

Filière Systèmes industriels

Orientation Design & Materials

Travail de bachelor Diplôme 2021

Cyril Pitteloud

*Modernisation et optimisation d'un banc de
test pour l'entreprise Nammo*



Professeur
Gabriel Paciotti




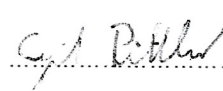
Expert
Marco Giannasi



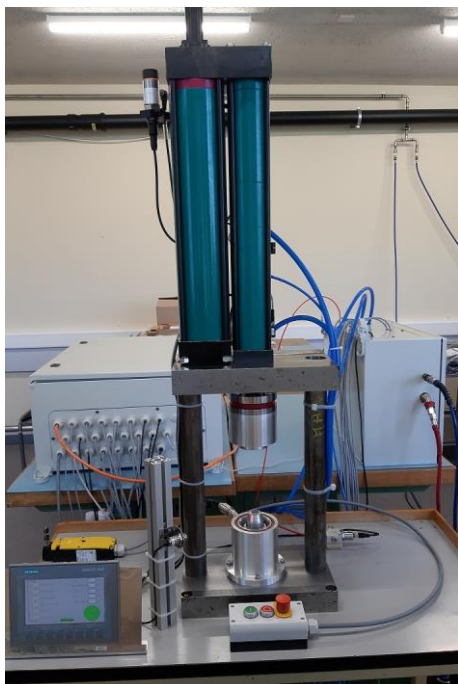
Date de la remise du rapport
20.08.2021

Filière / Studiengang SYND	Année académique / Studienjahr 2020/21	No TD / Nr. DA DM/2021/33
Mandant / Auftraggeber <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input checked="" type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>	Etudiant / Student Cyril Pitteloud <hr/> Professeur / Dozent Gabriel Paciotti	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input checked="" type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire <i>Partnerinstitution</i>
Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja ¹ <input checked="" type="checkbox"/> non / nein	Expert / Experte (données complètes) Marco Giannasi Nammo MTH SA, Route Principale 3, 1987 Hérémence marco.giannasi@nammo.com	

Titre / Titel Modernisation et optimisation d'un banc de test pour l'entreprise Nammo
Description / Beschreibung <p>L'entreprise Nammo MTH SA est une société internationale d'aérospatiale et de défense dont le siège social est en Norvège. Afin de garantir la sécurité de leurs produits, certains composants sensibles doivent subir un test à 30 bar afin d'assurer leur résistance et leur étanchéité. Le principe du test consiste à appliquer une pression (30 bar) à l'extérieur d'une pièce et de mesurer à l'intérieur de celle-ci une variation de pression, ceci à différentes températures. Actuellement, le test se fait manuellement sur un banc composé d'un système de verrouillage à pince, d'un manomètre de contrôle, d'une vanne d'alimentation en air et d'une vanne de décompression. Les éventuelles fuites sont détectées par un opérateur à l'aide d'un tuyau dans un bac d'eau.</p> <p>L'objectif du projet consiste à moderniser et optimiser le banc de test tant au niveau de la facilité d'utilisation et de son efficacité, que de la cadence de réalisation des tests.</p>
Objectifs / Ziele Sur la base du cahier des charges fourni par l'entreprise Nammo : <ol style="list-style-type: none"> Etablir un catalogue de solutions pour <ol style="list-style-type: none"> un nouveau système de verrouillage supportant les 30 bar une automatisation du contrôle de fuite, de la présence des 30 bar et de la mesure du temps Sélectionner le concept le plus adéquat et optimal (choix technico-financier) Concevoir : <ol style="list-style-type: none"> le nouveau système de verrouillage l'automate de contrôle du système Réaliser le banc d'essai.

Signature ou visa / Unterschrift oder Visum Responsable de l'orientation / filière <i>Leiter der Vertiefungsrichtung / Studiengang:</i>  ¹ Etudiant / Student : 	Délais / Termine Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags: 10.05.2021 Présentation intermédiaire / Zwischenpräsentation 07 – 08.06.2021 Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts: 20.08.2021, 12:00 Exposition / Ausstellung der Diplomarbeiten: 25 – 27.08.2021 (si autorisé / falls genehmigt) Défense orale / Mündliche Verfechtung: 30.08 – 09.09.2021
--	--

¹ Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive DI.1.2.02.07 liée au travail de diplôme.
 Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der/die Student/in, sich an die Richtlinie DI.1.2.02.07 der Diplomarbeit zu halten.



Travail de diplôme | édition 2021 |



Filière
Systèmes industriels

Domaine d'application
Design & Materials

Professeur responsable
Gabriel Paciotti
gabriel.paciotti@hevs.ch

Partenaire
Nammo MTH SA

Modernisation d'un banc de test d'étanchéité

Diplômant

Cyril Pitteloud

Objectif du projet

Afin de garantir la qualité de ses pièces, l'entreprise Nammo les contrôle à l'aide d'un test d'étanchéité. Ce test se faisait sur une machine manuelle chronophage. L'objectif du projet est de concevoir un nouveau banc de test automatisé.

Méthodes | Expériences | Résultats

Après une phase de recherche et de sélection de solutions techniques, deux concepts ont été présentés pour remplacer l'ancien banc de test. Nammo a validé un concept de test d'étanchéité à 30 bar.

Ce test consiste à positionner la pièce à contrôler sous une cloche, puis à injecter dans celle-ci la pression de test, et à mesurer une éventuelle augmentation de pression dans la zone située sous la pièce testée.

Le concept choisi est constitué d'un vérin hydropneumatique monté sur un bâti en portique. Ce vérin permet de maintenir la cloche en position fermée et de contenir la pression de test de 30 bar. Il applique sur le bâti une force de près de 5 tonnes.

Le projet de Bachelor a consisté à concevoir, dimensionner, assembler, câbler et programmer le banc de test. L'objectif étant que l'opérateur dépose simplement la pièce à tester dans la machine, presse sur le bouton Start et observe le résultat du test sur un écran.

Le banc de test est aujourd'hui fonctionnel et permet d'assurer des tests d'étanchéité avec un temps inférieur d'environ 20 secondes par rapport à la durée d'un test effectué sur l'ancien système.

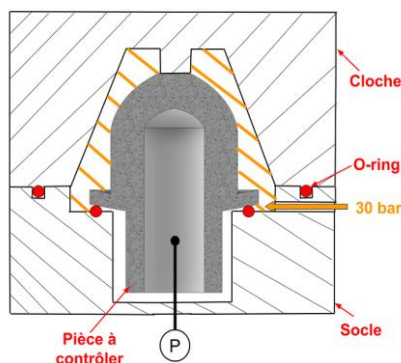
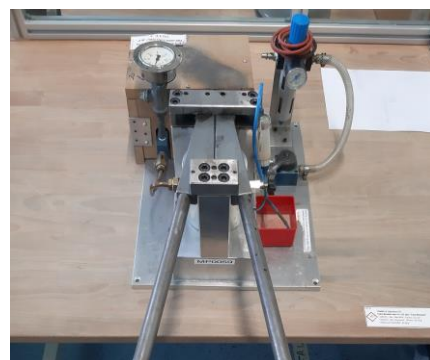
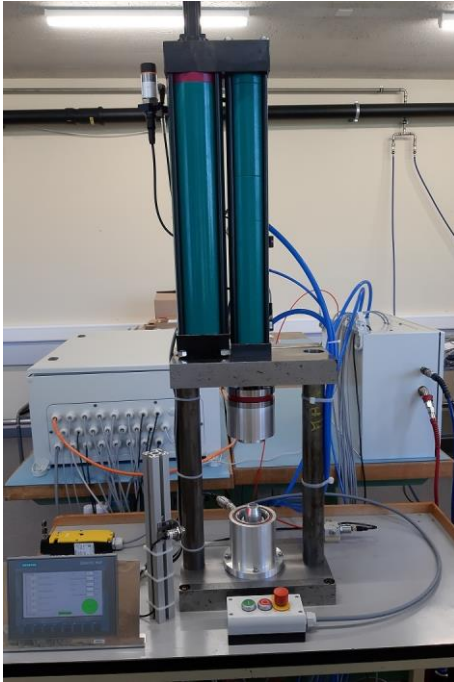


Schéma de principe du test d'étanchéité



Ancien banc de test de l'entreprise Nammo MTH SA



Modernisierung eines Dichtheitsprüfstandes

Diplomand

Cyril Pitteloud

Ziel des Projekts

Um die Qualität ihrer Produkte zu garantieren, überprüft die Firma Nammo diese mit einem Lecktest. Früher wurde dieser Test mit einer Maschine zeitaufwändig manuell durchgeführt. Das Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines neuen automatisierten Prüfstandes.

Methoden | Experimente | Resultate

Nach der Forschungsphase und dem Entwurf technischer Lösungen wurden zwei Konzepte als Ersatz für den alten Prüfstand vorgestellt.

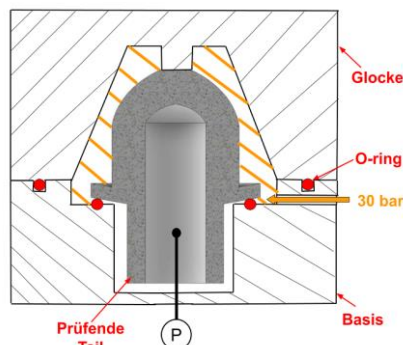
Nammo hat ein Konzept zur Dichtheitsprüfung bei 30 bar Druck bestätigt.

Bei dieser Prüfung wird das zu prüfende Teil unter einer Glocke positioniert. Anschliessend wird der Prüfdruck eingeleitet und der Druckanstieg in dem Bereich unter dem Prüfteil gemessen.

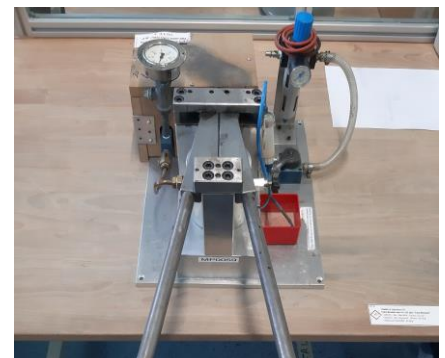
Das gewählte Konzept besteht aus einem hydropneumatischen Zylinder, der auf einem Rahmen montiert ist. Dieser hält die Glocke geschlossen und den Prüfdruck konstant auf 30 bar. Er übt eine Kraft von fast 5 Tonnen auf den Rahmen aus.

Die Bachelorarbeit bestand aus dem Entwurf, der Dimensionierung, dem Zusammenbau, der Verkabelung und der Programmierung des Prüfstandes. Ziel war es, dass der Bediener das zu prüfende Teil in die Maschine legt, den Startknopf drückt und das Prüfergebn auf einem Bildschirm angezeigt wird.

Der Prüfstand ist betriebsbereit und kann Dichtheitsprüfungen 20 Sekunden schneller durchführen als zuvor beim alten System.



Schematische Darstellung der Dichtheitsprüfung



Ehemaliger Prüfstand der Firma Nammo MTH SA

Diplomarbeit
| 2021 |

Studiengang
Systemtechnik

Anwendungsbereich
Design & Materials

Verantwortliche/r Dozent/in
Gabriel Paciotti
gabriel.paciotti@hevs.ch

Partner
Nammo MTH SA

Table des matières

Remerciements	4
Nomenclature des notations utilisées	5
1. Introduction	9
2. Ancien banc de test	12
3. Objectifs du projet	15
3.1 Cahier des charges	16
4. Etat de l'art : Test d'étanchéité	16
4.1 Contrôle par baisse de pression dans la pièce pressurisée.....	17
4.2 Contrôle par baisse différentielle de pression entre la pièce à contrôler et une pièce de référence	18
4.3 Contrôle par mesure du débit dans la pièce pressurisée.....	18
4.4 Contrôle par "récupération" de l'augmentation de pression sous cloche	19
5. Catalogue de solutions / concepts	19
5.1 Prédimensionnement	19
5.1.1 Temps de cycle et nombre de pièces testées	19
5.1.2 Valeur de fuite	20
5.1.3 Force de fermeture	21
5.2 Analyse de risques architecture	22
5.3 Analyse fonctionnelle et matrice des possibilités.....	23
5.4 Matrice décisionnelle	24
5.5 Concepts.....	25
5.5.1 Concept « Futuro »	26
5.5.2 Concept « Safety »	27
5.5.3 Sélection du concept	28
6. Conception	29
6.1 Analyse de risques machine	29
6.1.1 Analyse de risques SIL (EN 62061)	29
6.1.2 Analyse de risques PL _r (EN ISO 13849-1)	31
6.1.3 Relation entre PL _r et SIL.....	33
6.1.4 Mesures de protection SIL 2 PL _r d.....	33
6.2 Mécanique	35
6.3 Pneumatique.....	40
6.3.1 Circuit basse pression	41
6.3.2 Circuit haute pression	42

6.3.3 Circuit de fuite	43
6.4 Électrique.....	43
6.5 Programmation	45
7. Dimensionnement	46
7.1 Mécanique	46
7.1.1 Propriétés des matériaux.....	46
7.1.2 Force de fermeture	46
7.1.3 Plaque inférieure du portique.....	50
7.1.4 Plaque supérieure du portique.....	53
7.1.5 Vis M20 du portique.....	55
7.1.6 Colonnes	59
7.1.7 Vis M8 du vérin hydropneumatique	61
7.1.8 Accouplement du vérin	61
7.1.9 Ressort en polyuréthane.....	62
7.1.10 Socle de la pièce à tester	62
7.1.11 Synthèse	66
7.2 Pneumatique.....	67
7.2.1 Basse pression.....	67
7.2.2 Haute pression	67
7.2.3 Circuit de fuite	67
7.3 Electrique.....	68
7.4 Fuite.....	68
8. Réalisation	69
8.1 Mécanique	69
8.2 Pneumatique.....	71
8.3 Electrique.....	72
9. Gestion et finance	72
9.1 Dépenses.....	73
9.2 Prévisions	73
9.3 Amortissement.....	73
10. Utilisation du banc	73
11. Synthèse	75
12. Conclusion.....	75
13. Perspectives du projet	75
13.1 Documentation.....	75
13.2 Mécanique	76
13.3 Pneumatique.....	76

13.4 Electrique.....	76
13.5 Programmation	76
13.6 Sécurité.....	76
13.7 Test d'étanchéité.....	76
14. Bibliographie.....	77
15. Annexes	79
Annexe 1 : Tableau et matrices de gestion des risques architecture.....	
Annexe 2 : Matrice des possibilités	
Annexe 3 : Matrices décisionnelles	
Annexe 4 : Informations techniques du vérin hydropneumatique	
Annexe 5 : Plans mécaniques.....	
Annexe 6 : Schémas pneumatiques.....	
Annexe 7 : Datasheet capteur de pression 40 bar	
Annexe 8 : Datasheet capteur de pression 250 mbar.....	
Annexe 9 : Schémas électriques.....	
Annexe 10 : Programme de l'automate	
Annexe 11 : Liste de matériel.....	

