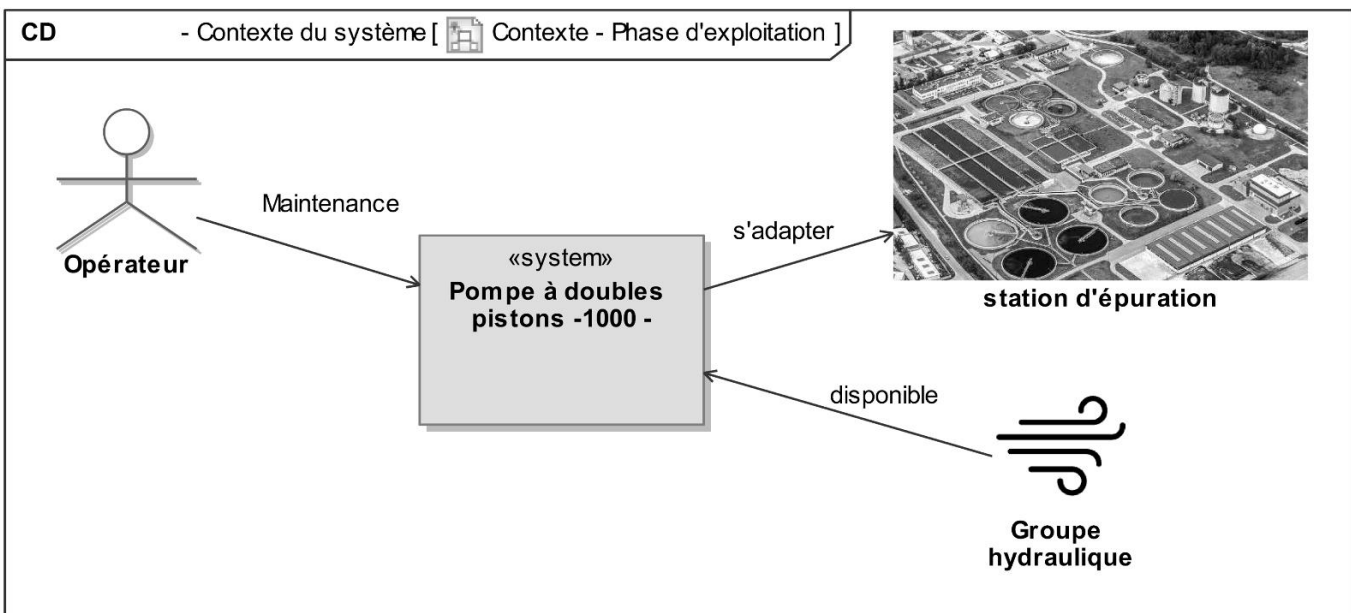
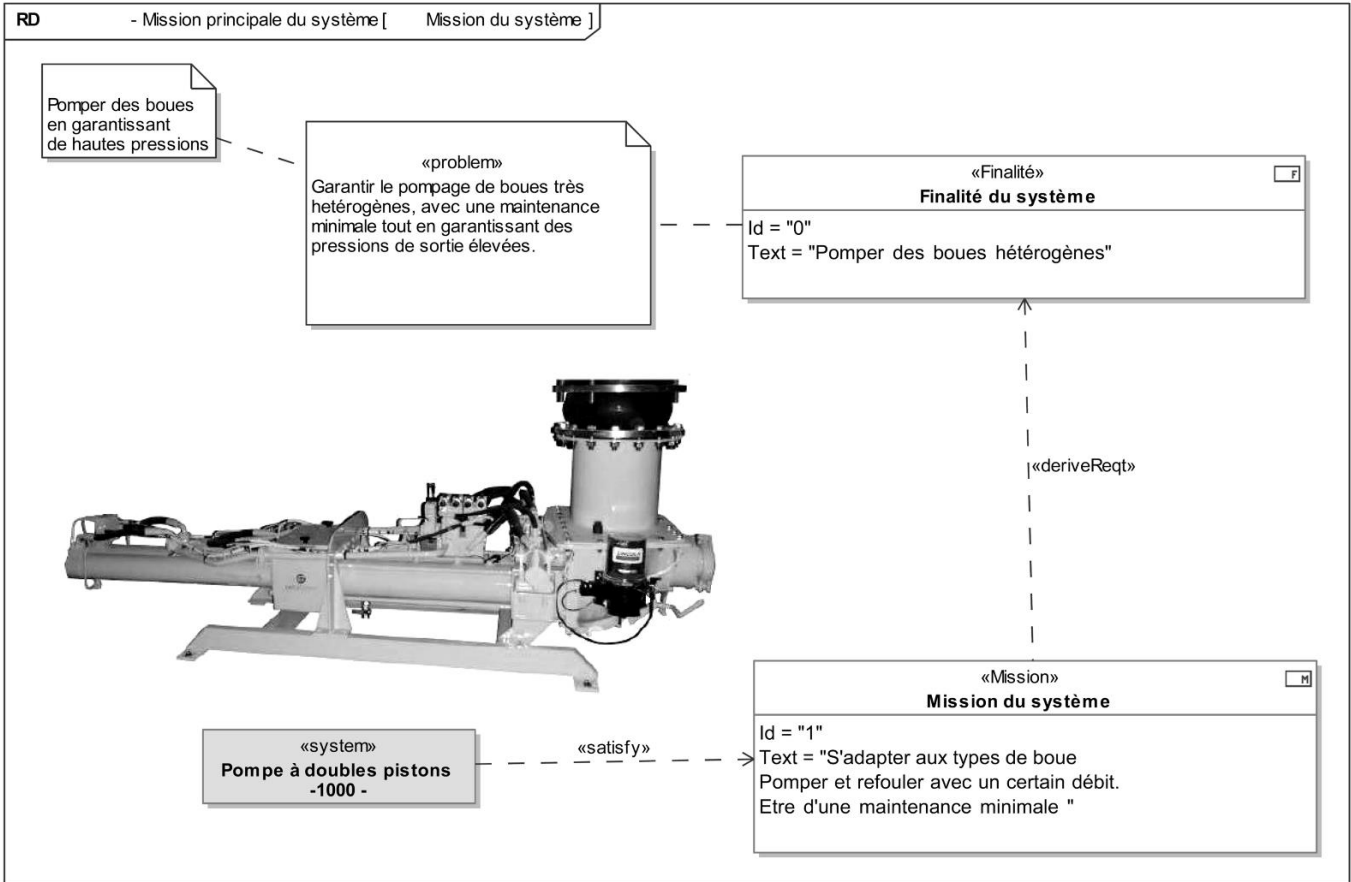
**Question 56 -** Les concepteurs ont fait le choix d'une pièce forgée pour le « tube S » 21, indiquer les propriétés des pièces forgées qui justifient ce choix.

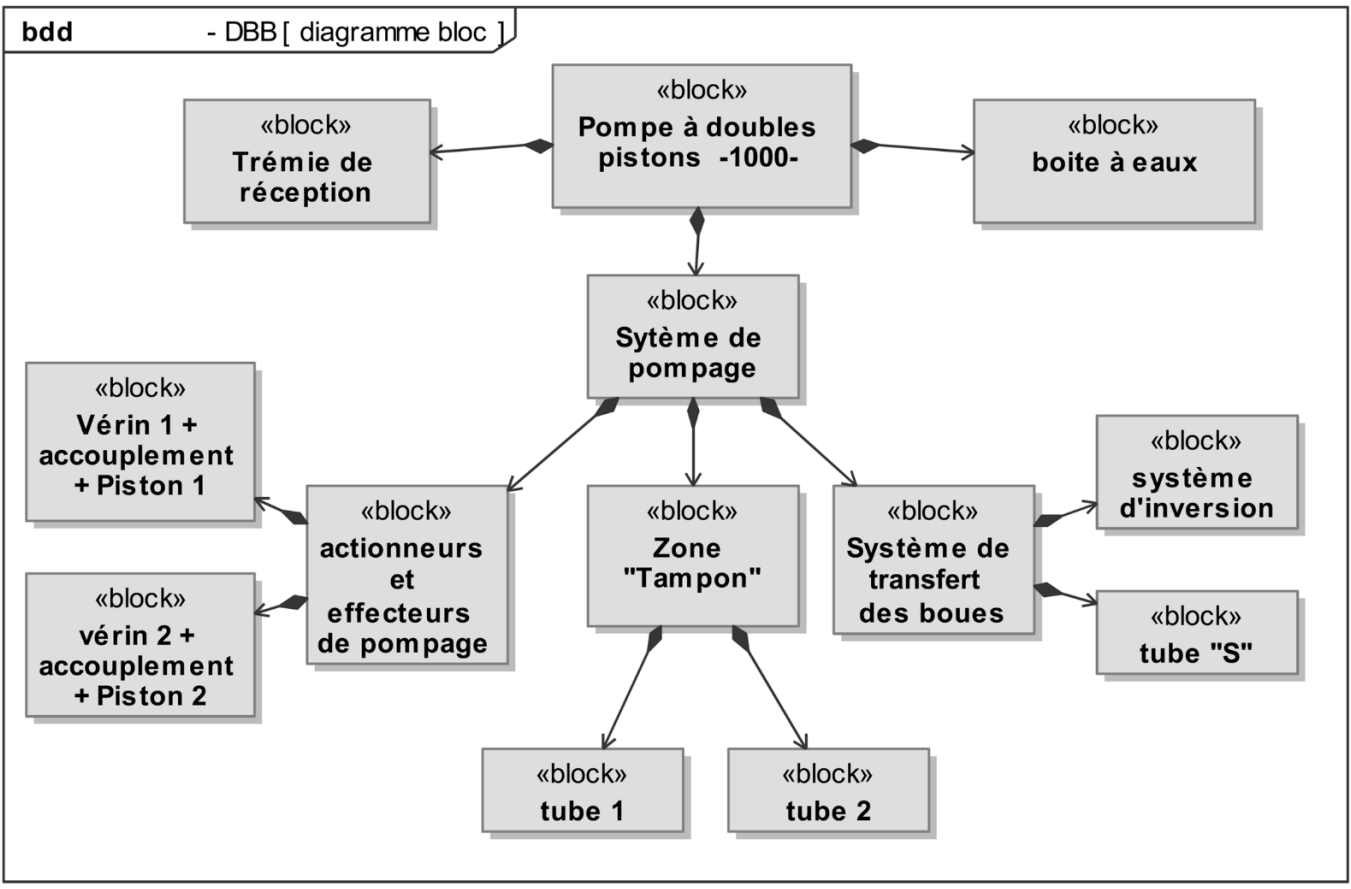
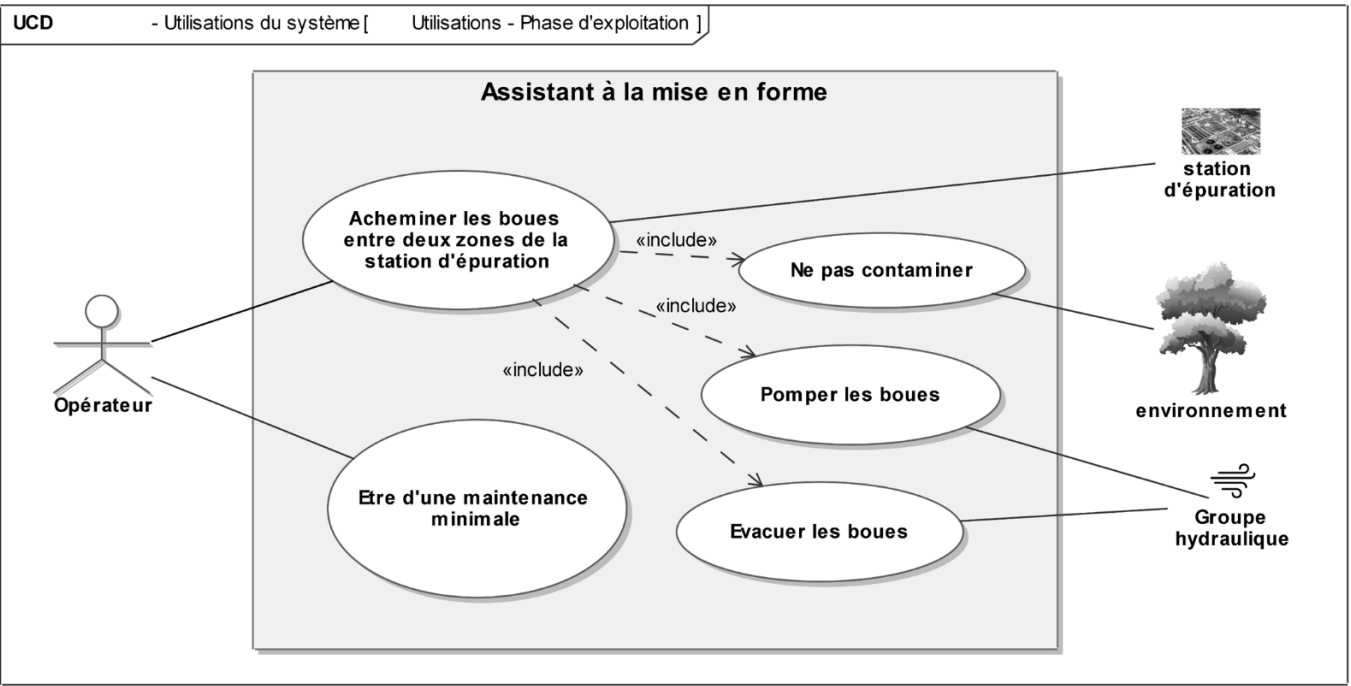
**Question 57 -** À l'aide du DT13, justifier les critères prépondérants retenus pour les graphiques au regard de la fonction du « tube S » 21.