Remerciements

Je tiens à remercier l'entreprise Nammo MTH SA ainsi que tous les cadres et managers de cette entreprises, Monsieur Pascal GUENOT, Monsieur Marco GIANNASI, Monsieur Florian COTTIER, Monsieur Claude ROBERT-NICOUD et Monsieur Nicolas ZUFFEREY pour avoir rendu ce projet possible. Leurs disponibilités, leurs précieux conseils ainsi que le temps qu'ils ont investi dans le cadre de ce projet ont été déterminants. Ils m'ont témoigné une confiance et une liberté d'action exceptionnelle.

Mes remerciements vont également à mon professeur Monsieur Gabriel PACIOTTI, d'une part pour m'avoir accordé sa confiance en acceptant de diriger ce projet et, d'autre part, pour son ouverture d'esprit, sa flexibilité, sa bienveillance et ses précieux conseils.

Je remercie également Monsieur Daniel LEVRAND pour sa disponibilité et ses conseils pratiques sur la partie électrique du projet.

Je tiens également à remercier Monsieur Gérard COTTIER et Monsieur Christophe TRUFFER pour leurs aides précieuses dans la partie programmation du projet. Ils ont fait preuve d'une incroyable disponibilité et ont su m'aider lorsque j'étais dans l'impasse. Merci à vous pour votre investissement et pour le temps que vous avez consacré à ce projet.

Merci également aux entreprises partenaires et à leurs conseillers qui ont su m'aiguiller durant ce projet. Je pense notamment à Madame Carole MARGELISCH et Monsieur Claude MARGELISCH, Direction de Margelisch SA; Monsieur Stéphane GROSSENBACHER, Monsieur Thibaut AMSTUTZ et Monsieur Vivien GILLIÉRON, conseillers techniques chez Bachofen SA; Monsieur Christophe LEROUX, Technico-commercial chez TOX Pressotechnik; Monsieur Steve RAPIN, Directeur technique chez aR Fixation Sàrl; Monsieur Marco BIASI, conseiller technique chez SMC Schweiz AG; Monsieur Bruno BARRASSO, Technico-commercial chez Ramseier Werkzeugnormalien AG; Monsieur Gerard AHANDAGBE, technicien chez Siemens Schweiz AG; Monsieur Mathieu ANCIAN, technicien chez Angst+Pfister, Monsieur Christian BULLONI, Directeur de Bulloni mécanique générale et Serrurerie SA; ainsi que tous les autres conseillers et entreprises qui ont également participé à ce projet.

Je remercie tous les collaborateurs de chez Nammo MTH SA qui ont participé de quelque manière que ce soit à la réalisation du projet. Je pense notamment à Monsieur Eliezer Xavier DA SILVA, mécanicien chez Nammo MTH qui a réalisé une bonne partie des pièces mécaniques du projet.

Je remercie également tous les collaborateurs de la HES-SO qui ont participé de quelque manière que ce soit à la réalisation du projet comme notamment Monsieur Cédric CLIVAZ, assistant technique, et Monsieur David BERTHOUSOZ, polymécanicien.

Une pensée particulière également pour le Docteur Samuel REY-MERMET, professeur à la HES-SO, qui m'a encouragé à me spécialiser en Design & Materials durant mon Bachelor ce qui m'a permis d'acquérir les connaissances en mécanique nécessaires pour réaliser ce projet.

Je ne saurais terminer sans remercier ma mère Cathy PITTELOUD, mon père Jean-Camil PITTELOUD et mon frère Tristan PITTELOUD pour leurs soutiens, leurs encouragements et leurs conseils tous au long de ce projet et de mon parcours de vie.

Nomenclature des notations utilisées

p	Pression [Pa]
g	Accélération terrestre [m/s ²]
h	Hauteur d'eau [m]
Q	Valeur de fuite [$\frac{\text{mbar}\cdot\text{l}}{\text{s}}$]
V	Volume de la zone de fuite [l]
t	Durée du test [s]
F_{ferm}	Force de fermeture [N]
A	Surface de la cloche sur laquelle la pression s'applique [m ²]
Fr	Fréquence d'exposition à un événement dangereux (selon EN 62061) [-]
Pr	Probabilité d'apparition d'un événement dangereux (selon EN 62061) [-]
AV	Probabilité d'évitement ou de limitation d'un dommage (selon EN 62061) [-]
Se	Sévérité d'un événement dangereux (selon EN 62061) [-]
Cl	Classe de probabilité d'un dommage (selon EN 62061) [-]
SIL	Niveau d'intégrité de sécurité (selon EN 62061) [-]
S	Gravité de la blessure (selon EN ISO 13849-1) [-]
F	Fréquence et/ou durée d'exposition au phénomène dangereux (selon EN ISO 13849-1) [-]
P	Possibilité d'éviter le phénomène dangereux ou de limiter le dommage (selon EN ISO 13849-1) [-]
PL_r	Niveau de performance requis (selon EN ISO 13849-1) [-]
E	Module de Young [GPa]
Re	Limite élastique [MPa]
σ_e	Limite d'endurance [MPa]
$F_{ferm30bar}$	Force de fermeture avec 30 bar de pression sous cloche [N]
$F_{ferm34bar}$	Force de fermeture avec 34 bar de pression sous cloche [N]
$F_{compr.diam}$	Force de compression en mm du diamètre intérieur du O-ring [$\frac{N}{mm}$]
$F_{compr.g}$	Force nécessaire pour comprimer le grand O-ring [N]
$F_{compr.p}$	Force nécessaire pour comprimer le petit O-ring [N]
$d_{O.g}$	Diamètre intérieur du grand joint O-ring [mm]

$d_{O,p}$	Diamètre intérieur du petit joint O-ring [mm]
$F_{micromec}$	Force provoquée par la pression de test sur les éléments micromécaniques/électroniques [N]
$A_{micromec}$	Surface dans la pièce à tester soumise à la pression de test [m ²]
$F_{ressort}$	Force provoquée par la compression du ressort [N]
$k_{ressort}$	Constante du ressort [$\frac{N}{mm}$]
$d_{ressort}$	Compression du ressort [mm]
ε_{PTFE}	Déformation de l'appui en PTFE [-]
Δl_{PTFE}	Delta de longueur de l'appui en PTFE [mm]
l_{0PTFE}	Longueur initiale de l'appui en PTFE [mm]
σ_{PTFE}	Contrainte subie par l'appui en PTFE [MPa]
E_{PTFE}	Module de Young du PTFE [MPa]
S_{PTFE}	Surface soumise à déformation de l'appui en PTFE [mm ²]
F_{PTFE}	Force nécessaire pour déformer l'appui en PTFE [N]
F_{verin}	Force min. que le vérin doit fournir pour maintenir l'ensemble fermé [N]
F_{AQ}	Charge de service de la vis [N]
F_{Mmin}	Précontrainte nécessaire de la vis [N]
F_{vis}	Charge totale soumise à la vis [N]
σ_{FM20}	Contrainte provoquant de la fatigue dans la vis M20 [MPa]
A_{M20}	Section résistante d'une vis M20 [mm ²]
M_A	Couple de serrage de la vis [Nm]
F_M	Précontrainte nécessaire de la vis [kN]
X	Facteur de conversion [-]
$\sigma_{rondelle}$	Contrainte dans la rondelle [MPa]
A_p	Surface d'appui sous la vis [mm ²]
$\sigma_{colonneM}$	Contrainte dans la partie massive de la colonne [MPa]
$F_{colonne}$	Force dans la colonne [N]
$A_{colonneM}$	Section de la partie massive de la colonne [mm ²]
$\Delta l_{colonneM}$	Allongement de la partie massive de la colonne [mm]

$E_{acier\ basique}$	Module de Young de l'acier basique [MPa]
$l_{0colonneM}$	Longueur initiale de la partie massive de la colonne [mm]
$\sigma_{colonneT}$	Contrainte dans la partie taraudée de la colonne [MPa]
$A_{colonneT}$	Section de la partie taraudée de la colonne [mm ²]
$\Delta l_{colonneT}$	Allongement de la partie taraudée de la colonne [mm]
$l_{0colonneT}$	Longueur initiale de la partie taraudée de la colonne [mm]
σ_{pur}	Contrainte dans le polyuréthane [MPa]
$F_{verinMax}$	Force maximale fournie par le vérin [N]
A_{pur}	Section du polyuréthane [mm ²]
Δl_{pur}	Compression du polyuréthane [mm]
E_{pur}	Module de Young du polyuréthane [MPa]
l_{0pur}	Hauteur initiale du polyuréthane [mm]
σ_{comprG}	Contrainte de compression sur le grand diamètre du socle due à la force du vérin à travers la cloche [MPa]
A_{appuiG}	Surface d'appui de la cloche sur le socle [mm ²]
$\sigma_{\theta G}$	Contrainte tangentielle sur le grand diamètre du socle due à la pression de test [MPa]
p_{socle}	Pression de test [MPa]
r_G	Rayon intérieur du grand diamètre [mm]
t_G	Epaisseur de la paroi sur le grand diamètre [mm]
$\sigma_{VonMisesG}$	Contrainte de Von Mises du grand diamètre du socle [MPa]
σ_x	Contrainte sur l'axe x [MPa]
σ_y	Contrainte sur l'axe y [MPa]
τ_{xy}	Contrainte de cisaillement [MPa]
F_{ptest}	Force que la pièce de test applique sur son socle [N]
A_{ptest}	Surface de la pièce à tester [m ²]
σ_{comprP}	Contrainte de compression sur le petit diamètre du socle [MPa]

A_{appuiP}	Surface d'appui de la pièce de test sur le socle [mm ²]
$\sigma_{\theta p}$	Contrainte tangentielle sur le petit diamètre du socle due à la pression de test [MPa]
r_p	Rayon intérieur du petit diamètre [mm]
t_p	Epaisseur de la paroi sur le petit diamètre [mm]
$\sigma_{VonMisesP}$	Contrainte de Von Mises du petit diamètre du socle [MPa]
$\Delta l_{portique}$	Allongement total du portique [mm]
$\Delta l_{plaqueSup}$	Allongement max. de la plaque supérieure du portique [mm]
$\Delta l_{plaqueInf}$	Allongement max. de la plaque inférieure du portique [mm]
$Q_{vérin}$	Consommation d'air du vérin [$\frac{l}{min}$]
$V_{vérin}$	Volume du vérin [l]
t_{pneu}	Temps de sortie du vérin en mode pneumatique [s]
t_{hydr}	Temps du passage en hydraulique du vérin [s]
Q_{nouv}	Valeur de fuite détectable par le nouveau banc [$\frac{mbar \cdot l}{s}$]
p_{capt}	Delta de pression minimal détectable par le capteur [mbar]

1. Introduction

L'entreprise Nammo est une société internationale d'aérospatiale et de défense dont le siège social est en Norvège. Avec plus de 2700 employés répartis sur plus de 30 sites dans 12 pays différents, Nammo est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de munitions et de moteurs-fusées pour des clients civils et militaires.

Le projet pour ce travail de Bachelor est proposé par le site d'Hérémence en Valais.

Ce site est spécialisé dans l'assemblage de composants micromécaniques. Ceux-ci doivent résister à de fortes accélérations, des pressions dynamiques élevées et des températures variables.

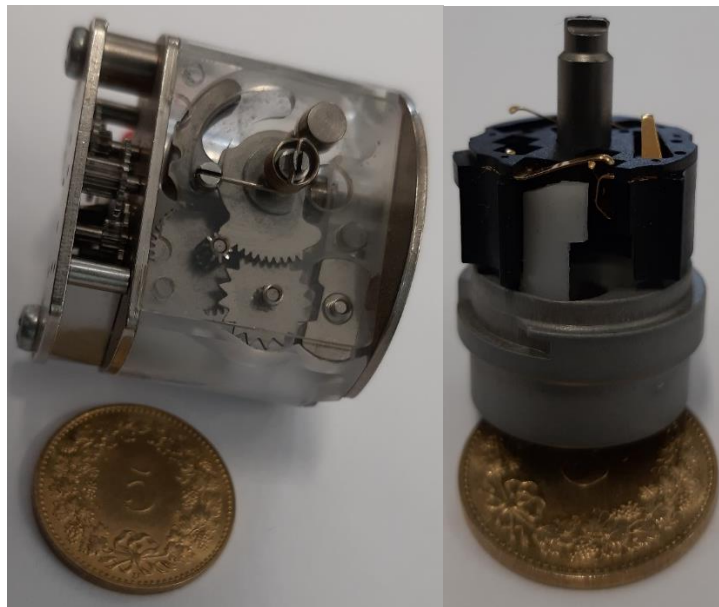


Figure 1-1 : Exemples de systèmes micromécaniques fabriqués à Hérémence

Afin de résister aux diverses forces extérieures, ces assemblages mécaniques sont montés dans une enveloppe protectrice.