**Question 58 -** À l'aide du DT13, valider le choix du matériau par les concepteurs, puis proposer, en la justifiant, une autre famille de matériaux pouvant convenir.

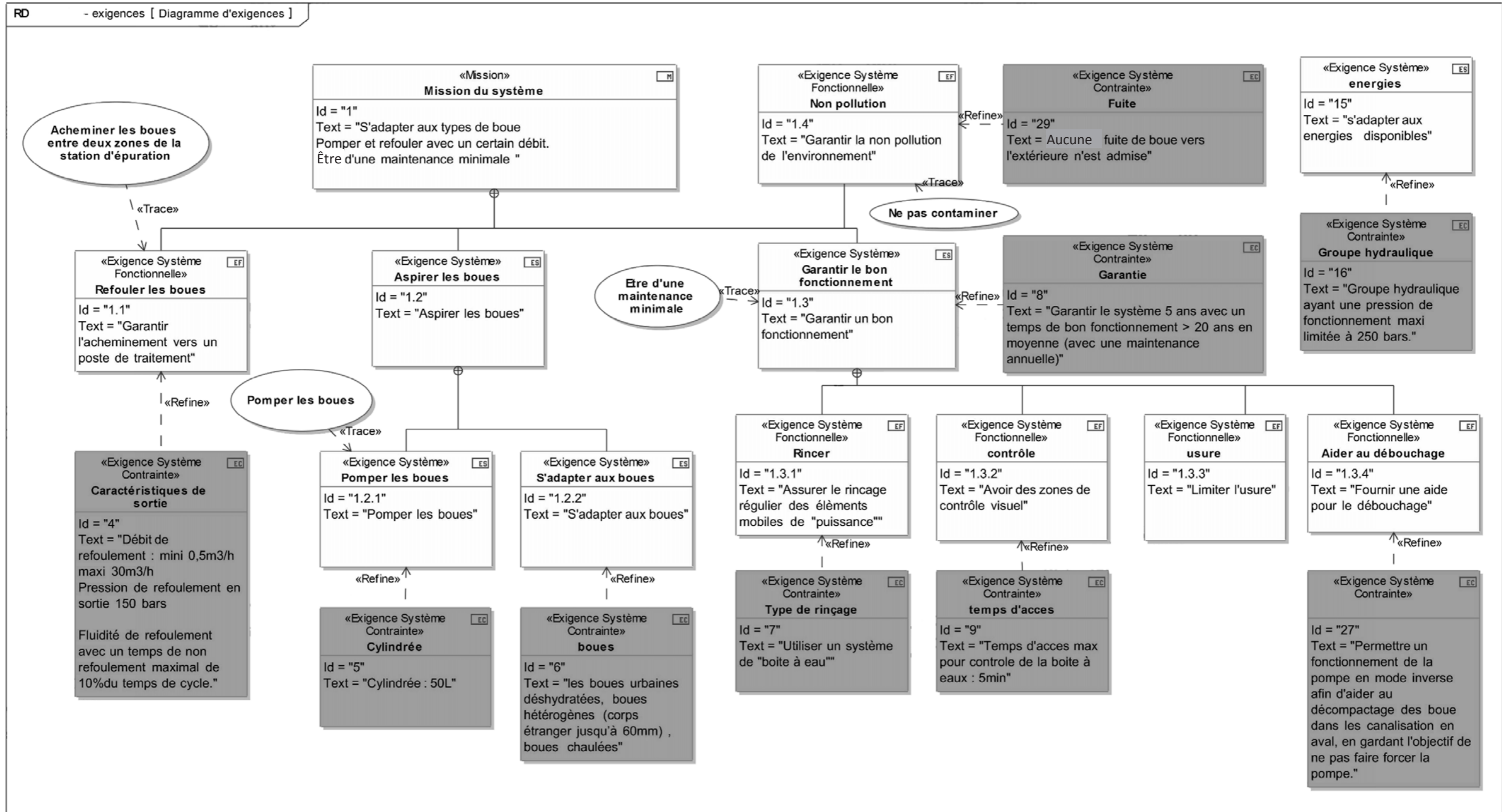
**Question 59 -** Proposer d'autres technologies possibles pour assurer un transfert des boues puis argumenter et discuter, en moins de 100 mots, sur l'intérêt d'utiliser cette pompe pour assurer le transfert de boues à l'intérieur d'une station d'épuration.