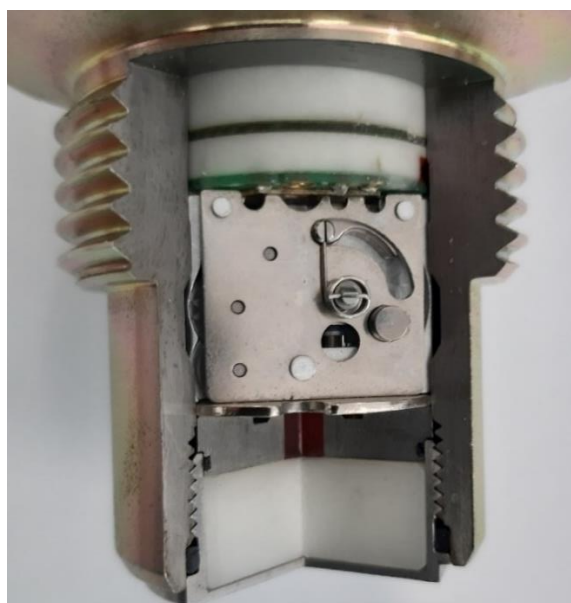


Figure 1-2 : Système micromécanique dans son enveloppe

L'étanchéité et la solidité de cette enveloppe sont contrôlées à l'aide d'un test sous 30 bar de pression.

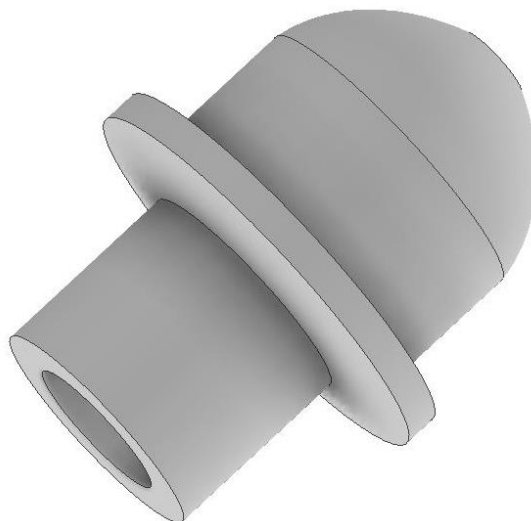


Figure 1-3 : Illustration d'une enveloppe pouvant être testée

Le principe du test consiste à appliquer une pression de 30 bar à l'extérieur de la pièce et de mesurer à l'intérieur de celle-ci une variation de pression. Le test s'effectue à -40°C, 21°C et 60°C.

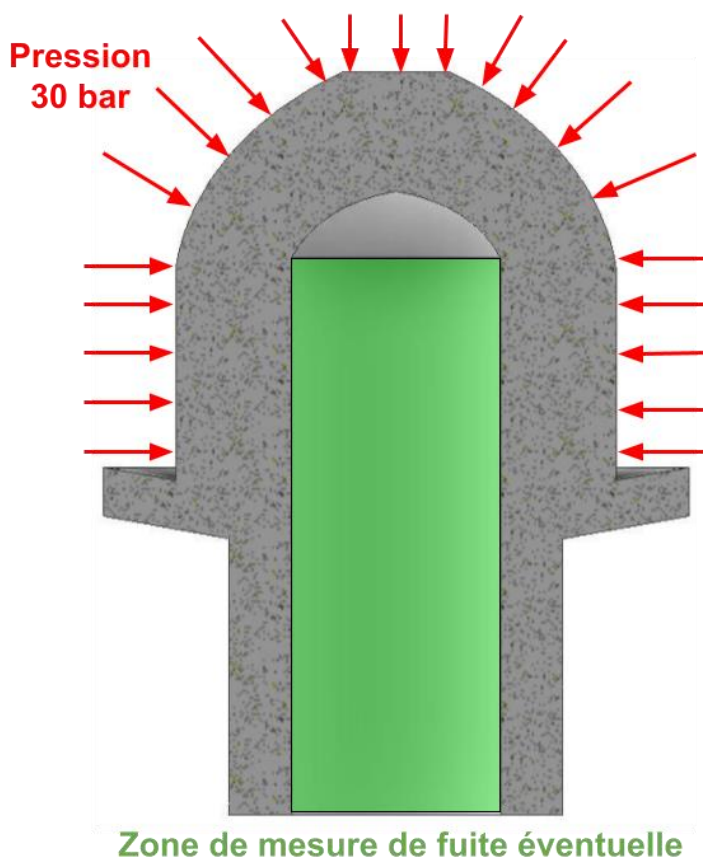
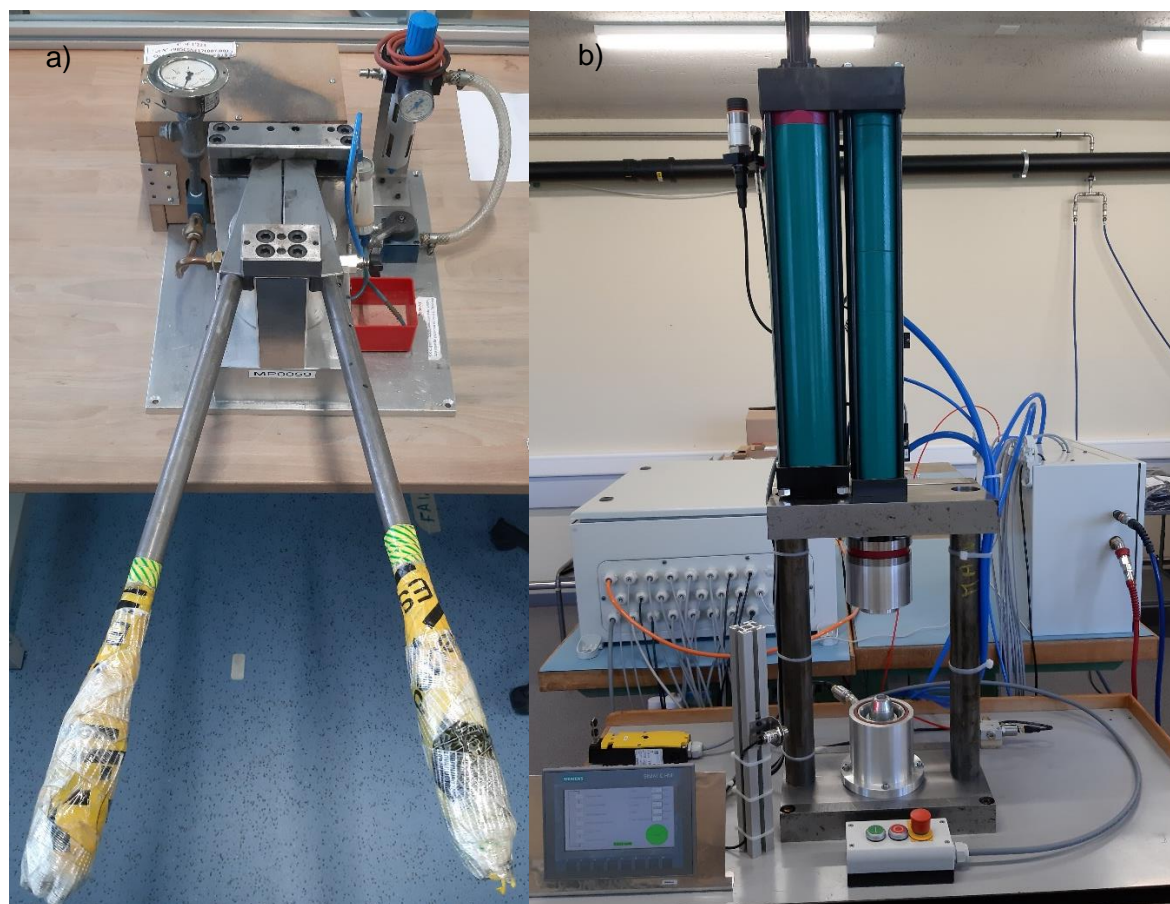


Figure 1-4 : Schéma de principe du test

Le test se faisait sur un banc de test manuel. Le travail de diplôme a consisté à réaliser un banc de test automatisé autant vis-à-vis du système mécanique que concernant la détection de fuite.



*Figure 1-5 : a) Ancien banc de test
b) Nouveau banc de test réalisé dans le cadre de ce travail de diplôme*

2. Ancien banc de test

Sur l'ancien système, le test se fait manuellement sur un banc composé d'un système de verrouillage à pince, d'un manomètre de contrôle, d'une vanne d'alimentation en air et d'une vanne de décompression.

Les éventuelles fuites sont détectées par un opérateur à l'aide d'un tuyau dans un bac d'eau. En cas de présence de bulles dans celui-ci, la pièce n'est pas étanche. Le test dure 10 secondes. Ce temps est mesuré à l'aide d'un chronomètre. La pression qui est mesurée sur le manomètre de contrôle doit être de 30 bar pendant toute la durée du test.

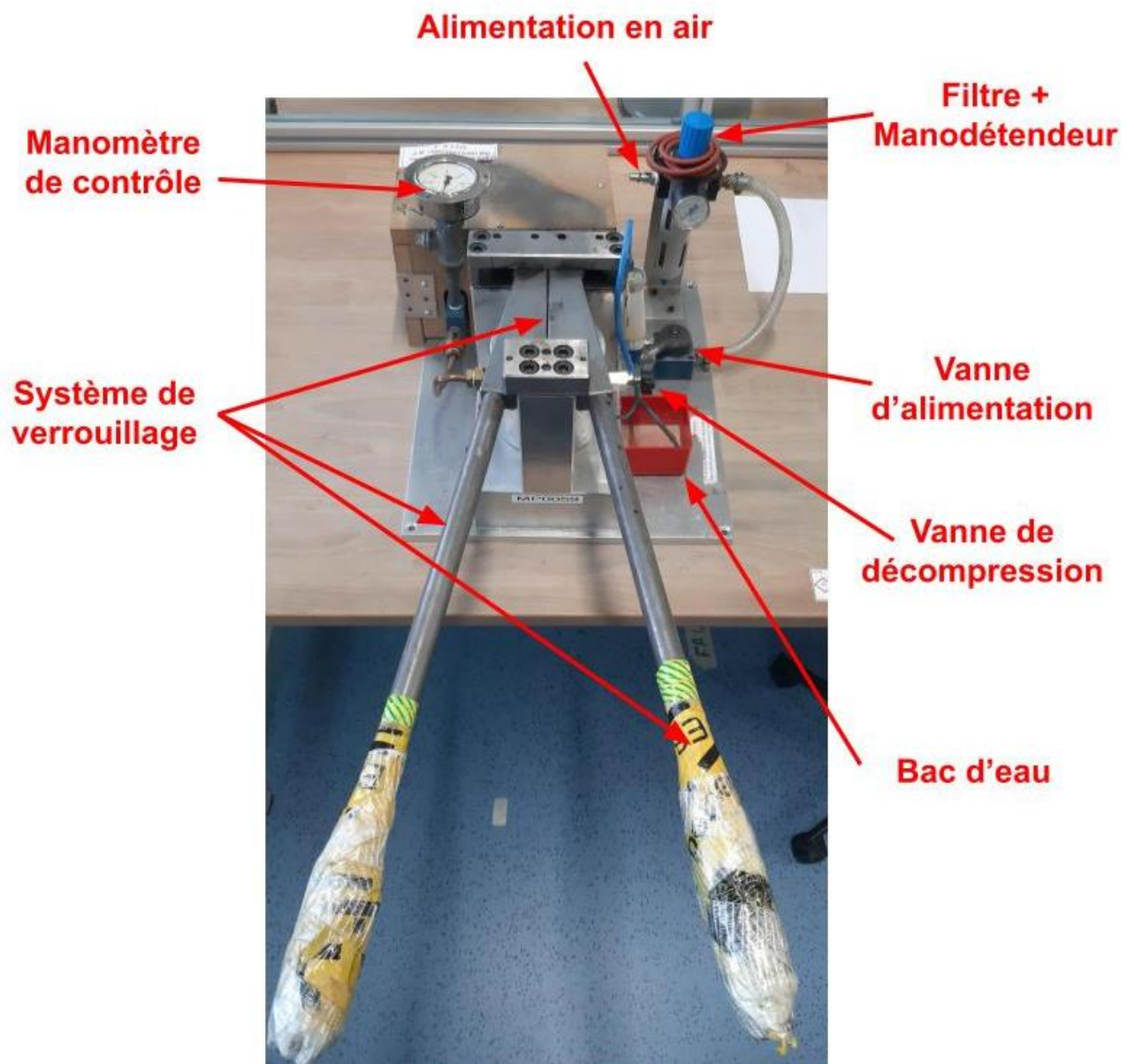


Figure 2-1 : Ancien banc de test

Pour réaliser le test, un opérateur doit tout d'abord ouvrir le système à pince et ôter la cloche pour y placer la pièce à contrôler.