Mission & Contexte

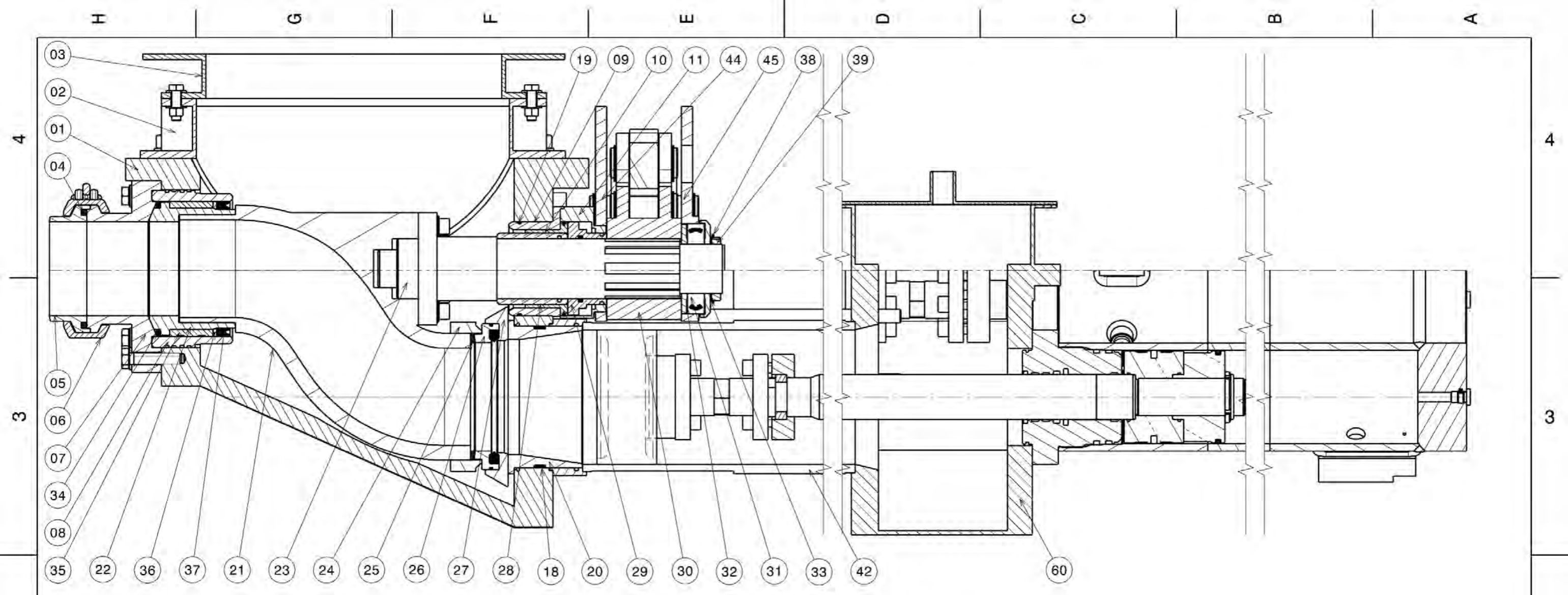




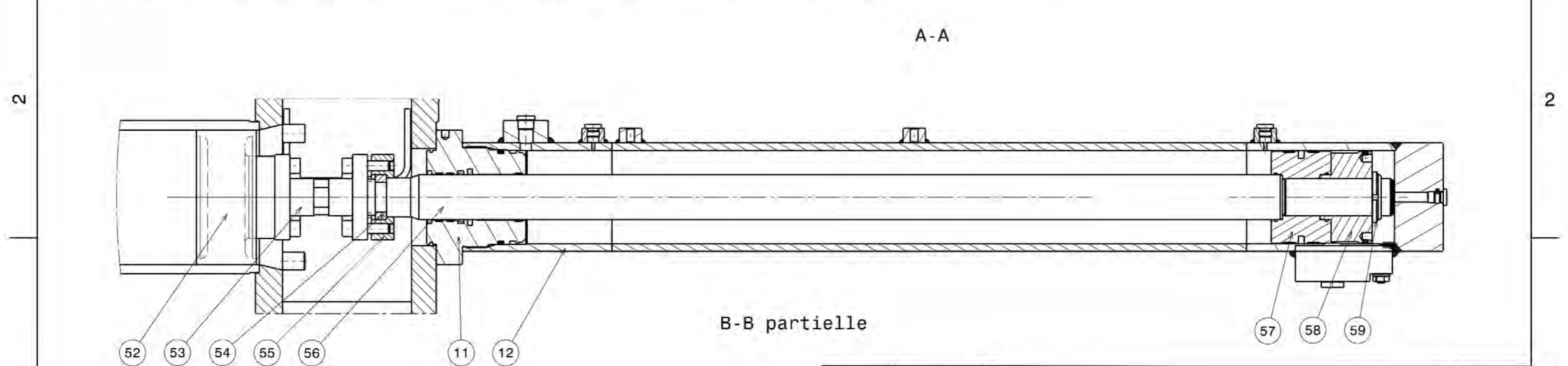








A-A

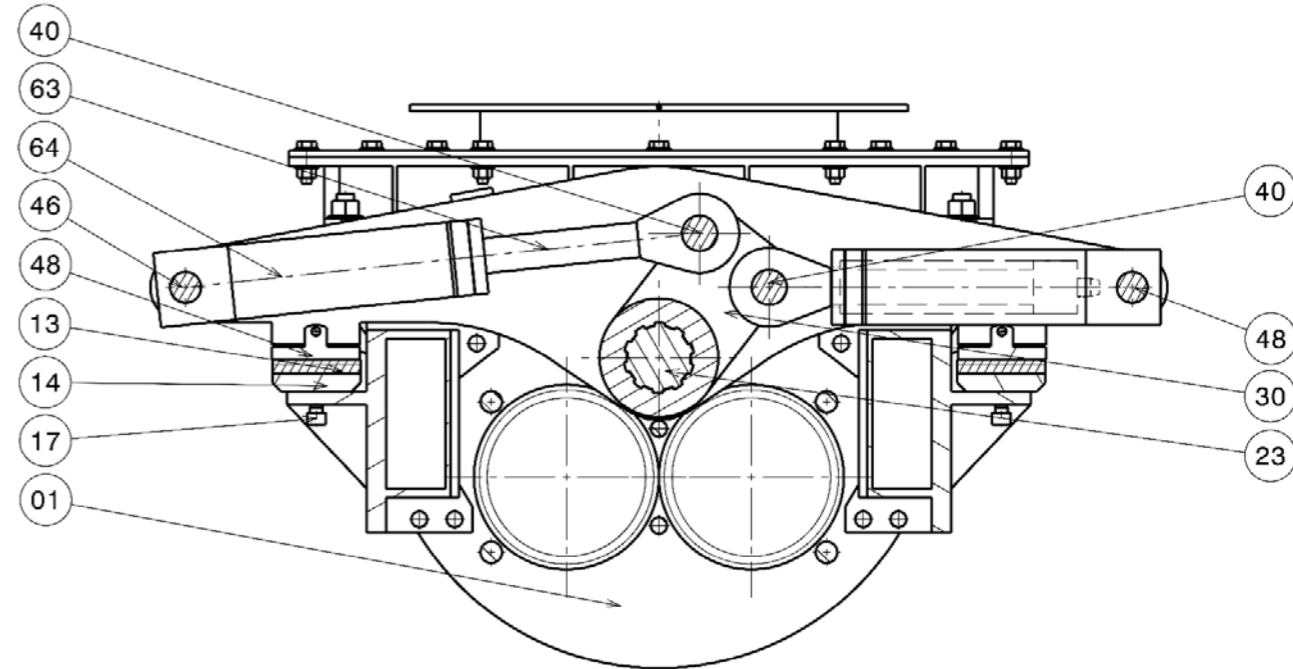
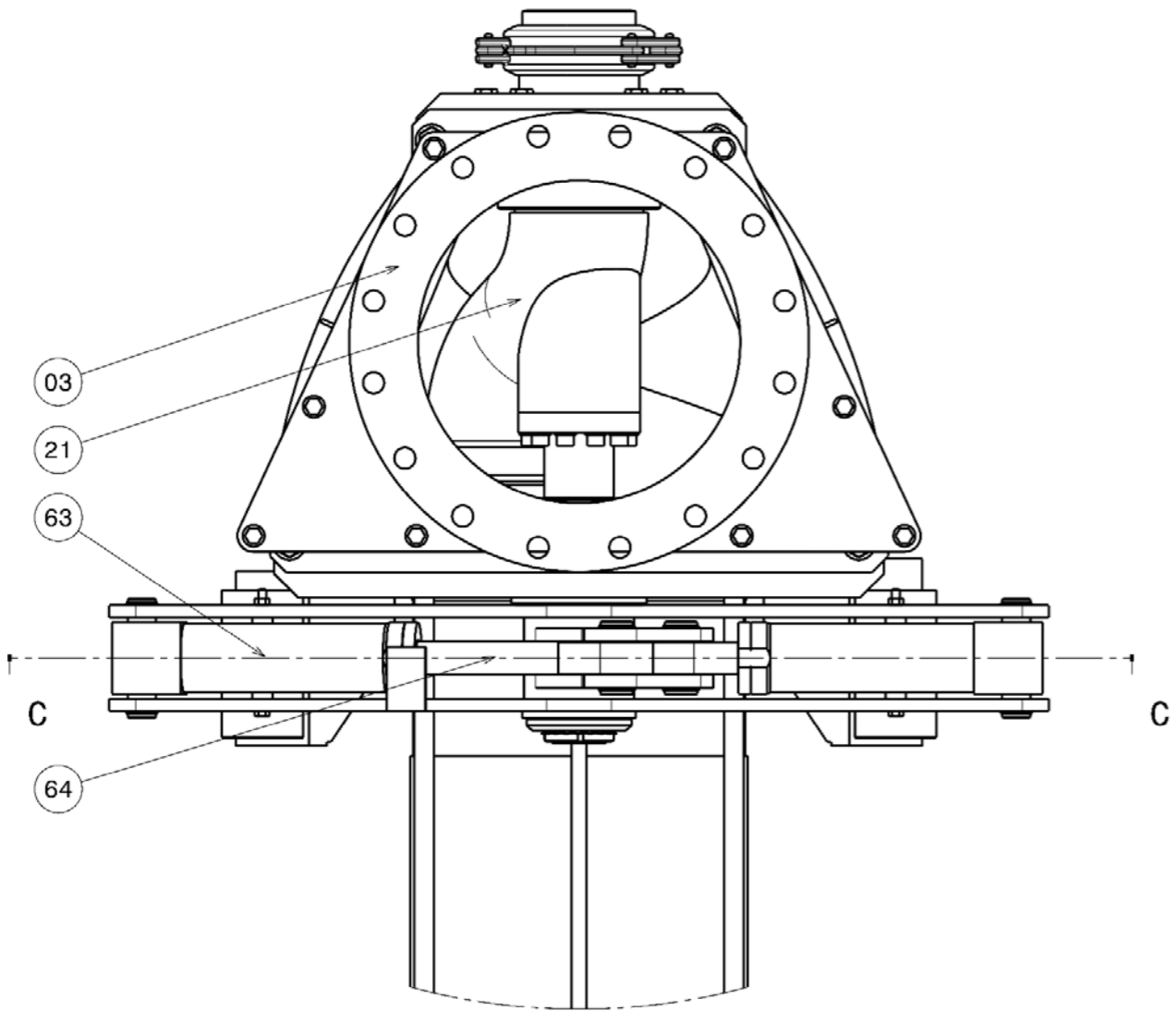
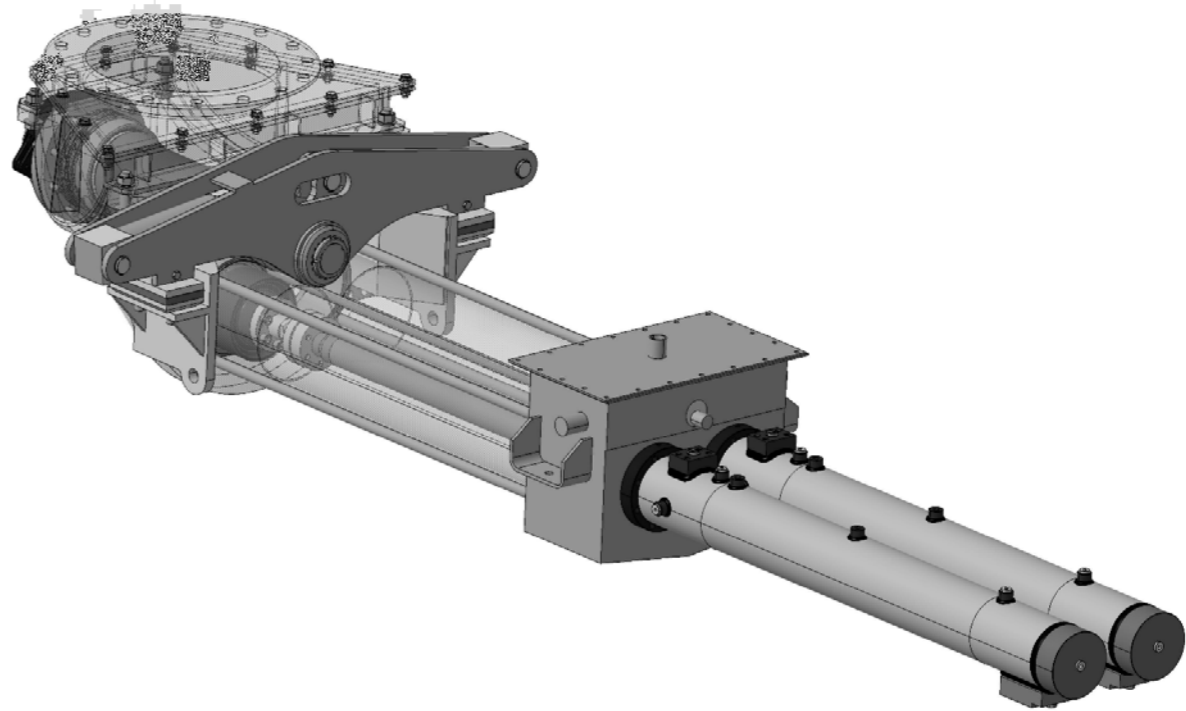
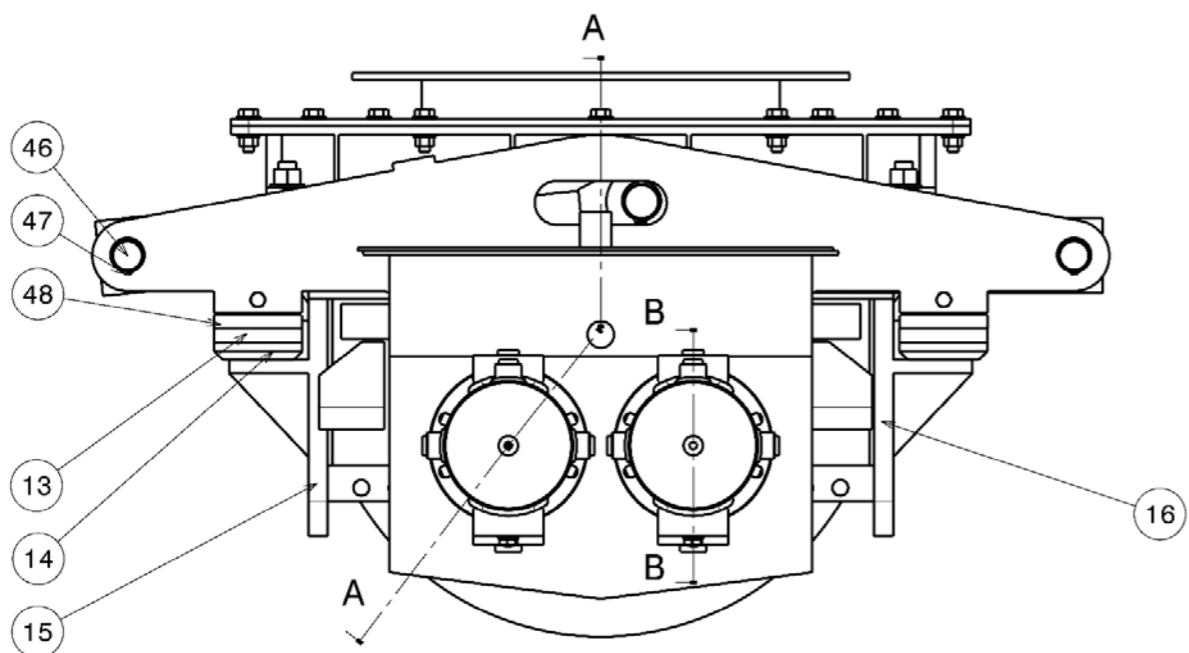


B-B partielle

A3				
SCALE		POMPE A DOUBLES PISTONS SERMAC D180C1000	SHEET	DT4
1:5			1/1	
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				

H G B A

H G F E D C B A



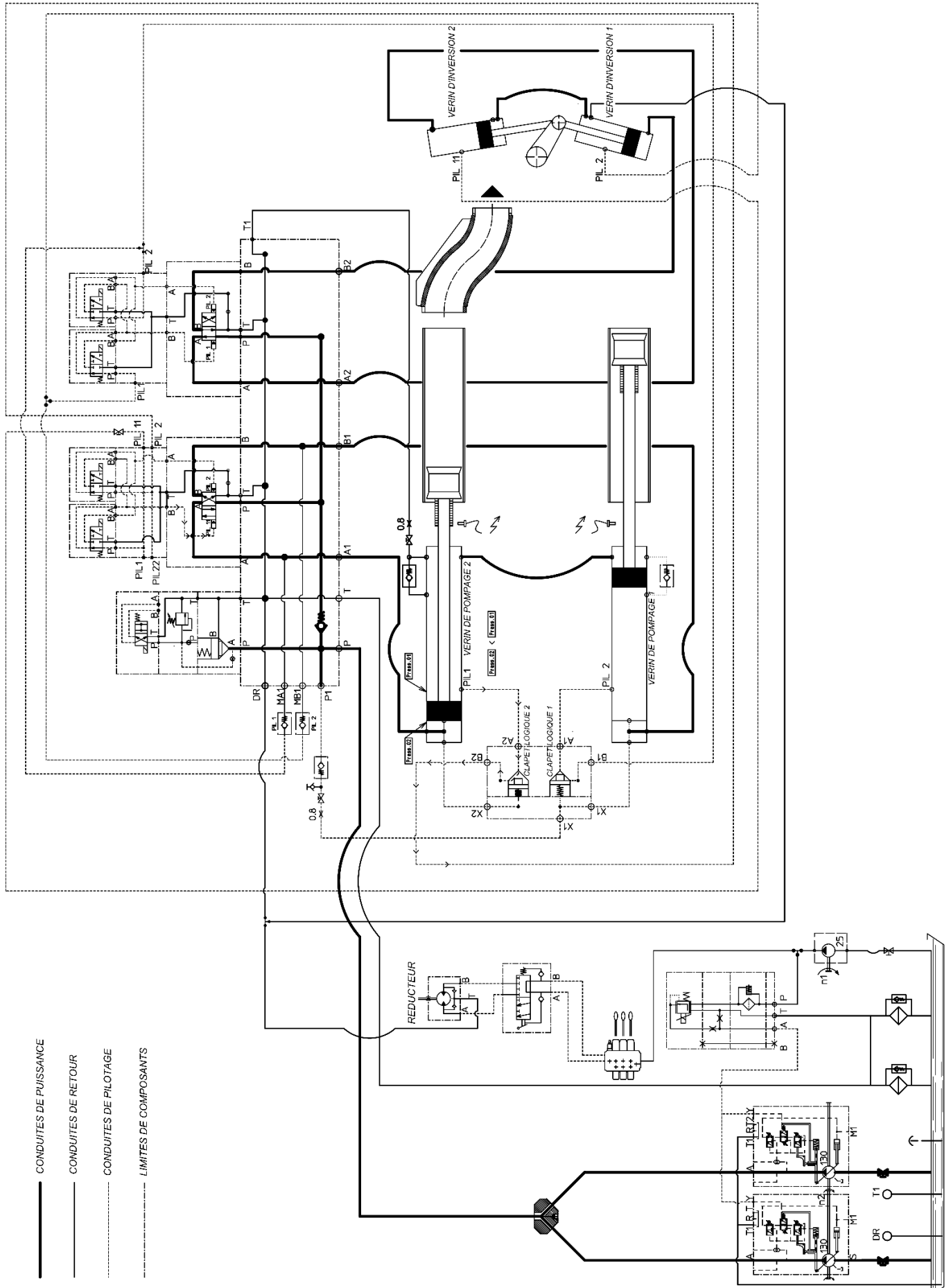
C-C partielle

A3				
SCALE 3:25	POMPE A DOUBLES PISTONS SERMAC D180C1000		SHEET 1 / 1	DT5
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				