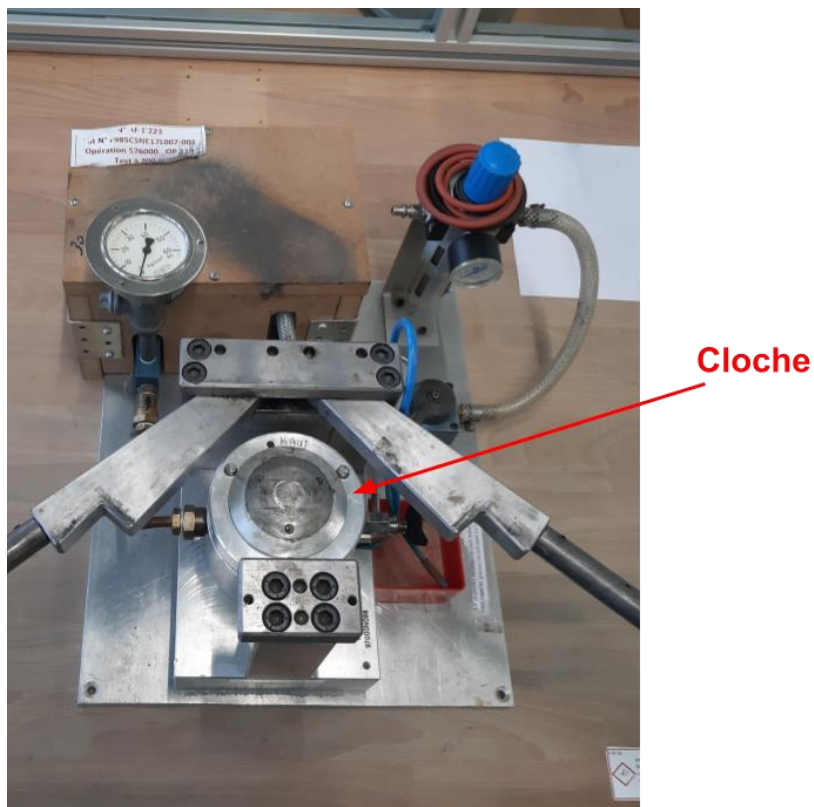


Figure 2-2 : Système de verrouillage ouvert avec la cloche en place

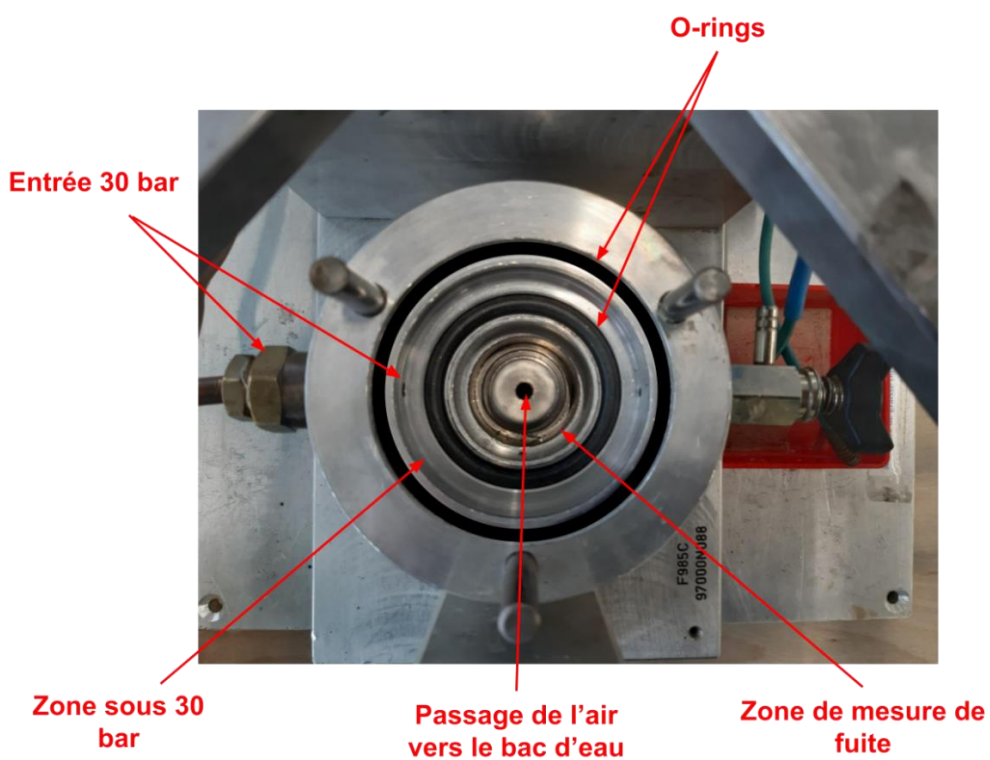


Figure 2-3 : Système de verrouillage ouvert sans la cloche



Figure 2-4 : Intérieur de la cloche

Une fois le système complètement ouvert, il faut positionner la pièce à contrôler. Il faut ensuite repositionner la cloche qui supporte la pression, et qui maintient en place la pièce à contrôler. Finalement, il faut mettre le système sous pression à l'aide de la vanne d'alimentation.

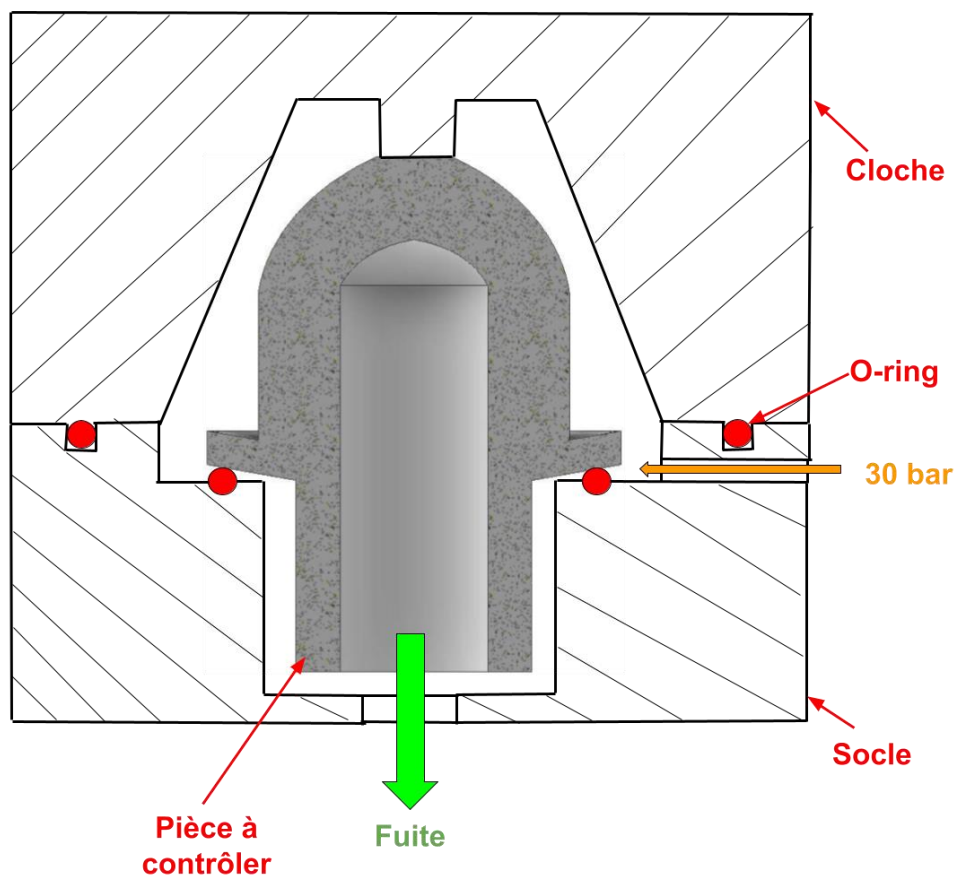


Figure 2-5 . Schéma de principe du banc de test actuel

Si la pièce n'est pas étanche, l'air provenant de la fuite est amené à l'aide d'un tuyau dans un bac d'eau provoquant des bulles.

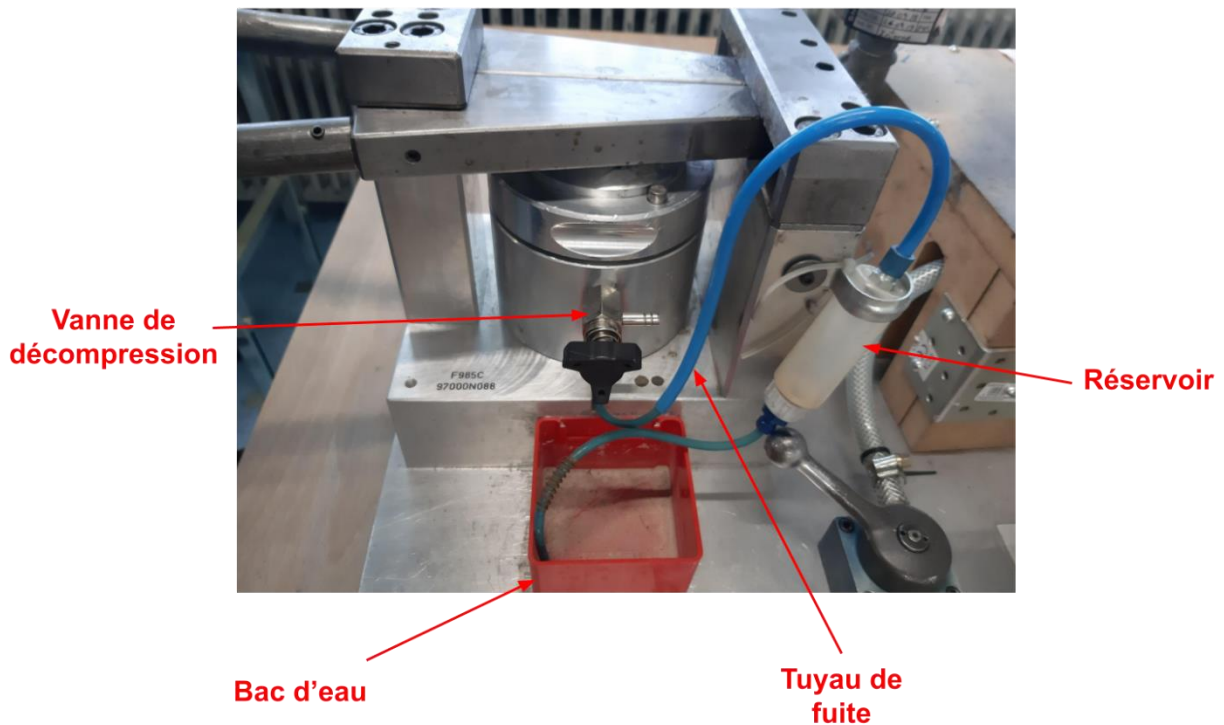


Figure 2-6 : Partie du banc servant à la détection de fuite

Une fois le test terminé, la vanne d'alimentation est refermée et la vanne de décompression ouverte. La pièce est libérée du banc et vérifiée visuellement afin de garantir qu'elle n'est pas endommagée.

Pour tester une nouvelle pièce, il faut refermer la vanne de décompression et recommencer le protocole de test décrit ci-dessus.

3. Objectifs du projet

L'ancien banc de test, bien que fonctionnel, mérite quelques optimisations :

- Le système de verrouillage à pince demande une force considérable pour être fermé à la main
- L'utilisation manuelle de ce banc nécessite beaucoup de temps aux opérateurs
- La sécurité n'est pas garantie sur ce banc

Par conséquent l'objectif de ce projet est de :

- Concevoir un nouveau système de verrouillage supportant les 30 bar
- Diminuer le temps nécessaire à un opérateur pour effectuer un test
- Automatiser le contrôle de la fuite et la mise en pression à 30 bar
- Garantir la sécurité de l'opérateur travaillant sur ce banc de test

3.1 Cahier des charges

Les éléments suivants sont attendus dans le cadre de ce projet :

- Etablir un catalogue de solutions pour le système de verrouillage et l'automatisation du banc
- Sélectionner le concept le plus adéquat (choix technico-financier)
- Concevoir le système de verrouillage et l'automate
- Garantir la sécurité de l'opérateur
- Réaliser le banc de test
- Créer et gérer la data des tests
- Tester et valider le banc
- Documenter le projet et le travail effectué.

La sécurité du banc, la création et gestion de Data et la validation du banc sont de la responsabilité de l'entreprise Nammo. Toutefois, ces éléments sont pris en compte lors de la conception du banc afin de rendre ces éléments facilement réalisables pour l'entreprise.

4. Etat de l'art : Test d'étanchéité

L'entreprise ForTest France Sarl spécialiste des appareils pour le test d'étanchéité et débit définit le test d'étanchéité de la manière suivante :

« Par **test d'étanchéité** ou **contrôle d'étanchéité**, nous entendons un processus capable de vérifier l'herméticité pneumatique d'un produit avec un test de fuite. Contrairement à la plupart des types de mesures, comme celle de dimension ou de poids, le contrôle implique nécessairement un appareil automatique pour le test.

Faisons un distinguo entre deux typologies de matériels de **contrôle d'étanchéité** :

A) Systèmes de vérification, avec opérateur et localisation du point de fuite

- Contrôle en eau avec pièce pressurisée (contrôle visuel)
- Contrôle avec eau savonneuse (contrôle visuel)
- Contrôle avec réactifs et lampes à UV (contrôle visuel)
- Contrôle avec gaz (Hélium) pressurisé (spectromètre de masse)
- Contrôle avec air chaud pressurisé (contrôle visuel avec IR)
- Contrôle à variation de diélectrique sur pièces en plastique (système ionique à haute tension)

B) Systèmes automatiques avec indication de **Bon/Rejet** et **valeur de fuite**

- Contrôle par mesure du débit dans la pièce pressurisée
- Contrôle par baisse différentielle de pression entre la pièce à contrôler et une pièce de référence
- Contrôle par baisse de pression dans la pièce pressurisée
- Contrôle par "récupération" de l'augmentation de pression sous cloche

S'il est vrai que le premier type d'appareillage constitue une zone de **contrôle statistique** et hors ligne irremplaçable, ils permettent également de repérer des fuites très petites en mode visuel, les appareils de la seconde catégorie, constituent la barrière effective en fin de ligne en ce qui concerne la production non conforme.

Ils permettent également de monitorer dans le temps d'éventuelles dérives qualitatives, si appliqués à toute la production.

Vue l'évidence du fonctionnement des appareils de la première catégorie, nous ne nous attarderons pas sur une description technique détaillée.

Considérons seulement que les systèmes basés sur les spectromètres de masse (renifleurs à Hélium), bien qu'onéreux autant en termes d'installation qu'à utilisation, se situent au summum de la **détection de fuites** par rapport à n'importe lequel des systèmes décrits.

Au contraire, les systèmes à eau, savon ou réactifs, consentent la détection de fuites très petites pour un coût dérisoire, ils ne sont pas automatisables et sont donc soumis à l'interprétation de l'opérateur, ce qui peut générer des erreurs de jugement. » [1]

Dans le cadre de ce projet, les Systèmes automatiques avec indication de **Bon/Rejet** et **valeur de fuite** sont les systèmes à privilégier. Leurs principes de fonctionnements sont expliqués ici.