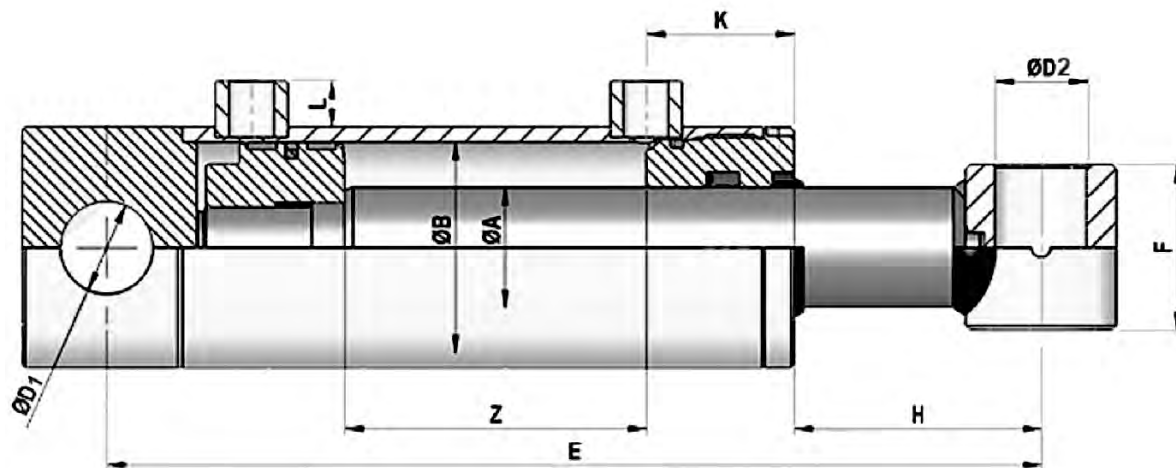
H G B A

33	1	Flasque roulement			
32	1	Anneau d'arrêt roulement			
31	1	Roulement à rotule sur billes		SKF 1312 ETN9	
30	1	Fourche d'inversion			
29	1	Bague arrêt coussinet			
28	1	Coussinet	CuSn8P		
27	1	Anneau aval coupe			
26	1	Anneau amont coupe			
25	1	Anneau			
24	1	Collier			
23	1	Arbre guidage Tube S			
22	1	Bague de sortie Tube S			
21	1	Tube S	X12 Cr13	forgé	
20	2	Bague de coupe	X15 CrNi 17-03		
19	1	Joint torique	Nitrile		
18	2	Joint	Nitrile		
17	4	Vis de réglage			
16	1	Bâti support réglage gauche			
15	1	Bâti support réglage droit			
14	2	Plaque de réglage			
13	2	Amortisseur	Elastomère		
12	2	Corps de vérin de pompage			
11	2	Tête de vérin de pompage			
10	1	Coussinet	CuSn7Zn4Pb7		
9	2	Boitier de guidage			
8	1	Bague guidage sortie Tube S	CuSn8P		
7	1	Bride de sortie DN125	S235		
6	1	Serre-joint			
5	1	Bride d'accouplement			
4	1	Joint			
3	1	Réhausse			
2	1	Chapeau de trémie			
1	1	Trémie		moulé	
Rep	Nbre	Désignation	Matière		Observation

64	2	Tige vérin d'inversion			
63	2	Corps vérin d'inversion			
60	1	Boite à eau			
59	2	Écrou de serrage			
58	2	Piston arrière			
57	2	Piston principal			
56	2	Tige de piston			
55	2	Flasque droit			
54	4	Demi bague de liaison			
53	2	Flasque gauche			
52	2	Piston d'évacuation boues			
48	2	Plaque amortisseur			
47	4	Circlips			
46	2	Axe corps vérin inversion			
45	1	Plaque extérieure			
44	1	Plaque intérieure			
42	2	Corps évacuation boues			
41	1	Joint anneau de coupe	Nitrile		
40	2	Axe tige vérin inversion			
39	1	Écrou SKF KM13			
38	1	Rondelle SKF MB13			
37	1	Joint U			
36	1	Bague anti extrusion			
35	1	Coussinet			
34	1	Joint			
Rep	Nbre	Désignation	Matière		Observation



**VERINS STANDARD DOUBLE EFFET – SERIE 700**



REF	ØA	ØB	Z-Course	E	ØD1	ØD2	F
704/100	40	60	100	312	35	40	38
704/2	40	60	200	412	35	40	38
704/250	40	60	250	462	35	40	38
704/3	40	60	300	512	35	40	38
704/350	40	60	350	562	35	40	38
704/4	40	60	400	612	35	40	38
704/450	40	60	450	662	35	40	38
704/5	40	60	500	712	35	40	38
704/550	40	60	550	762	35	40	38
704/6	40	60	600	812	35	40	38
704/7	40	60	700	912	35	40	38
704/800	40	60	800	1012	35	40	38
704/900	40	60	900	1112	35	40	38
704/1000	40	60	1000	1212	35	40	38
704/1100	40	60	1100	1312	35	40	38
704/1200	40	60	1200	1412	35	40	38
704/1300	40	60	1300	1512	35	40	38
704/1400	40	60	1400	1612	35	40	38
704/1500	40	60	1500	1712	35	40	38



On vérifie la résistance au flambage des vérins hydrauliques avec la méthode de calcul d'Euler.  
On définit une force de flambage admissible  $F_k$  qui ne doit pas être dépassée par la force en poussant  $F$  du vérin.

On calcule la force approximative de flambage admissible  $F_k$  sur la base du diamètre de la tige de piston  $d_s$  et la longueur de flambage  $L_k$ . Pour la longueur de flambage  $L_k$  (voir les différents cas en fonction des solutions constructives)

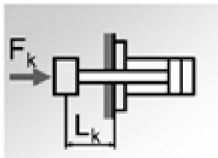
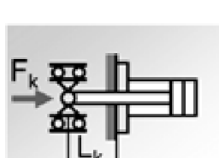
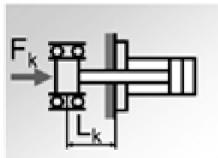
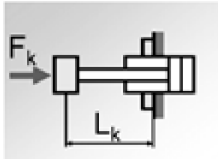
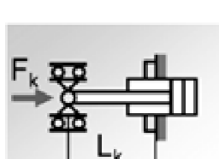
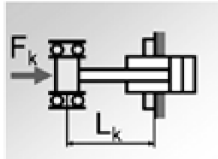
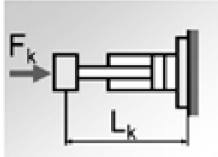
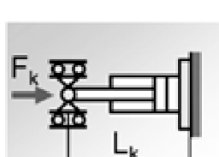
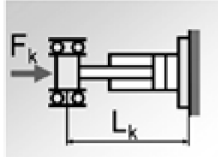
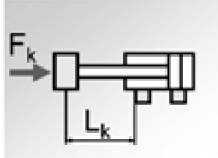
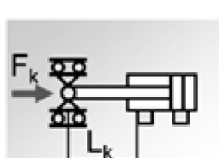
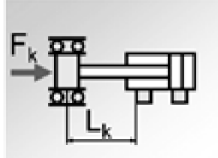
De plus, il faut tenir compte de la fixation du vérin et de la tige de piston, pour cette raison, on attribue un facteur d'installation  $x$ .

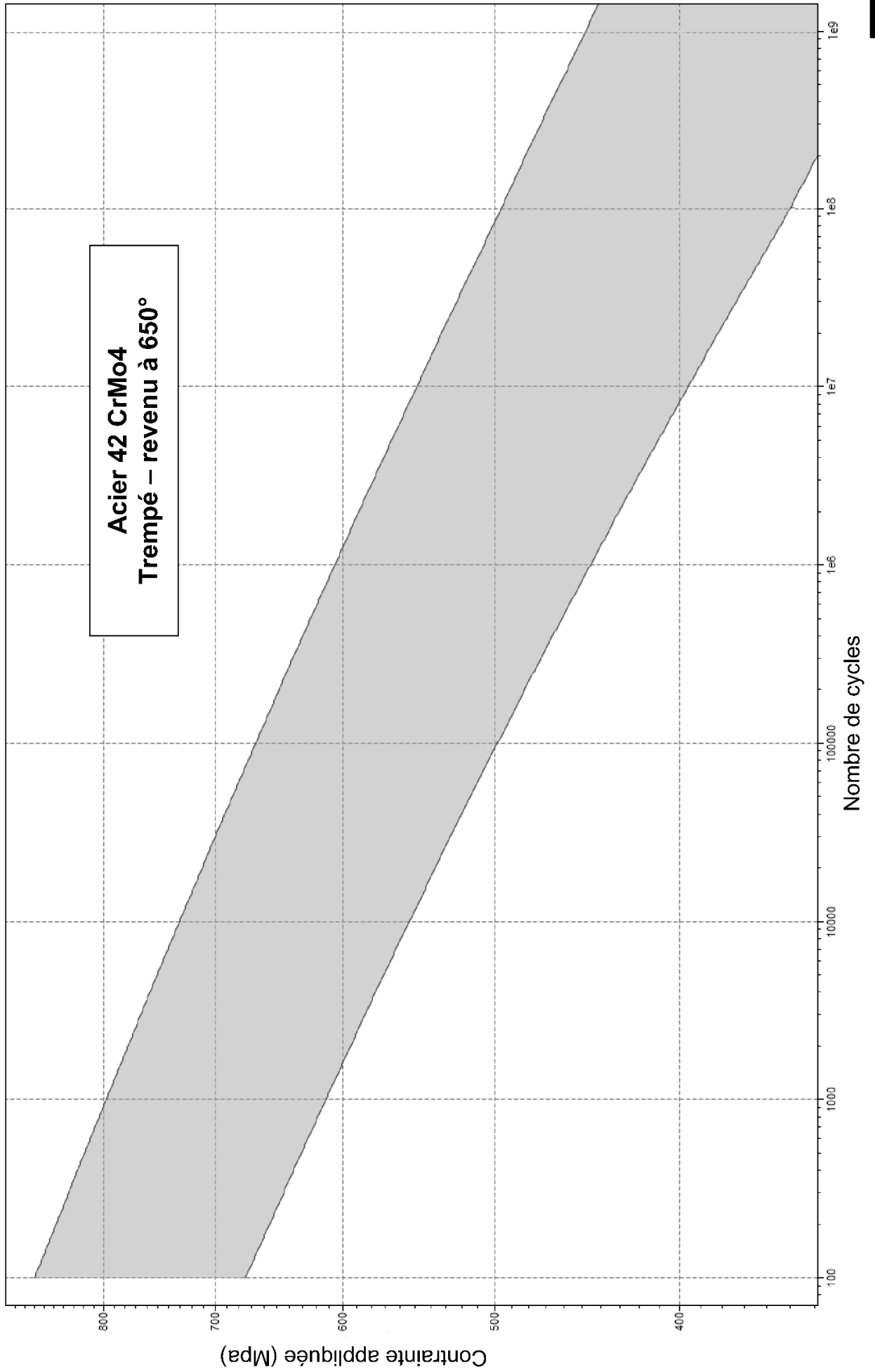
## Formules de calcul

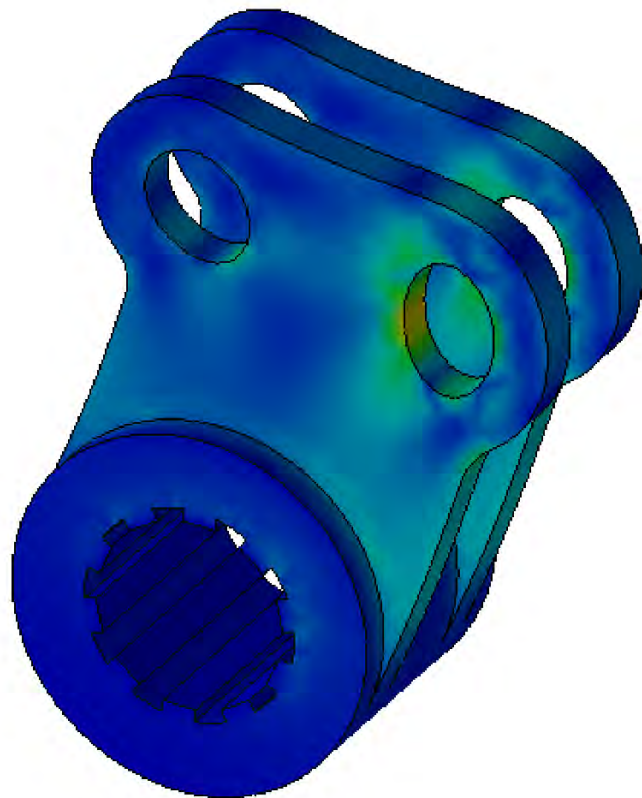
Moment quadratique	$J = \frac{\pi}{64} \cdot d_s^4$
Force de flambage admissible	$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J \cdot x}{L_k^2 \cdot S}$