4.1 Contrôle par baisse de pression dans la pièce pressurisée

Cette méthode également connu sous le nom de « Système absolu » consiste à mettre sous pression la pièce à contrôler puis à isoler le circuit pneumatique et observer une diminution de pression dans celui-ci en cas de fuite.

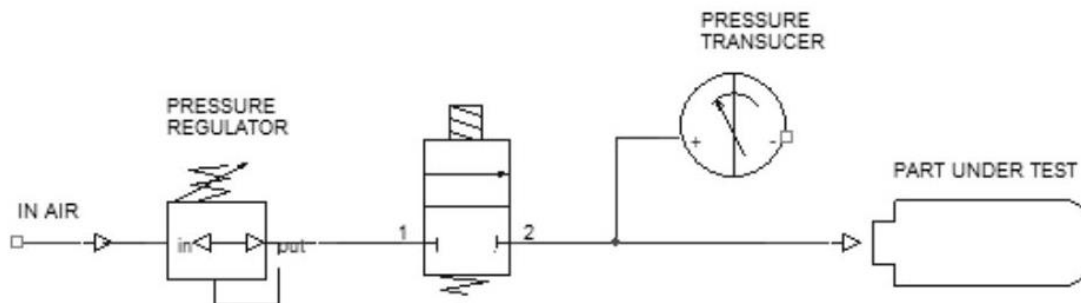


Figure 4-1 : Schéma pneumatique d'un test d'étanchéité "Système absolu" selon FORTEST FRANCE Sarl [2]

Ce système a l'avantage d'être très simple mais il n'est pas sans défauts. En effet il est possible que les fuites détectées par une chute de pression soient dues à une fuite dans la partie pneumatique et non pas dans la pièce contrôlée.

4.2 Contrôle par baisse différentielle de pression entre la pièce à contrôler et une pièce de référence

Ce système est basé sur le même principe que le système absolu. Cependant il utilise deux circuits pneumatiques. Un circuit de référence avec une pièce sans fuite et un circuit avec la pièce à contrôler. La mesure de pression s'effectue entre ces deux circuits.

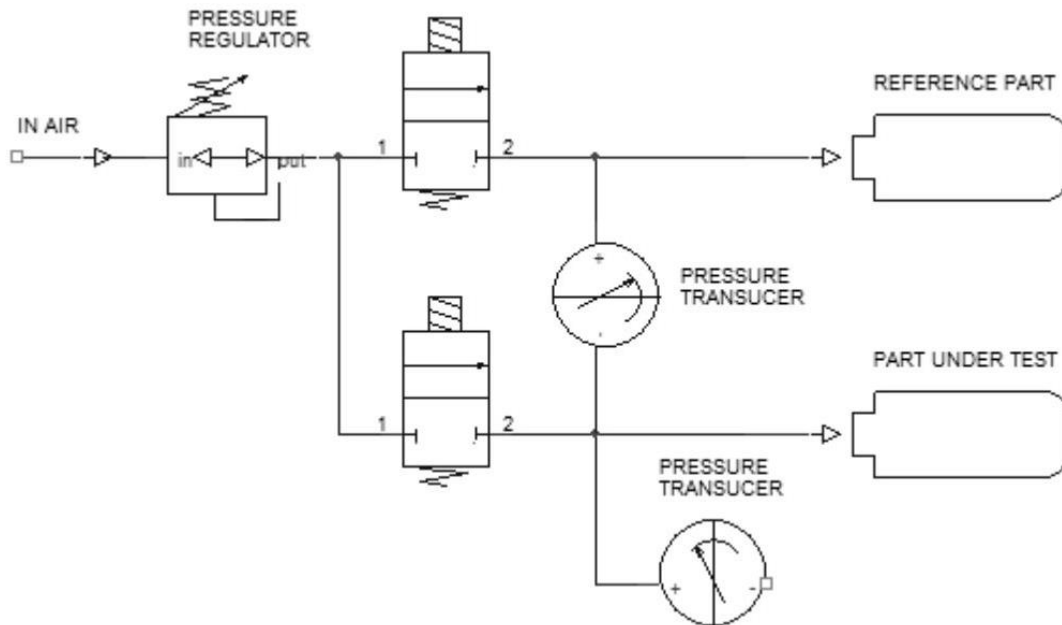


Figure 4-2 : Schéma pneumatique d'un test d'étanchéité par baisse différentielle de pression " selon FORTEST FRANCE Sarl [3]

Ce principe était très utilisé jusque dans les années 1980, mais aujourd'hui on ne trouve plus d'applications pratiques car ce système a été surplacé par des systèmes absolus ou à récupération de l'augmentation de pression sous cloche.

4.3 Contrôle par mesure du débit dans la pièce pressurisée

Ce principe est le système de mesure le plus rapide. Il consiste à mesurer le débit ou flux de la fuite grâce à un volume d'air sous pression. Ce système pneumatique est complexe car le débitmètre est très sensible aux fluctuations de pression et aux perturbations dans l'écoulement du flux. Il faut donc s'assurer que le flux soit laminaire et que la pression fournie soit constante.

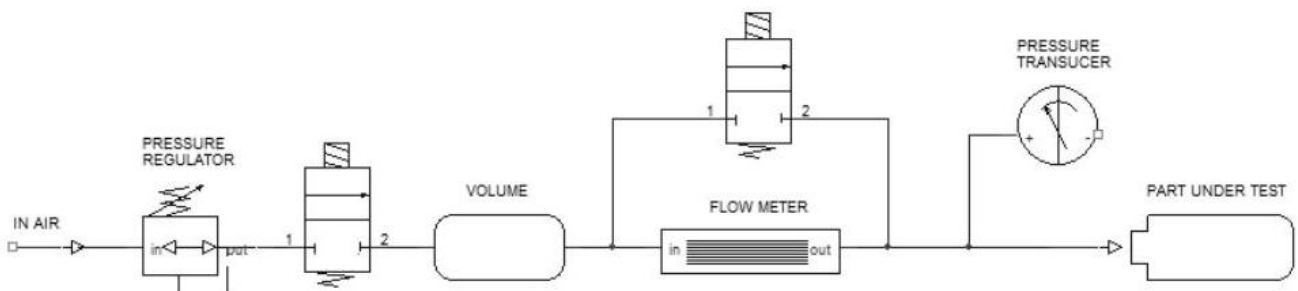


Figure 4-3 : Schéma pneumatique d'un test d'étanchéité par mesure du débit selon FORTEST FRANCE Sarl [4]

Ce système complexe est utilisé dans des applications spécifiques où le temps de test doit être pratiquement nul ou lorsqu'une mesure de la fuite en continu est nécessaire. Il s'utilise également lorsque les valeurs de fuites sont importantes.

4.4 Contrôle par "récupération" de l'augmentation de pression sous cloche

Ce système également appelé « mesure en compliance » est couramment utilisé lorsque la pression de test est élevée (>20 bar). Il consiste à récupérer les fuites à l'extérieur du volume de contrôle. Ces fuites provoquent une augmentation de pression dans le volume de la zone de fuite. Cette méthode se prête particulièrement bien dans le cas de mesure de fuite de vannes. Toutefois cette méthode peut s'appliquer à n'importe quelle pièce si celle-ci est enfermée sous une cloche hermétique.

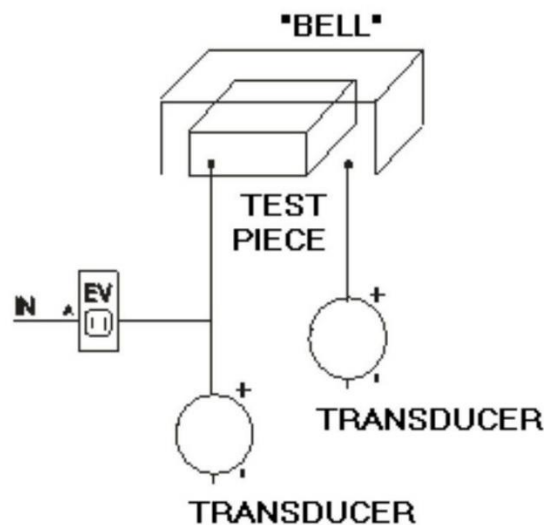


Figure 4-4 : Schéma de principe d'une mesure de fuite en compliance selon www.test-etancheite.fr [5]

C'est une méthode simple et fiable qui a en partie remplacé les mesures par baisse différentielle de pression.

5. Catalogue de solutions / concepts

Pour fournir un catalogue de solutions complet et réaliste, un prédimensionnement, une analyse de risques, une analyse fonctionnelle, une matrice des possibilités et une matrice décisionnelle ont été réalisés.

5.1 Prédimensionnement

Avant de choisir différents éléments techniques, il faut connaître les grandeurs importantes du banc de test. La force de fermeture, le débit de fuite, le temps de cycle et la quantité de pièces testées sur ce banc sont des valeurs importantes déterminées ici.

5.1.1 Temps de cycle et nombre de pièces testées

En se basant sur l'expérience de l'entreprise Nammo, les valeurs suivantes peuvent être utilisées pour dimensionner le banc :

- Temps de cycle de l'ancien banc de test : 54 secondes
- Nombres de pièces testées par année : ≈40'000

Par conséquent, le temps de cycle du nouveau banc doit donc être inférieur à 54 secondes.

Les éléments mécaniques doivent être choisis en conséquence.

Pour assurer une longévité minimale de 10 ans, il faut choisir des éléments capables de subir 400'000 cycles au minimum.

5.1.2 Valeur de fuite

L'ancien banc de test effectuait un test d'étanchéité selon le principe de « récupération » de l'augmentation de pression sous cloche (voir chapitre 4.4).

En effet en cas de fuite dans la pièce, Le volume de la zone de fuite (visible en vert sur la figure 5-1) va monter en pression jusqu'à ce que celle-ci soit suffisamment élevée pour générer des bulles dans le bac d'eau.

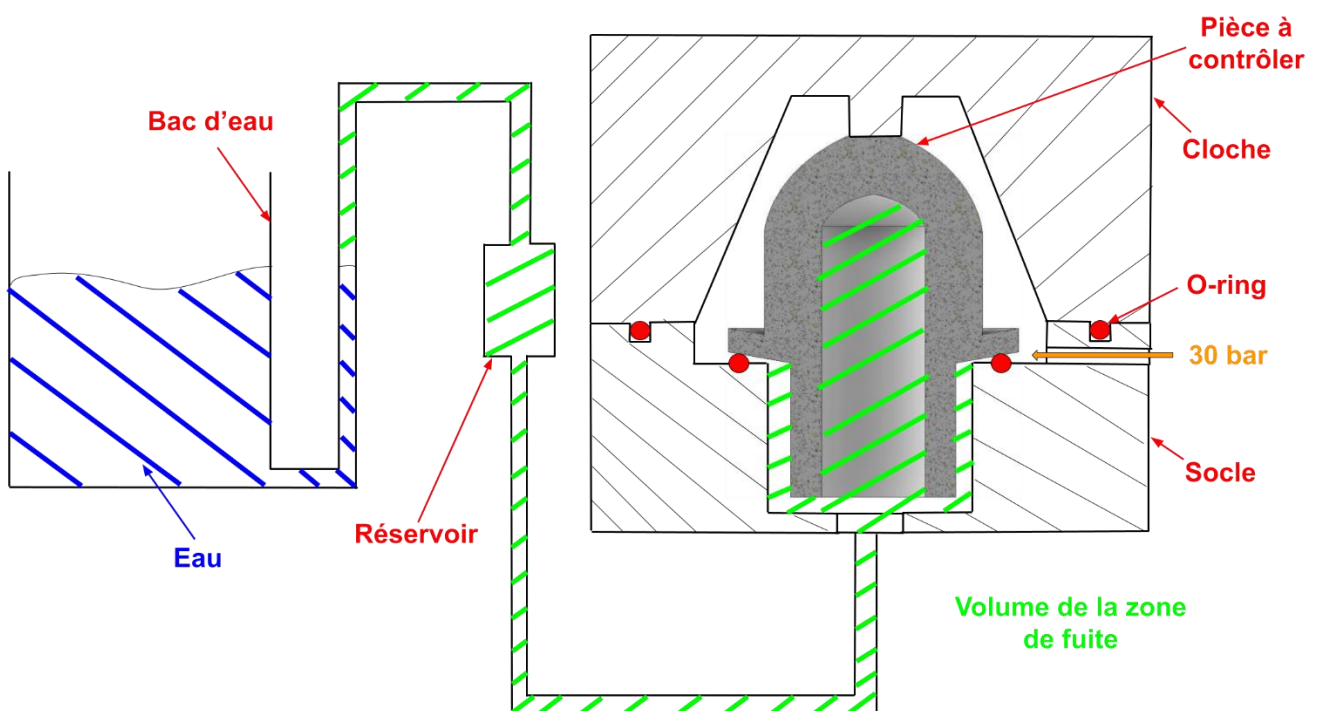


Figure 5-1 : Schéma de principe du volume de la zone de fuite

La valeur de fuite acceptable n'a jamais été chiffrée par l'entreprise Nammo. La présence de bulles dans le bac d'eau était seul indicateur d'une fuite dans la pièce.

Comme le défaut n'est pas encore établi de façon précise, le nouveau banc de test doit être capable de détecter une fuite au moins aussi faible que celle détectée par l'ancien système.

Une fuite s'exprime en principe en $\frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}}$ et correspond à l'augmentation de pression en mbar dans un volume fermé en litre en fonction du temps en seconde.

Pour déterminer le débit de fuite détectable par l'ancien système, il faut donc connaître ces trois grandeurs.

Le test s'effectue sur l'ancien banc sur une durée de 10 secondes.

Pour qu'une bulle apparaisse dans le bac d'eau, il faut que le volume dans la zone de fuite atteigne au minimum la pression que produit la hauteur d'eau dans le bac.

La hauteur d'eau de ce bac étant d'environ 30 mm. On peut calculer la pression nécessaire pour faire apparaître une bulle par approche hydrostatique :

$$p = \rho * g * h = 1000 * 9,81 * 30 * 10^{-3} \cong 294 \text{ Pa} \cong 2,94 \text{ mbar}$$

Avec : p : Pression [Pa]

g : Accélération terrestre [m/s^2]

h : Hauteur d'eau [m]

Le delta de pression nécessaire à l'apparition de bulle est donc au minimum 2,94 mbar sur l'ancien système.

Le volume de la zone de fuite (visible sur la figure 5-1) est estimé à environ 1dl.

Ainsi avec toutes ces valeurs, la valeur de fuite minimale détectée par l'ancien banc de test peut être déterminée de la manière suivante :

$$Q = \frac{p * 10^{-3} * V}{t} = \frac{294 * 10^{-2} * 0,1}{10} = 2,94 * 10^{-2} \frac{\text{mbar} * \text{l}}{\text{s}}$$

Avec : Q : Valeur de fuite [$\frac{\text{mbar} * \text{l}}{\text{s}}$]

p : Pression dans le volume de la zone d fuite [Pa]

V : Volume de la zone de fuite [l]

t : Durée du test [s]

Le nouveau banc doit donc être capable de détecter une valeur de fuite d'au minimum

$$2,94 * 10^{-2} \frac{\text{mbar} * \text{l}}{\text{s}}.$$

5.1.3 Force de fermeture

La pression de 30 bar présente dans la cloche applique une force sur le système de fermeture. Comme une pression est une force appliquée sur une surface et que la cloche a un diamètre d'environ 100mm. La force appliquée sur le système de verrouillage peut être déterminée de la manière suivante :

$$F_{ferm} = p * A = 30 * 10^5 * \frac{100^2 * \pi}{4} * 10^{-6} \cong 23,6 \text{ kN}$$

Avec : F_{ferm} : Force de fermeture [N]

p : Pression [Pa]

A : Surface de la cloche sur laquelle la pression s'applique [m^2]

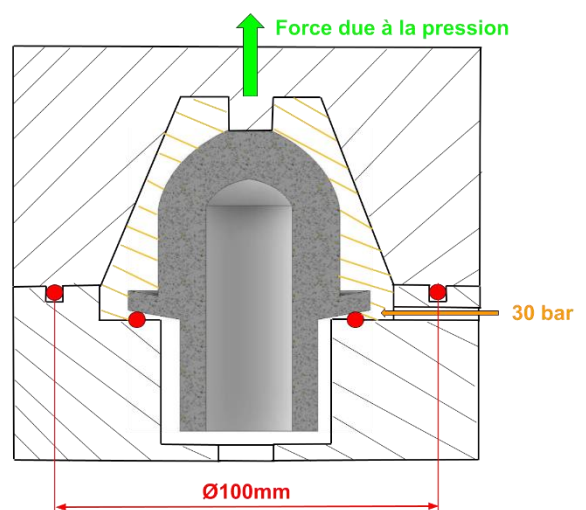


Figure 5-2 : Schéma de principe de la force de fermeture

Le système de fermeture doit donc supporter une force de 23,6 kN avec une pression de 30 bar.

Dans le cas où l'on souhaiterait effectuer des tests d'étanchéités à 40 bar, la force de fermeture doit être de 31,4 kN.

Attention, ces valeurs sont définies sans facteurs de sécurité et sans prendre en compte la force nécessaire à la compression des joints. Il s'agit uniquement d'un prédimensionnement. Le dimensionnement correct se trouve dans le chapitre « 7. Dimensionnement ».

5.2 Analyse de risques architecture

Afin d'optimiser les chances de réussite du projet, une analyse de risques concernant le futur banc de test et la gestion du projet a été réalisée. Cette analyse se présente sous la forme d'un tableau listant tous les risques identifiés ainsi que leurs conséquences.

Ces risques sont ensuite placés dans une matrice selon deux axes. Un axe représente les conséquences des risques. Il est pondéré de 1 (Défaut léger / Impact financier inférieur à 10% du budget / Retard du projet inférieur à 3 mois) à 6 (Mort de personnes / Lésions corporelles graves ou irréversibles / Destruction du site).

L'autre axe représente la probabilité d'occurrence de 1 (Hautement improbable) à 6 (Hautement probable).

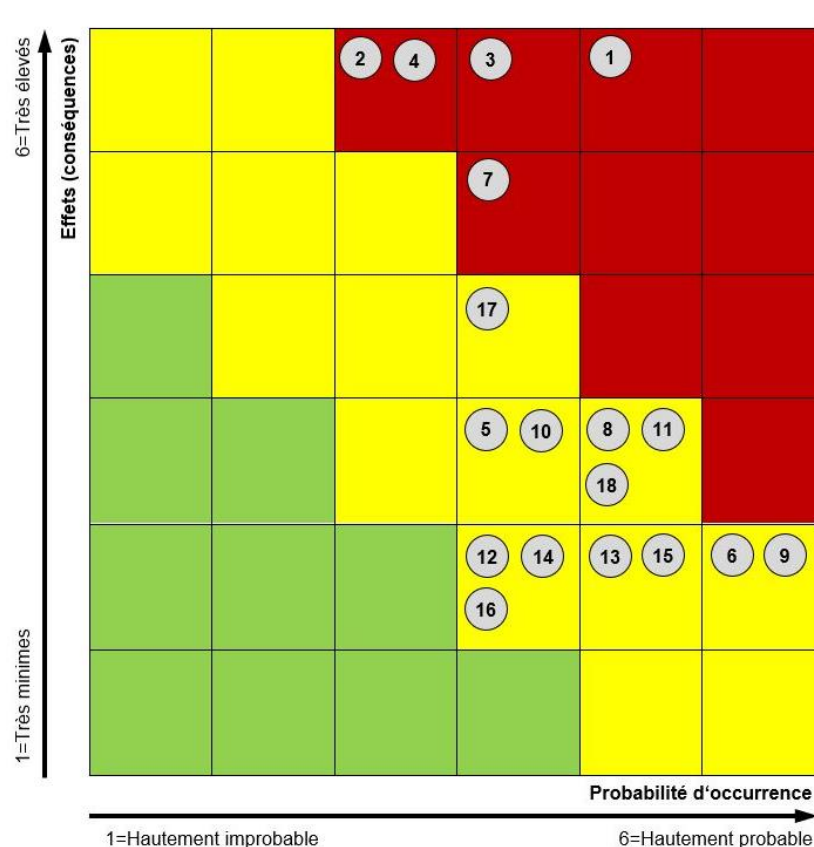


Figure 5-3 : Matrice des risques architecture sans mesure de maîtrise des risques

Une fois les risques positionnés sur la matrice, celle-ci les catégorise. Les risques se trouvant dans la zone rouge sont considérés comme critiques. La zone jaune représente les risques tolérables et la zone verte les risques acceptables.

Pour diminuer la dangerosité de la machine et les risques concernant la gestion du projet, une mesure de maîtrise est appliquée pour chaque risque identifié. Une fois les risques maîtrisés, une nouvelle analyse est réalisée à l'aide de la même matrice.

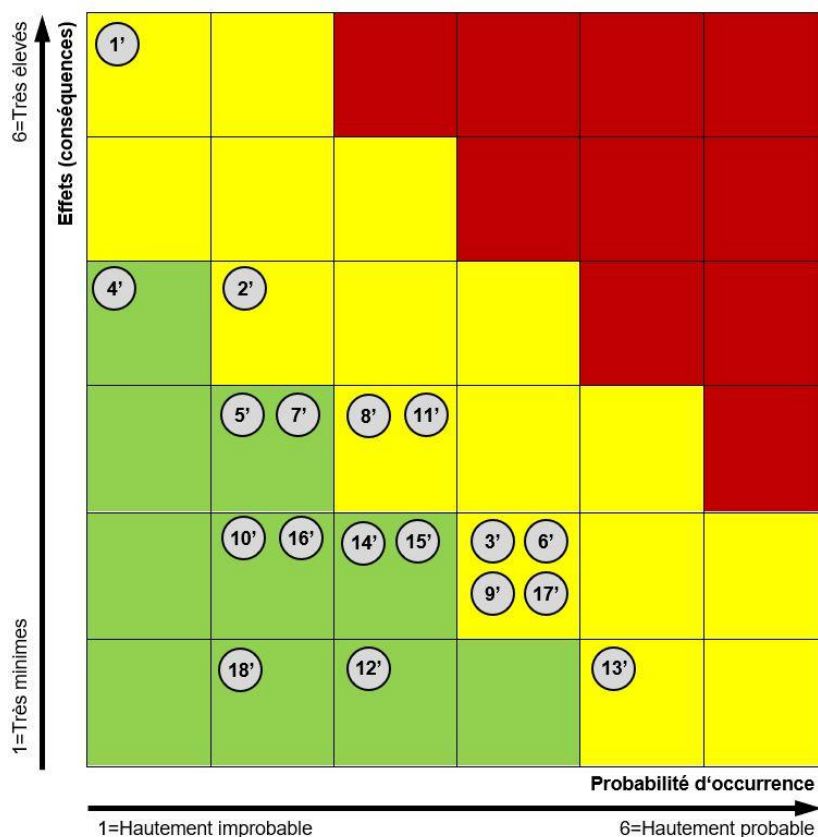


Figure 5-4 : Matrice des risques architecture avec les mesures de maîtrise des risques

Le tableau des risques avec les mesures de maîtrise ainsi que les deux matrices complètes se trouvent dans l'annexe 1.

La matrice des risques avec les mesures de maîtrise (figure 5-4) démontre que tous les risques identifiés, une fois les mesures de maîtrises mises en place, sont tolérables.

5.3 Analyse fonctionnelle et matrice des possibilités

Une analyse fonctionnelle a été réalisée pour les fonctions principales du banc de test. Six fonctions se sont démarquées lors de cette étude :

- Fournir une pression de 30 bar
- Fermer le système et supporter la force produite par les 30 bar
- Garantir la sécurité de l'utilisateur
- Automatiser le processus
- Quantifier les fuites éventuelles des pièces
- Informer l'utilisateur de l'état du système et du résultat de la mesure (interface homme/machine)

Pour chaque fonction, une liste des solutions techniques envisagées a été répertoriée dans la matrice des possibilités. Ces solutions ont été choisies en tenant compte du prédimensionnement.

Cette matrice des possibilités se trouvent dans l'annexe 2.

5.4 Matrice décisionnelle

Afin de sélectionner les meilleures solutions techniques dans la matrice des possibilités, une matrice décisionnelle a été réalisée pour chaque fonction listée dans le chapitre 5.3 « Analyse fonctionnelle et matrice des possibilités ».

Analyse multicritères f1 : fournir 30 bar	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	1. Compresseur 30 bar		2. Amplificateur de pression		3. Amplificateur + réservoir	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		10%	4,00%	3	0,12	4	0,16	4	0,16
1.2 Poids		1%	0,40%	4	0,02	5	0,02	3	0,01
1.3 Productique		15%	6,00%	4	0,24	1	0,06	5	0,30
1.4 Volume		5%	2,00%	4	0,08	5	0,10	4	0,08
1.5 Précision des 30 bar		10%	4,00%	5	0,20	1	0,04	4	0,16
1.6 Bruit		10%	4,00%	2	0,08	1	0,04	3	0,12
1.7 Production de vibrations		2%	0,80%	2	0,02	3	0,02	3	0,02
1.8 Pression de réserve		15%	6,00%	4	0,24	4	0,24	5	0,30
1.9 Ergonomie		3,0%	1,20%	2	0,02	3	0,04	3	0,04
1.10 Simplicité d'utilisation		3,0%	1,20%	2	0,02	3	0,04	3	0,04
1.11 Besoin de maintenance		15%	6,00%	2	0,12	3	0,18	3	0,18
1.12 Service après-vente		1%	0,40%	4	0,02	4	0,02	4	0,02
1.13 Débit d'air disponible		10%	4,00%	4	0,16	1	0,04	5	0,20
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	4	0,48	3	0,60	2	0,48
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	3	0,24	3	0,24	3	0,24
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	3	0,96	4	1,28	3	0,96
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	4	0,32	1	0,08	3	0,24
		100%							
Total	100%		100%		3,34		2,95		3,30

Figure 5-5 : Matrice décisionnelle de la fonction 1 : Fournir une pression de 30 bar

Cette matrice est composée de plusieurs niveaux de sélection. La première évaluation se fait sur 3 critères principaux : 1. Objectifs techniques, 2. Budget/Délai et 3. Sécurité. Ces critères sont pondérés respectivement de 40%, 20% et 40%. Il s'agit de la pondération de niveau 1 en rouge sur la figure 5-5. Le premier niveau de pondération (critère + pondération) est identique dans toutes les matrices décisionnelles.

Le total de la pondération de ces 3 critères principaux est de 100%. Concrètement cela signifie que dans le processus de sélection, les objectifs techniques ont un poids de 40%, le Budget/délais a un poids de 20% et la sécurité 40%.

Chaque critère principal est ensuite composé de sous critères dont l'addition des pondérations représente 100%. Dans le cas du critère principal 2. Budget/Délai, ses sous-critères sont 2.1 Coût et 2.2 Délai de livraison. Ils sont pondérés respectivement à 60% et 40% dans le cas de la fonction 1. Fournir 30 bar. Il s'agit de la pondération de niveau 2 visible en vert sur la figure 5-5.

Ces sous-critères ainsi que leurs pondérations varient dans les différentes matrices décisionnelles en fonction des fonctions concernées.

La pondération de niveau 3 (visible en bleu sur la figure 5-5) correspond à la valeur réelle des tous les sous-critères ramenée sur 100%. Si l'on prend pour exemple le sous-critère 2.1 Coût, Il représente 60% de la catégorie principale 2. Budget/Délai (niveau 2) qui elle-même compte pour uniquement 20% de la pondération totale (niveau 1). Par conséquent ce sous-critère a un poids de 12% sur la pondération totale. Ce chiffre correspond à la multiplication de la pondération du critère principal avec la pondération du sous-critère.