## Symboles de formule

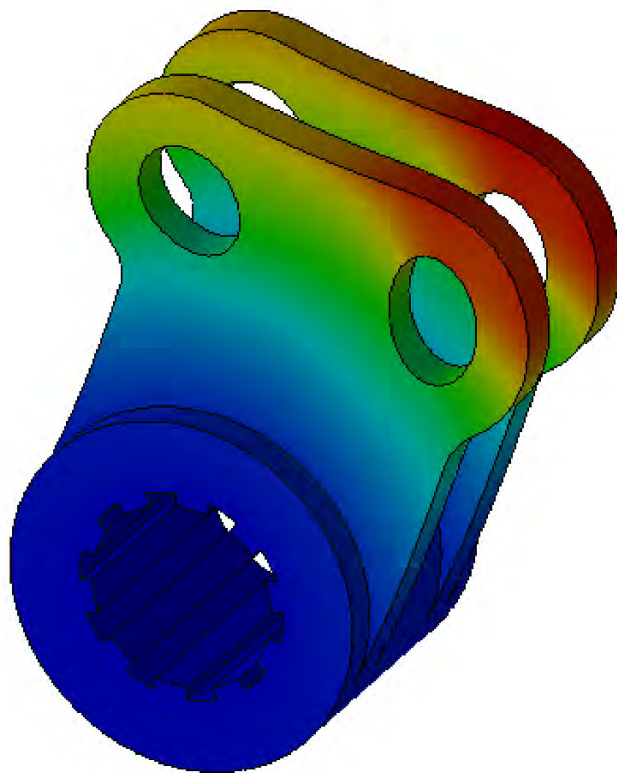
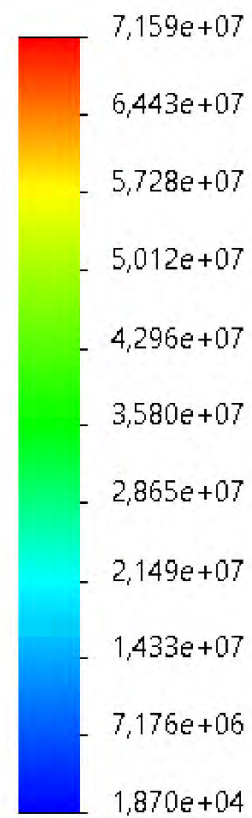
$d_s$	Diamètre tige de piston	[mm]
$F_k$	Force de flambage admissible	[N]
$J$	Moment quadratique	[mm <sup>4</sup> ]
$E$	Module d'élasticité	[N/mm <sup>2</sup> ]
$x$	Facteur d'installation	à choisir dans le tableau ci-dessous
$S$	Facteur de sécurité	3 ... 5

Fixation du vérin	Fixation de la tige de piston		
	tige avec fixation libre	tige avec fixation articulée	tige avec fixation guidée
Fixation sur le côté avant, p. ex. bride	 $x=0,25$	 $x=2$	 $x=4$
Fixation avec bride intermédiaire	 $x=0,25$	 $x=2$	 $x=4$
Fixation sur le côté arrière, p. ex. bride	 $x=0,25$	 $x=2$	 $x=4$
Fixation à pattes	 $x=0,25$	 $x=2$	 $x=4$

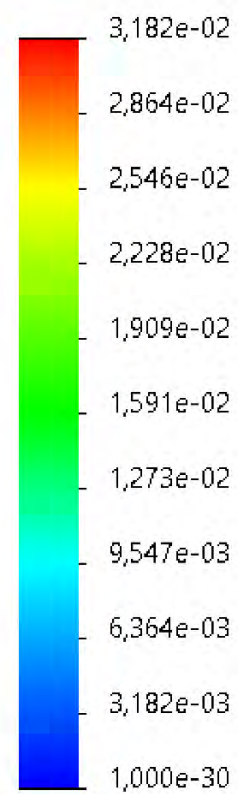




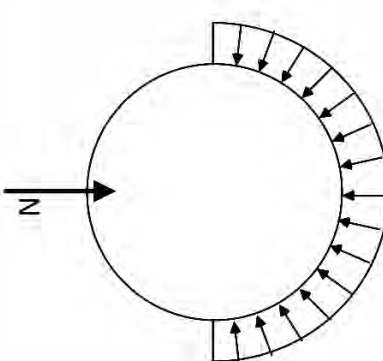
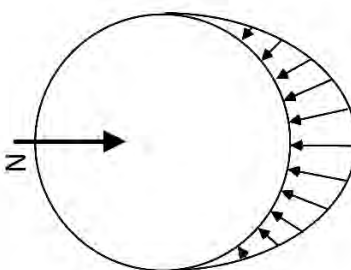
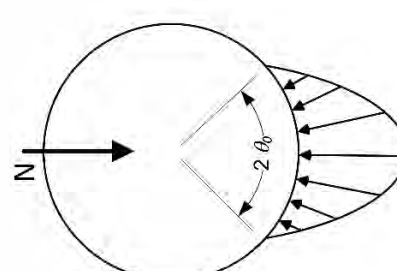
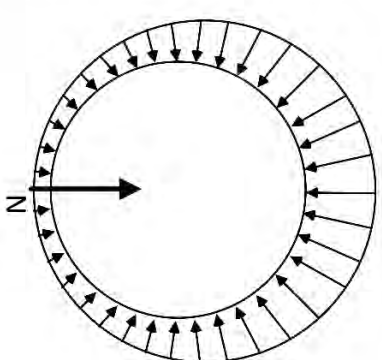
von Mises (N/m<sup>2</sup>)



URES (mm)





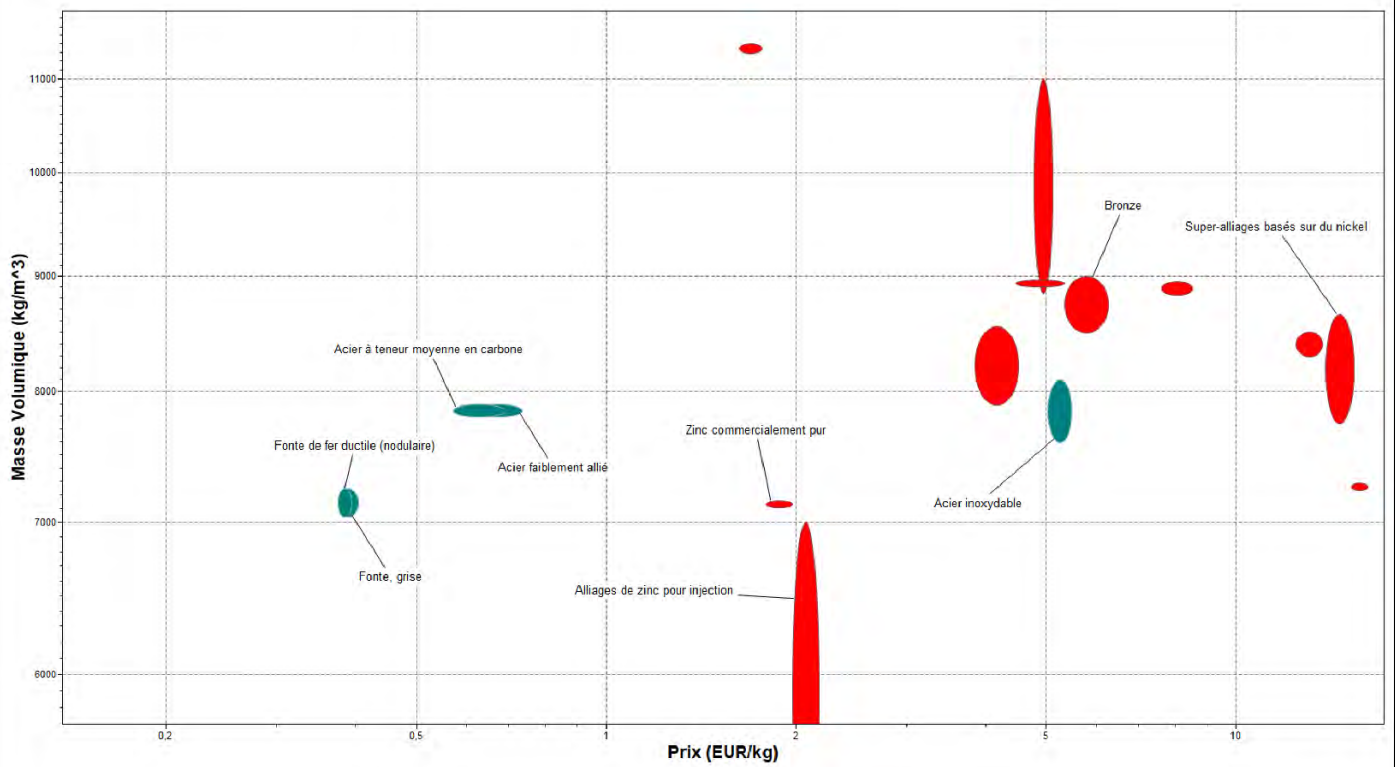
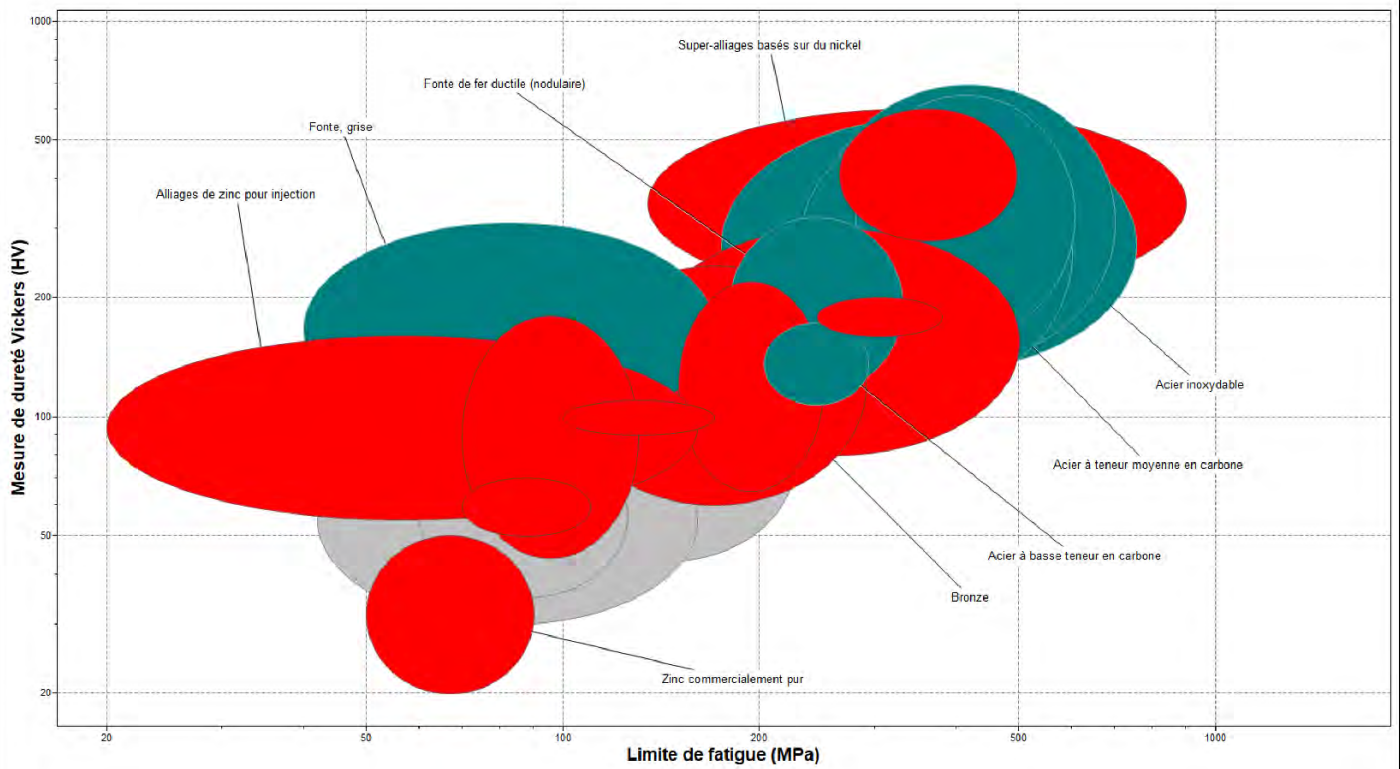
Pression proportionnelle à la déformation	
Pression uniforme (demi cylindre)	 $P = \frac{N}{D \cdot l}$
Contact Cylindrique sans jeu (ou jeu faible)	 $P_{max} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{N}{D \cdot l}$
Contact cylindrique glissant	 $P_{max} = \frac{4N(1 - \cos\theta_0)}{D \cdot l(2\theta_0 - \sin(2\theta_0))}$
Contact cylindrique serré	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;">                     Pression suivant calcul de frettage                 </div>