Cette méthodologie permet d'obtenir une grille d'évaluation relativement impartiale.

Les solutions techniques sont ensuite pondérées pour chaque sous-critère sur une échelle de 1 à 5 représentants : 1 = insuffisant, 2 = suffisant, 3 = bon, 4 = très bon et 5 = excellent.

La matrice permet d'obtenir une note pour chaque solution technique en tenant compte de tous les sous-critères et de leurs pondérations. Cette note est visible dans les cases saumon de la figure 5-5. Dans ce cas, la meilleure option est la solution 1. Compresseur 30 bar avec une note de 3,34.

Toutes les matrices décisionnelles se trouvent dans l'annexe 3.

5.5 Concepts

Une fois les meilleures solutions techniques révélées par les matrices décisionnelles, et après plusieurs demandes d'offres auprès de différents fournisseurs, deux concepts crédibles ont été réalisés. Le concepts « Futuro » et le concept « Safety » budgétés respectivement à environ 30 kCHF et 37 kCHF. Ces deux concepts effectuent des mesures de fuites selon le principe de "récupération" de l'augmentation de pression sous cloche (voir chapitre 4.4) de manière similaire à l'ancien banc de test. Le posage pour la pièce à contrôler ainsi que la fermeture de l'ensemble à l'aide d'une cloche est sur le principe, identique à l'ancien système.

5.5.1 Concept « Futuro »

Le banc de test « Futuro » se présente sous la forme d'une machine carénée à l'aide de Plexiglas montée sur un bâti en profilé en aluminium.

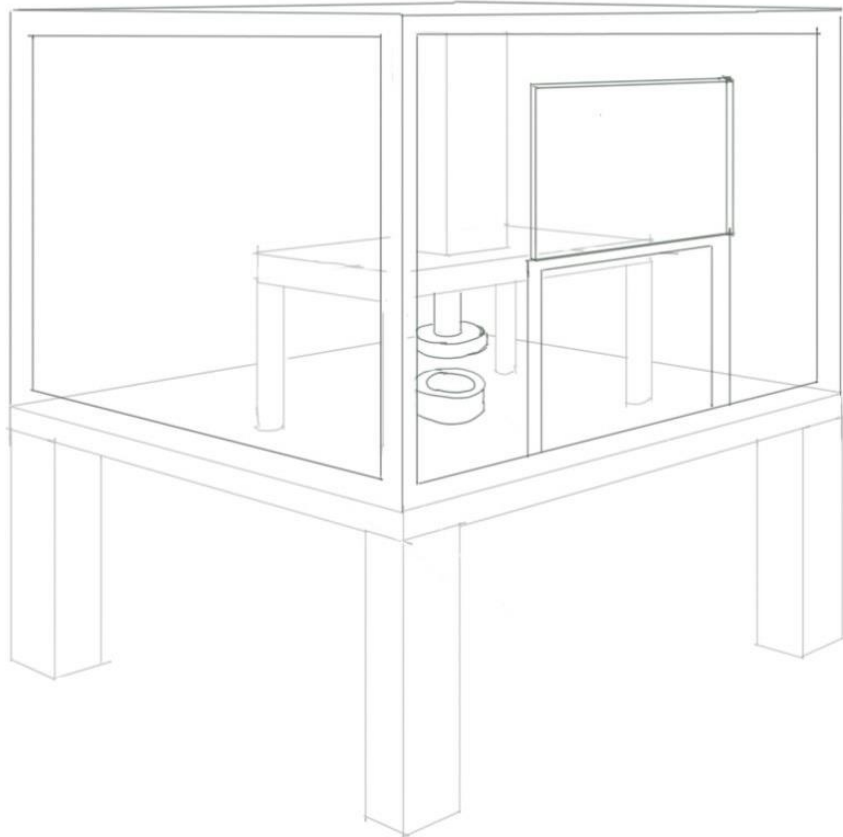


Figure 5-6 : Esquisse du concept "Futuro"

Le système de fermeture est composé d'un portique à colonnes sur lequel est fixé un vérin Hydropneumatique TOX Q-K 004.030.200.13 capable d'appliquer une force de 48,6 kN. La pression de test est produite par un surpresseur d'air MAXIMATOR MD030008 alimenté par le réseau d'air de l'entreprise (environ 8 bar) et pouvant produire 40 bar.

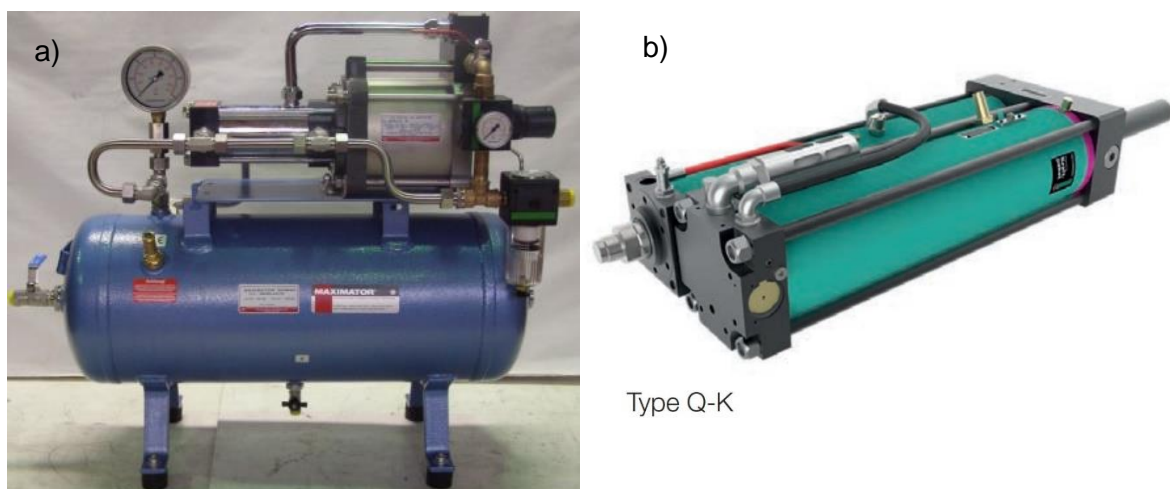


Figure 5-7 : a) Surpresseur d'air avec réservoir MAXIMATOR MD030008 [6]
b) Vérin Hydropneumatique TOX Q-K 004.030.200.13 [7]

La porte du carénage n'est pas motorisée et l'ensemble est commandé par une automate Siemens de type S7-1200 Safety permettant également une programmation des éléments de sécurité. L'interface homme/machine est composé d'un écran tactile et de quelques boutons-poussoirs. La mesure de valeur de fuite se fait sous la pièce à l'aide d'un capteur de pression protégé par une soupape de sécurité. Cette soupape permet de protéger le capteur dans le cas d'une fuite importante.

5.5.2 Concept « Safety »

Le banc de test « Safety » se présente sous la forme d'une machine carénée à l'aide de Plexiglas sur un bâti en profilé en aluminium.

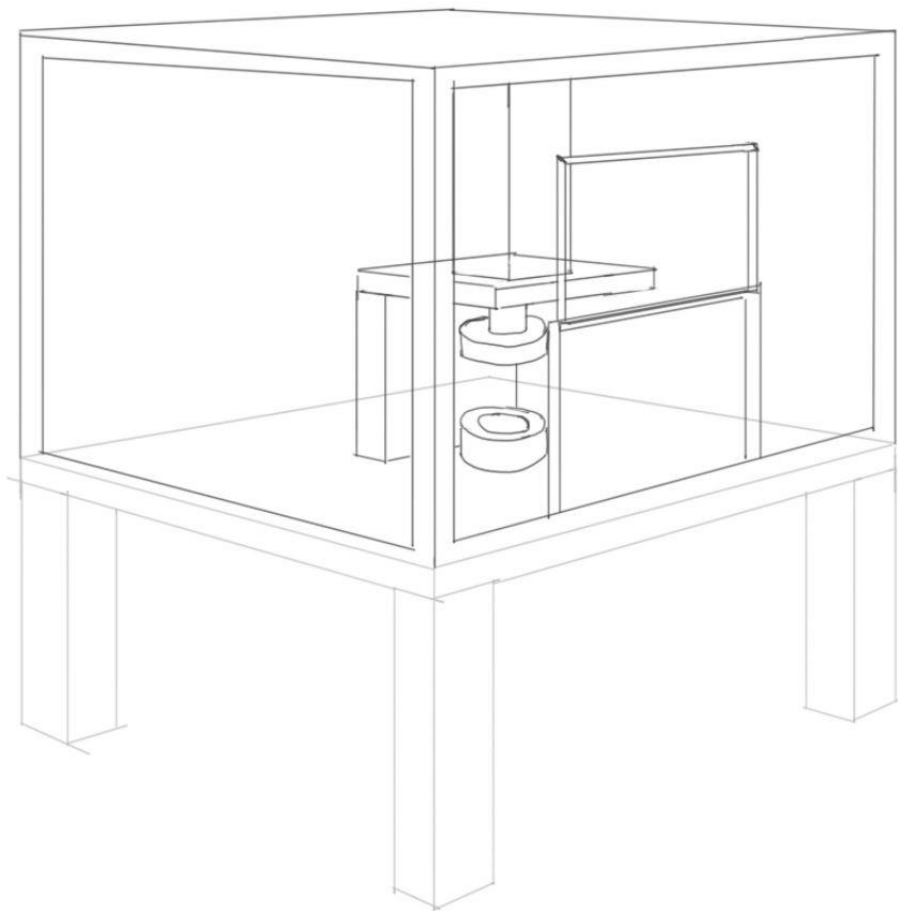


Figure 5-8 : Esquisse du concept "Safety"

Le système de fermeture est construit à l'aide d'une presse pneumatique Schmidt PP 29-3K capable de fournir une force de 32 kN. La pression de test est produite par un compresseur MAX AKHL1260E capable de fournir 34 bar.

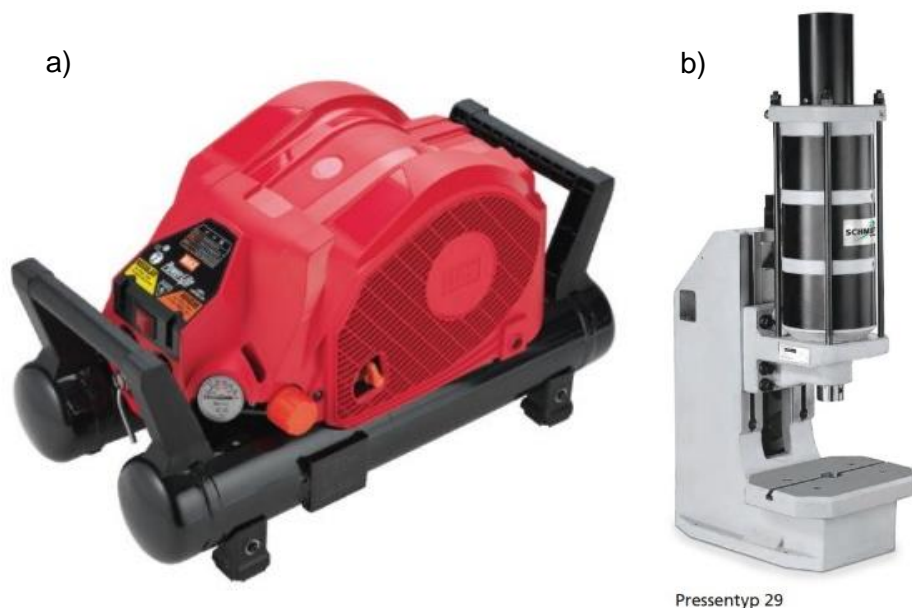


Figure 5-9 : a) compresseur MAX AKHL1260E [8]
b) Presse Schmidt PP 29-3K [9]

La porte du carénage est motorisée et l'ensemble est commandé par une automate Siemens de type S7-1200. Les éléments de sécurité sont contrôlés par des relais de sécurité. L'interface homme/machine est constitué uniquement de boutons-poussoirs et de voyants. La mesure de la valeur de fuite se fait sous la pièce à l'aide d'un capteur de pression protégé par une soupape de sécurité. Cette soupape permet de protéger le capteur dans le cas d'une fuite importante.

5.5.3 Sélection du concept

Les deux concepts ont été présentés lors d'une séance avec les cadres et ingénieurs de Nammo. Durant cette séance, après discussion des avantages et inconvénients de chaque concept, le concept « Futuro » a été sélectionné tel que présenté à l'exception du surpresseur. Pour des raisons de coût et de délais de livraison, la pression de test sera produite par le compresseur MAX AKHL1260E (présenté dans le concept « Safety » Chapitre 5.5.2) et non pas par le surpresseur MAXIMATOR MD030008.

Le budget alloué pour la réalisation de ce concept est de 30'030 CHF ce budget est composé de :

- 5'200 CHF pour la partie électrique
- 8'330 CHF pour la partie pneumatique
- 11'500 CHF pour la partie mécanique
- 5'000 CHF de réserve

6. Conception

Une fois le concept validé, la conception du banc a commencé. Les documents techniques suivants ont été réalisés :

- Analyse de risques machine
- Conception mécanique CAO
- Schémas pneumatiques
- Schémas électriques
- Programmation

6.1 Analyse de risques machine

Cette analyse a pour but de déterminer la dangerosité de la machine selon les normes EN 62061 et EN ISO 13849-1. Cette dangerosité détermine le niveau de sécurité nécessaire à mettre en place et la classe des éléments de sécurité à utiliser. Elle se caractérise par un indicateur SIL et un indicateur PL.

Le risque analysé ici concerne le coincement des mains de l'utilisateur par le système de fermeture. En effet, le vérin hydropneumatique développe une force de 48,6 kN, il peut briser un membre humain et provoquer des lésions irréversibles. Par conséquent ce risque doit être maîtrisé.

6.1.1 Analyse de risques SIL (EN 62061)

Cette analyse est composée de différents tableaux visant à caractériser la fréquence d'exposition et durée d'exposition, la probabilité d'apparition et la probabilité d'évitement de l'événement dangereux.