Contact entre pièces mobiles	Pression admissible (MPa)
Contact entre filets mobiles en fonctionnement (vis sans fin)	2 à 6
articulations en porte-à-faux	0,5 à 8
Articulations en chape (ou fourchette)	1 à 25
Paliers rigides avec flexion de l'arbre ; acier/fonte	1 à 1,5
Paliers à rotule, acier sur bronze avec graissage intermittent	1,5 à 2,4
Paliers acier trempé/bronze, lubrification sur film d'huile	2,5 à 4
Paliers rectifiés de bielles, graissage normal ou sans pression	6 à 15
moteurs (automobile, aviation) ; rotules de coussinets	10 à 25

Contact entre pièces fixes	Pression admissible (MPa)
Sur acier ou fonte sans matage	80 à 100
Sur acier ou fonte avec léger matage, ou sur béton	200 à 250
Contact entre filets (vis/écrou ou taraudage)	15 à 30

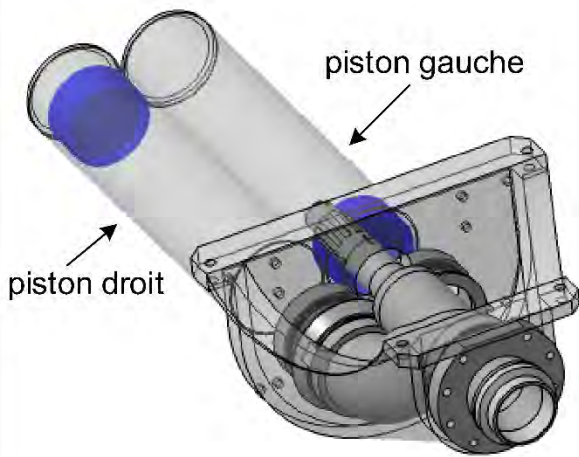
# Choix de matériau

Source : CES Granta Design

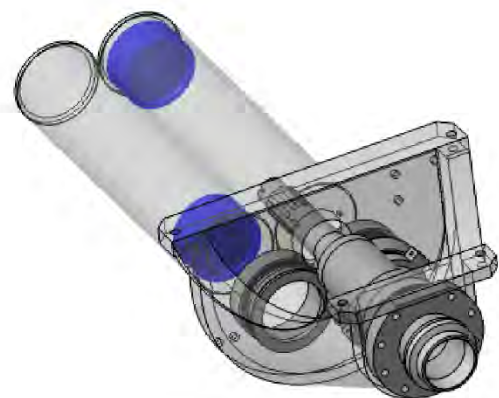
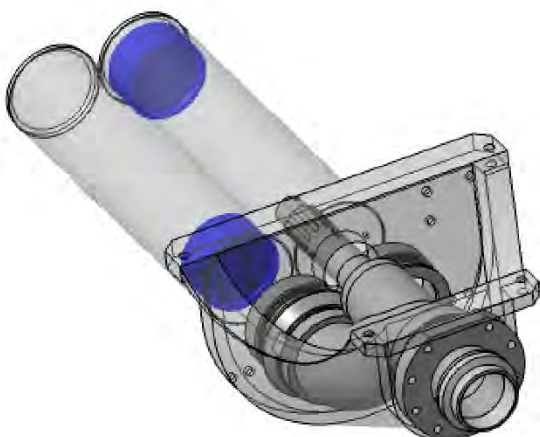
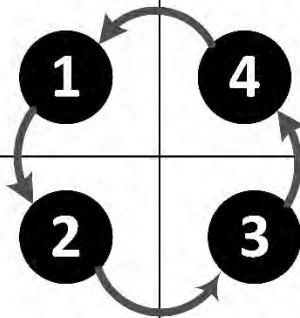
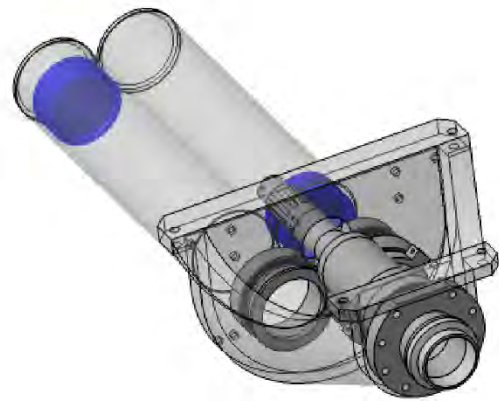




**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**



*Fin de basculement du tube S  
Début d'aspiration piston gauche et  
refoulement piston droit*





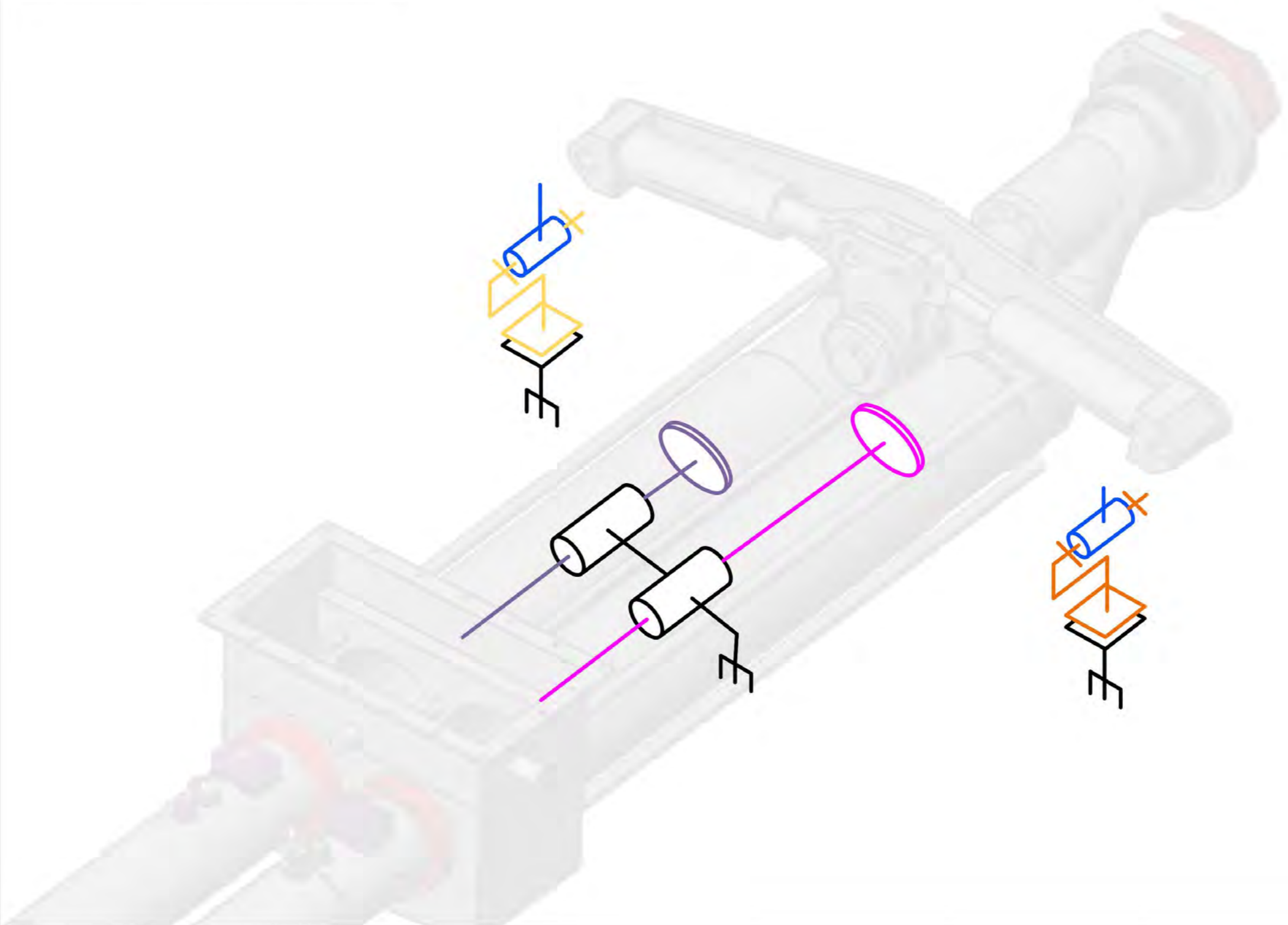




NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

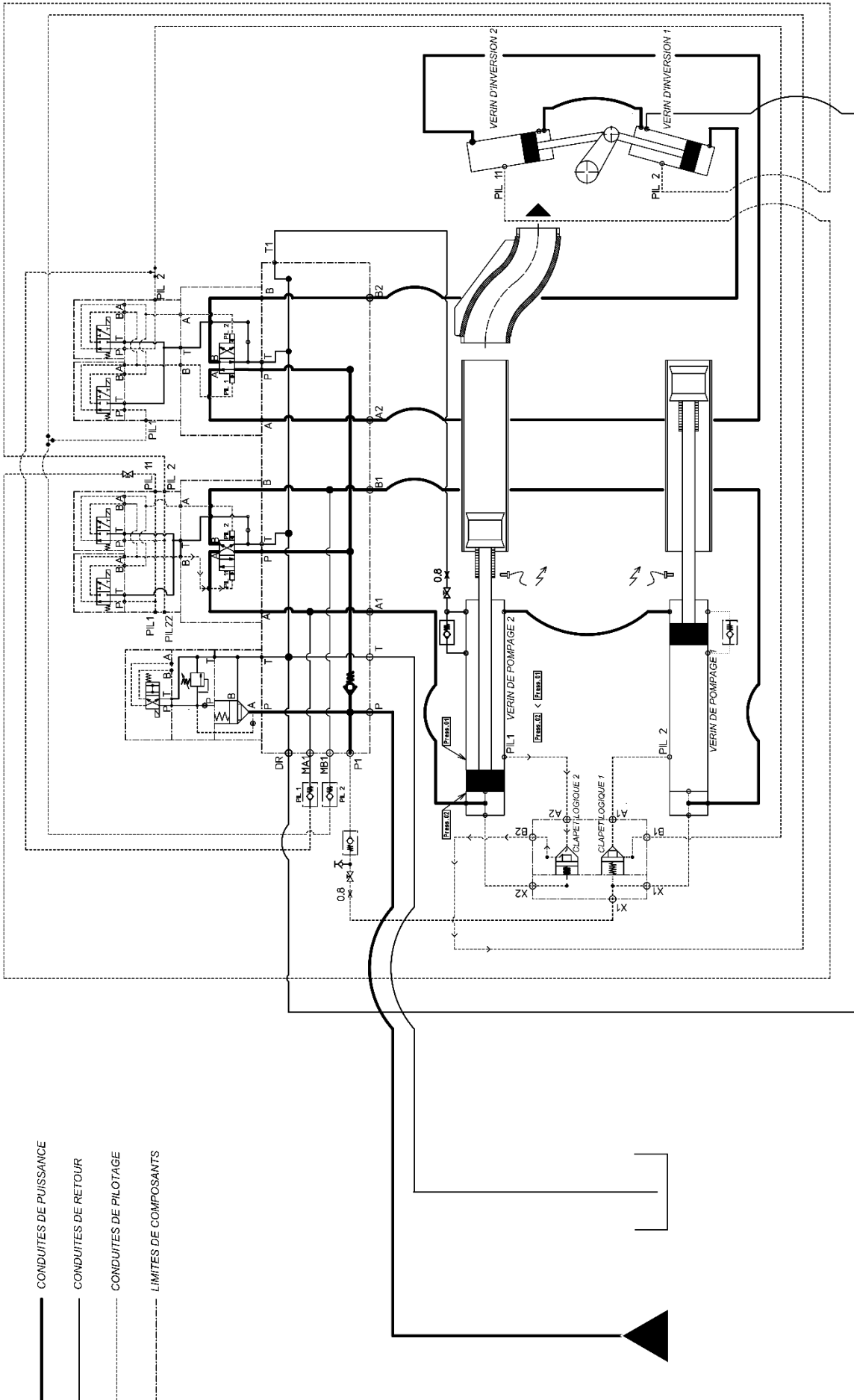
L'image en filigrane est là pour vous aider à positionner les liaisons pour réaliser le schéma cinématique en 3D

Schéma cinématique



DR2





Modèle CMEN v3

**Nom de famille :**

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

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Prénom(s) :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



**Numéro  
Candidat :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Né(e)  
le :**

		/			/									
--	--	---	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

*Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels*

**Concours :** ..... **Option / Section :** .....

**N° d'inscription :**

--	--	--

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

externe    3<sup>e</sup> externe    externe spécial    interne ou 1<sup>er</sup> interne    2<sup>nd</sup> interne    2<sup>nd</sup> interne spécial

Cocher public OU privé  
UNIQUEMENT pour les  
concours enseignants :

public    privé

**Examen professionnel pour l'avancement au grade de :** .....

*Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général*

**Examen :** ..... **Série / Spécialité :** .....

**Epreuve - Matière :** ..... **Session :** .....

EDE MEC 1

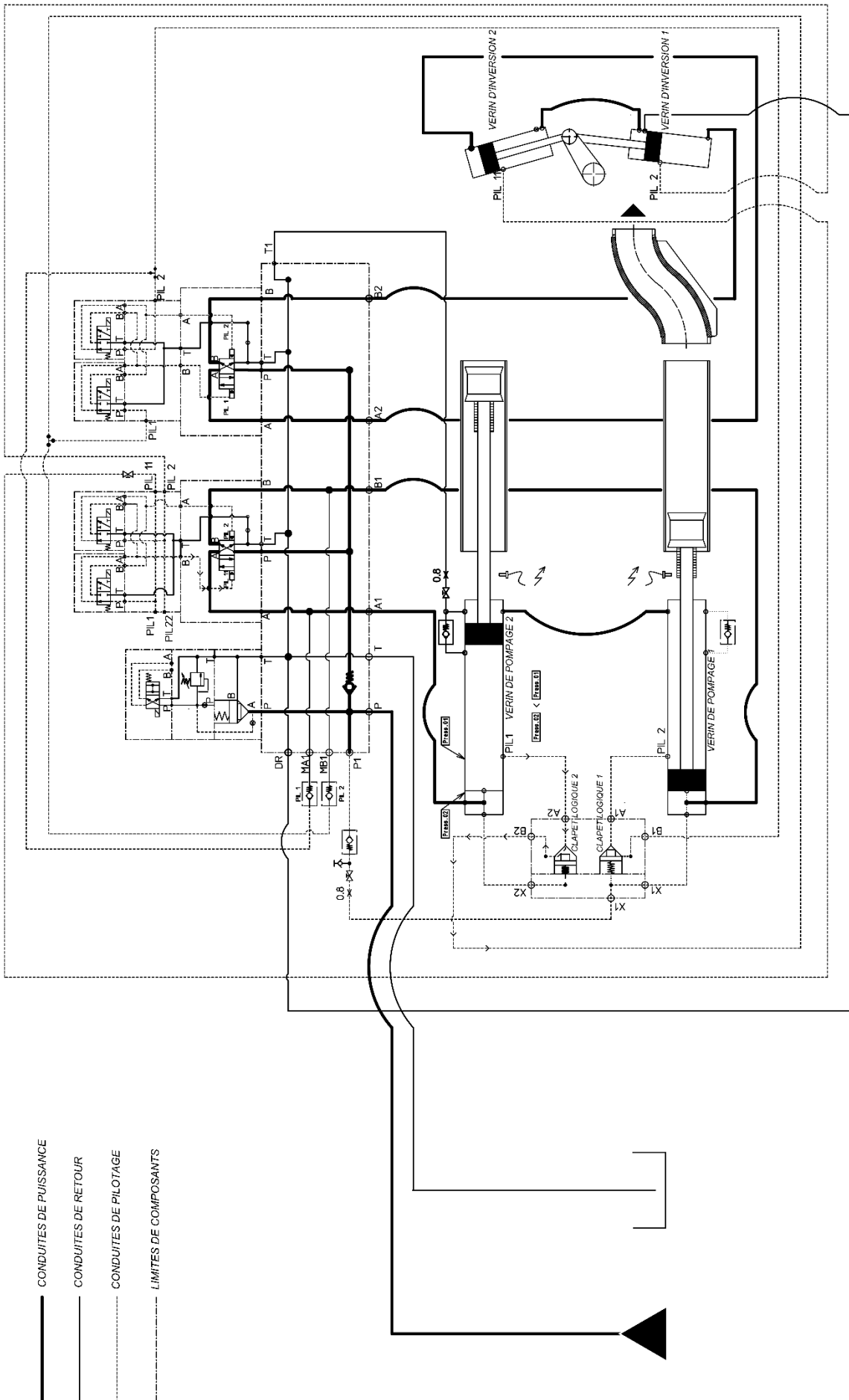
**DR4 - DR5**

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

Tournez la page S.V.P.

F

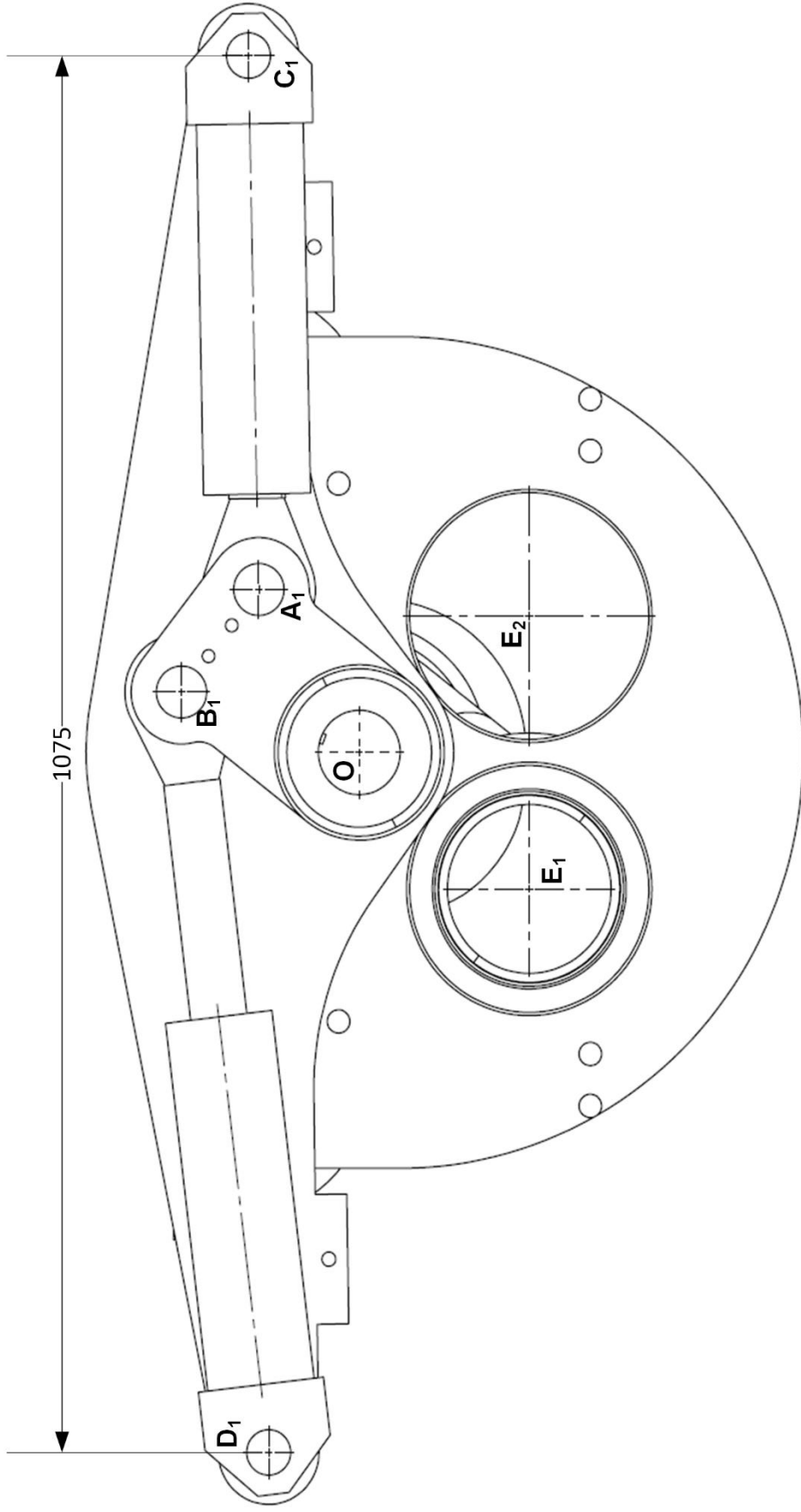
**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**



- CONDUITES DE PUISSANCE
- CONDUITES DE RETOUR
- - - CONDUITES DE PILOTAGE
- ..... LIMITES DE COMPOSANTS

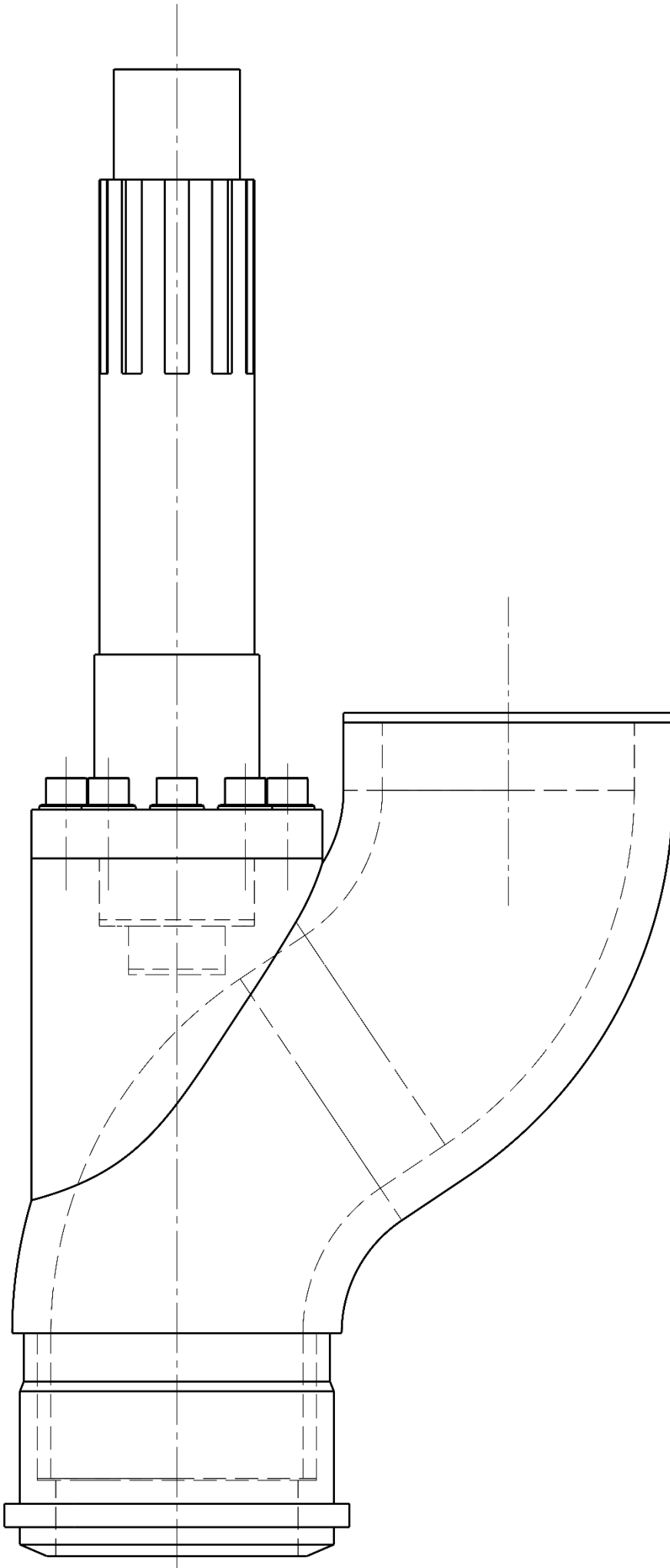
ECHELLE

1:5



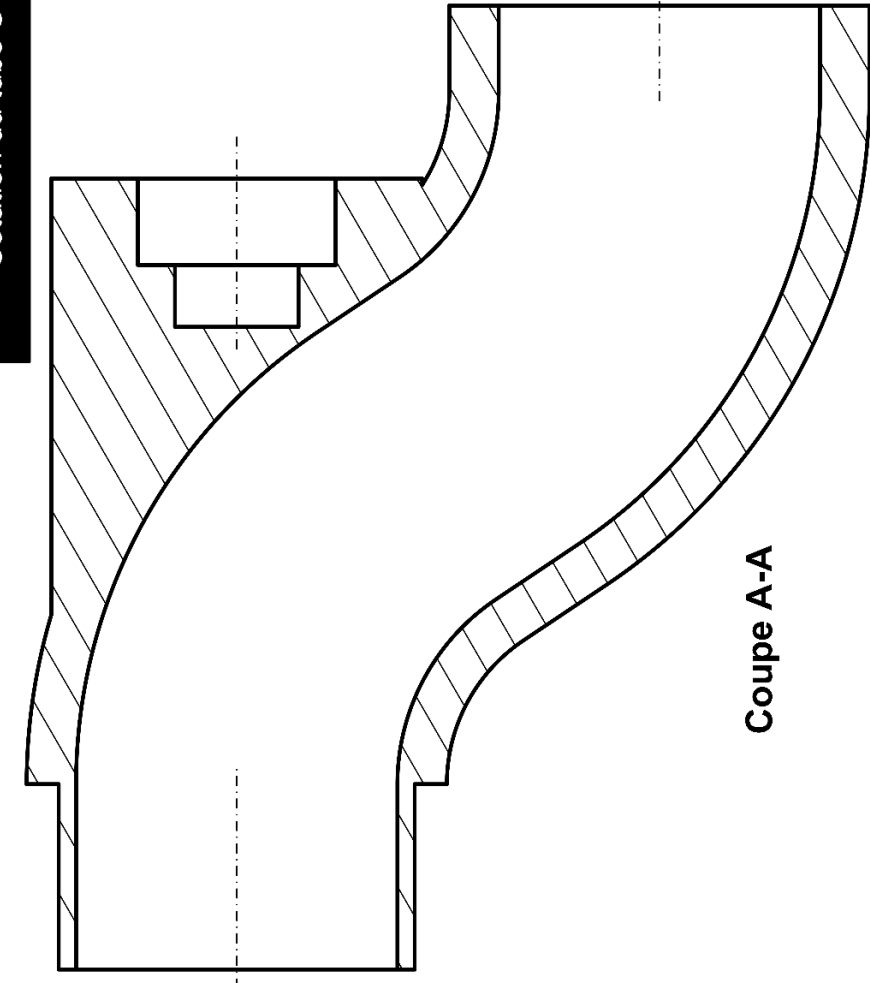


**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

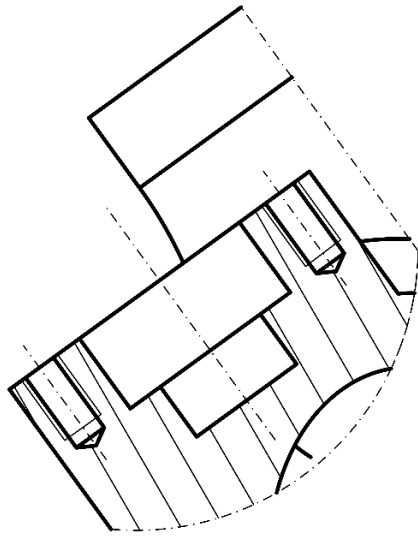
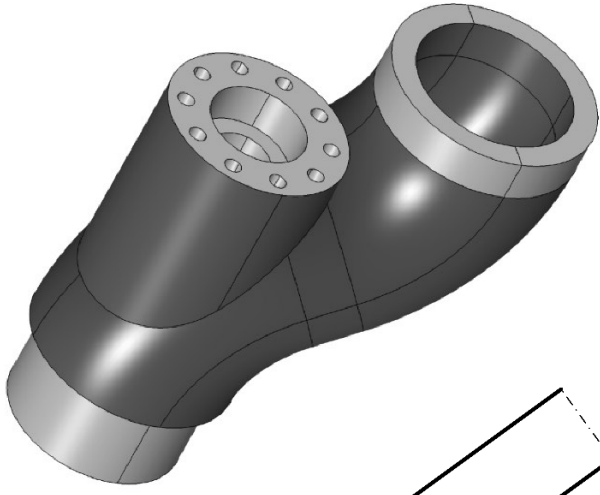
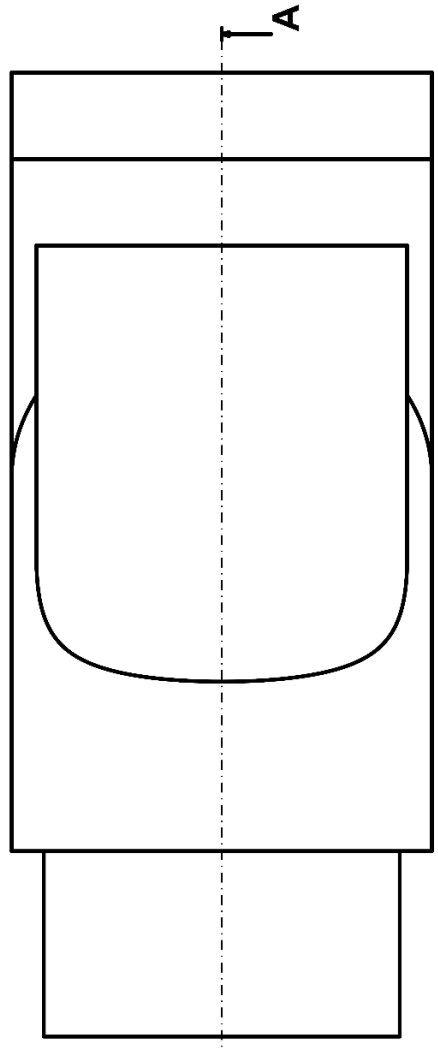




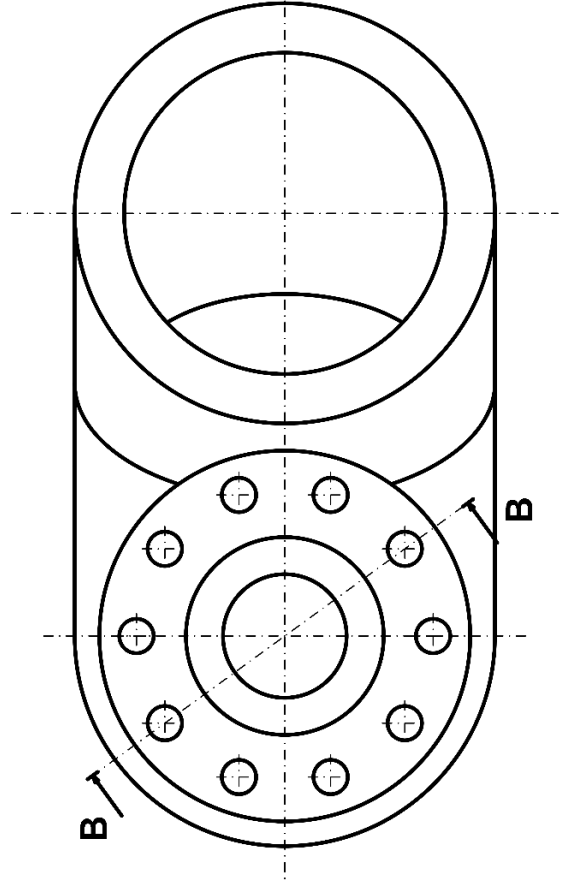
Cotation du tube S



Coupe A-A



Coupe B-B partielle



DR7

Modèle CMEN v3

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

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



**Prénom(s) :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Numéro Candidat :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Né(e)  
le :**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

*Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels*

**Concours :** ..... **Option / Section :** .....

**N° d'inscription :**

--	--	--

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

- externe  
 3<sup>e</sup> externe  
 externe spécial  
 interne ou 1<sup>er</sup> interne  
 2<sup>nd</sup> interne  
 2<sup>nd</sup> interne spécial

Cocher public OU privé  
UNIQUEMENT pour les  
concours enseignants :

- public  
 privé

**Examen professionnel pour l'avancement au grade de :** .....

*Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général*

**Examen :** ..... **Série / Spécialité :** .....

**Epreuve - Matière :** ..... **Session :** .....






EDE MEC 1

## DR8

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





**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

## Cas de liaisons

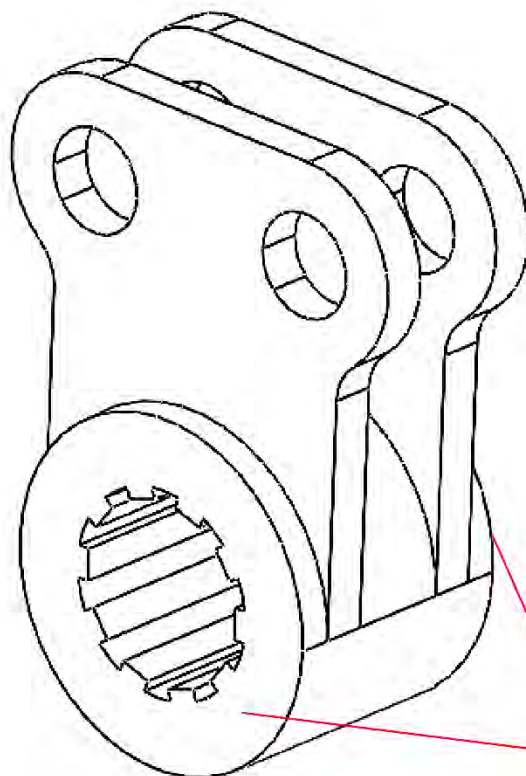
	ENCASTREMENT	Bloque tous les degrés de liberté des nœuds de la surface spécifiée
	GLISSEMENT SURFACIQUE	Permet aux nœuds de la surface de glisser le long d'une surface rigide coïncidente.
	LIAISON PIVOT	Permet à la pièce de tourner autour de l'axe désigné. Bloque tous les autres degrés de liberté
	LIAISON GLISSIERE	Permet à la pièce de translater le long de l'axe désigné. Bloque tous les autres degrés de liberté.
	CONTRAINTE AVANCEE	Permet de définir précisément les degrés de liberté bloqués pour les nœuds.

Source : CATIAV5 – Dassault Systèmes

## Cas de chargements

	FORCE DISTRIBUEE	Les forces distribuées sont des systèmes de force équivalant statiquement à une résultante en un point donné.
	MOMENT DISTRIBUE	Les moments distribués sont des systèmes de forces équivalant statiquement à un couple pur.
	CHARGEMENT PALIER	Simule les chargements de contact appliqués aux pièces cylindriques
	ACCELERATION	Génère une accélération uniforme sur la pièce.

Source : CATIAV5 – Dassault Systèmes

**Exemple de cas de liaison :**

Deux surfaces laterales en appui plan