Ce tableau permet de déterminer le facteur Fr qui correspond à la fréquence d'exposition à l'évènement dangereux.

Fréquence et durée de l'exposition (Fr)	
Fréquence d'exposition	Durée > 10 min
<= 1 h	5
> 1 h à <= 1 jour	5
> 1 jour à <= 2 semaines	4
> 2 semaines à <= 1 année	3
> 1 an	2

Tableau 6-1 : Classification de la fréquence et durée de l'exposition (Fr) selon la norme EN 62061 ([10] p.73)

Dans le cas de ce banc de test, comme un opérateur sera confronté aux risques plus d'une fois par heure, la fréquence d'exposition (Fr) est de 5.

Le tableau suivant permet lui de déterminer la probabilité d'apparition de l'événement dangereux (Pr)

Probabilité d'apparition	Probabilité (Pr)
Très forte	5
Probable	4
Possible	3
Rare	2
Négligeable	1

Tableau 6-2 : Classification de la probabilité d'apparition de l'événement dangereux (Pr) selon la norme EN 62061 ([10] p.74)

La probabilité d'apparition de l'événement dangereux est estimée sur cette machine à rare soit un Pr de 2.

Le tableau suivant permet de déterminer la probabilité d'évitement de l'événement dangereux ou de limitation d'un dommage (AV).

Probabilité d'évitement ou de limitation d'un dommage (AV)	
Impossible	5
Rare	3
Probable	1

Tableau 6-3 : Classification de la probabilité d'évitement ou de limitation d'un dommage (AV) selon la norme EN 62061 ([10] p.75)

Comme les déplacements du système de fermeture sont relativement rapides, la probabilité d'évitement est estimée à Rare soit un AV de 3.

Une fois ces trois facteurs pondérés, il faut déterminer la sévérité (Se) des lésions engendrables par la machine.

Conséquences	Sévérité (Se)
Irréversible: mort, perte d'un œil ou d'un bras	4
Irréversible: membre(s) brisé(s), perte d'un(de) doigt(s)	3
Réversible: nécessitant l'attention d'un praticien médical	2
Réversible: nécessitant des premiers soins	1

Tableau 6-4 : Classification de la Sévérité (Se) selon la norme EN 62061 ([10] p.73)

Comme le système de fermeture peut appliquer une force de 48,6 kN et que la course de celui-ci permet le passage d'un bras, la machine peut engendrer des lésions irréversibles comme la perte d'un bras. Par conséquent la sévérité Se de cette machine est de niveau 4.

Une fois la sévérité déterminée, il faut calculer la classe de probabilité d'un dommage (Cl) de la manière suivante :

$$Cl = Fr + Pr + Av = 5 + 2 + 3 = 10$$

Équation 6-1 : Calcul de la classe de probabilité d'un dommage (Cl) selon la norme EN 62061 ([10] p.76)

Avec : Cl : Classe de probabilité d'un dommage [-]

Fr : Fréquence d'exposition à un évènement dangereux [-]

Pr : Probabilité d'apparition d'un évènement dangereux [-]

AV : Probabilité d'évitement ou de limitation d'un dommage [-]

La classe de probabilité d'un dommage (CI) est donc de 10 pour cette machine. A l'aide de cette valeur il est possible de déterminer le niveau de SIL à l'aide du tableau suivant.

Sévérité Se	Classe CI				
	3 - 4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14 - 15
4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
3		OM	SIL 1	SIL 2	SIL 3
2			OM	SIL 1	SIL 2
1				OM	SIL 1

Tableau 6-5 : Attribution du niveau SIL en fonction de la sévérité (Se) et de la classe de probabilité (CI) selon la norme EN 62061 ([10] p.77)

Comme la sévérité (Se) a une valeur de 4 et que la classe de probabilité (CI) a une valeur de 10, le banc de test a un niveau de dangerosité **SIL 2**.

6.1.2 Analyse de risques PL_r (EN ISO 13849-1)

Pour déterminer le niveau de performance requis (PL_r), il faut suivre une arborescence présente dans la norme EN ISO 13849-1 [11]. Cette arborescence impose plusieurs décisions afin de déterminer trois facteurs. La première appréciation concerne la gravité de la blessure (S). La seconde se porte sur la fréquence et/ou la durée d'exposition au phénomène dangereux (F). Puis le dernier critère concerne la possibilité d'éviter le phénomène dangereux ou de limiter le dommage (P).

Dans le cas de cette machine, la gravité de la blessure a été évaluée à grave (irréversible) ce qui correspond à un niveau S2. La fréquence d'exposition (F) est évaluée à continue (niveau F2). La possibilité d'éviter le phénomène dangereux ou de le limiter (P) est évaluée à possible sous certaines conditions (niveau P1).

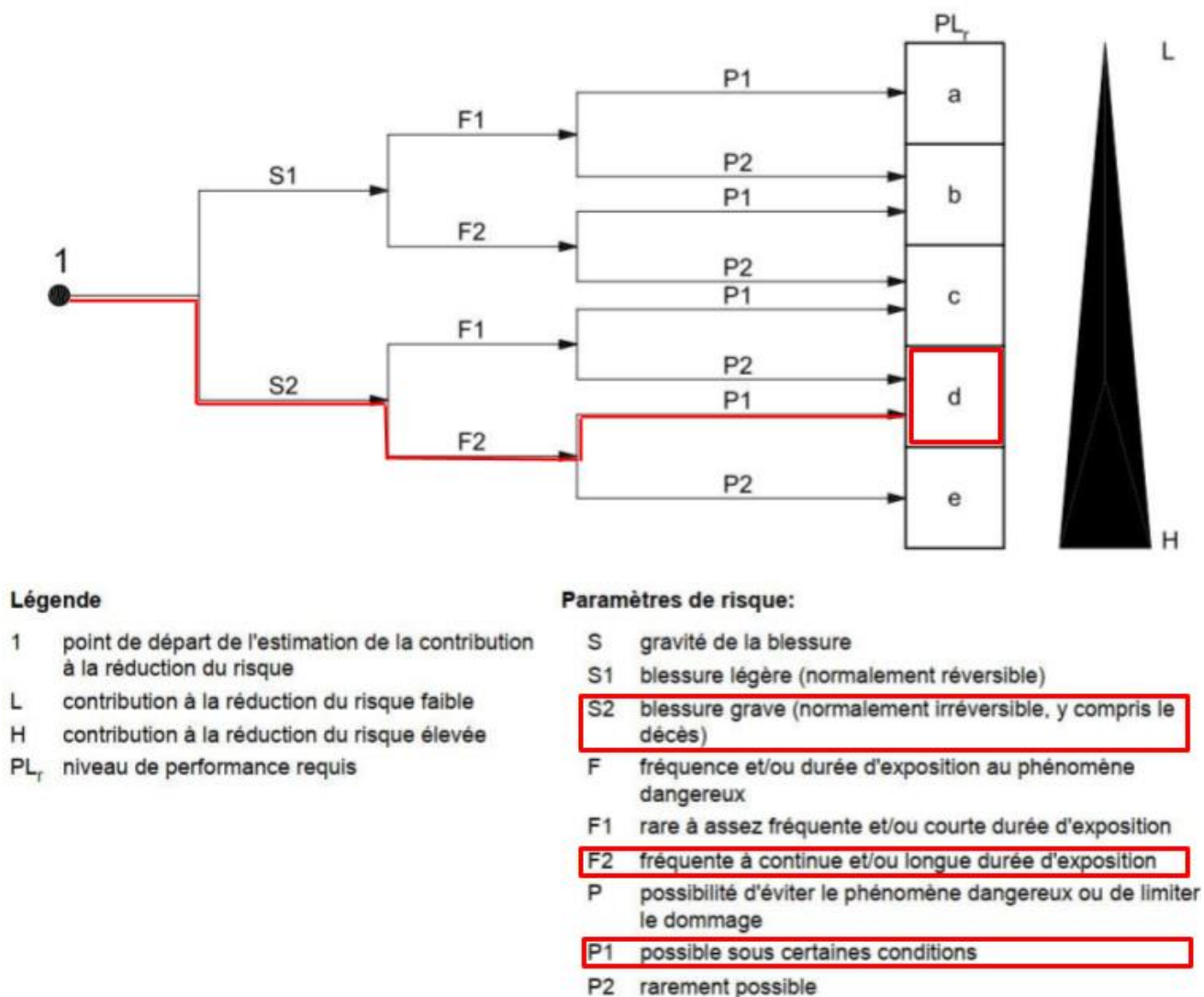


Figure 6-1 : Graphique de risque pour déterminer le niveau de performance requis (PL_r) selon la norme EN ISO 13849-1 ([11] p.47). Le chemin tracé en rouge représente l'évaluation pour le banc de test.

En suivant le graphique à la figure 6-1 à l'aide des facteurs déterminés précédemment (chemin en rouge sur la figure 6-1), la machine a un niveau de performance requis **PL_r d**.

6.1.3 Relation entre PL_r et SIL

Dans la norme EN ISO 13849-1, il existe un tableau illustrant les relations de correspondance entre le niveau SIL et le niveau PL_r. Ce tableau permet de s'assurer que les deux analyses de risques (SIL et PL_r) concordent.

PL	SIL (CEI 61508-1, pour information) mode de fonctionnement continu/élevé
a	Pas de correspondance
b	1
c	1
d	2
e	3

Tableau 6-6 : Relation entre le niveau de performance (PL) et le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) selon la norme EN ISO 13849-1 ([12] p.16).

Comme l'analyse du chapitre 6.1.1 détermine un niveau SIL 2 et que l'analyse du chapitre du 6.1.2 détermine un niveau PL_r d. Le tableau 6-6 démontre que les deux analyses de risques (SIL et PL_r) sont cohérentes.

6.1.4 Mesures de protection SIL 2 PL_r d

Différentes méthodes de protection permettent de garantir la sécurité de l'utilisateur sur une machine de type SIL 2 PL_r d. Dans le cadre de ce projet, la machine est sécurisée à l'aide d'un carénage et d'une porte manuelle pouvant être verrouillée en position fermée.

En plus du carénage, les éléments de commande de la puissance doivent être doublés et commandés par un relais de sécurité ou un automate de sécurité homologué au minimum SIL 2 PL d. Toutefois, les éléments de commande de la puissance peuvent être de type standard.

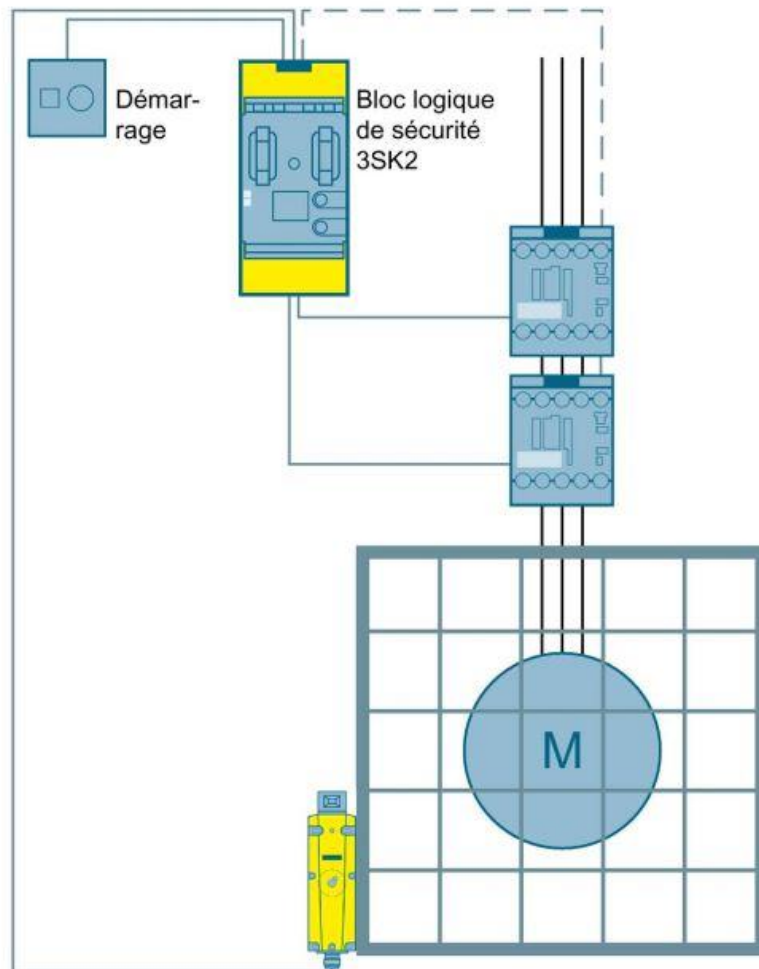


Figure 6-2 : Exemple de configuration SIL 2 PL d à l'aide d'une porte/cage verrouillable en position fermée. La puissance du moteur (élément dangereux) est commandée à l'aide de deux contacteurs standards commandés par un relais de sécurité homologué SIL 2 PL d. La position de la porte est également contrôlée (en plus d'être verrouillée) par un fin de course avec détrompeur homologué SIL 2 PL d. Cet exemple est tiré du Manuel d'application- Sirius safety (ed. Siemens [13]).

Concernant les boutons d'arrêt d'urgence, ils doivent être câblés à l'aide de deux jeux de contacts sur deux canaux pour être homologables SIL 2 PL d.

6.2 Mécanique

Le banc de test est composé d'un vérin hydropneumatique monté à l'aide de 8 vis M8 (12.9) sur un bâti en portique à deux colonnes. Ce vérin permet de lever et de baisser la cloche. Lorsqu'il est en mode hydraulique, il est capable de maintenir fermée la cloche qui contient la pression de test. Ce vérin a une course de 200mm en mode pneumatique (avec une force max de 1931N) et une course de 13mm en hydraulique (avec une force max de 48,6 kN). La datasheet du vérin se trouve dans l'annexe 4. Le portique est construit à partir de plaque d'acier de 50mm d'épaisseur et de colonnes également en acier de 50mm de diamètre.

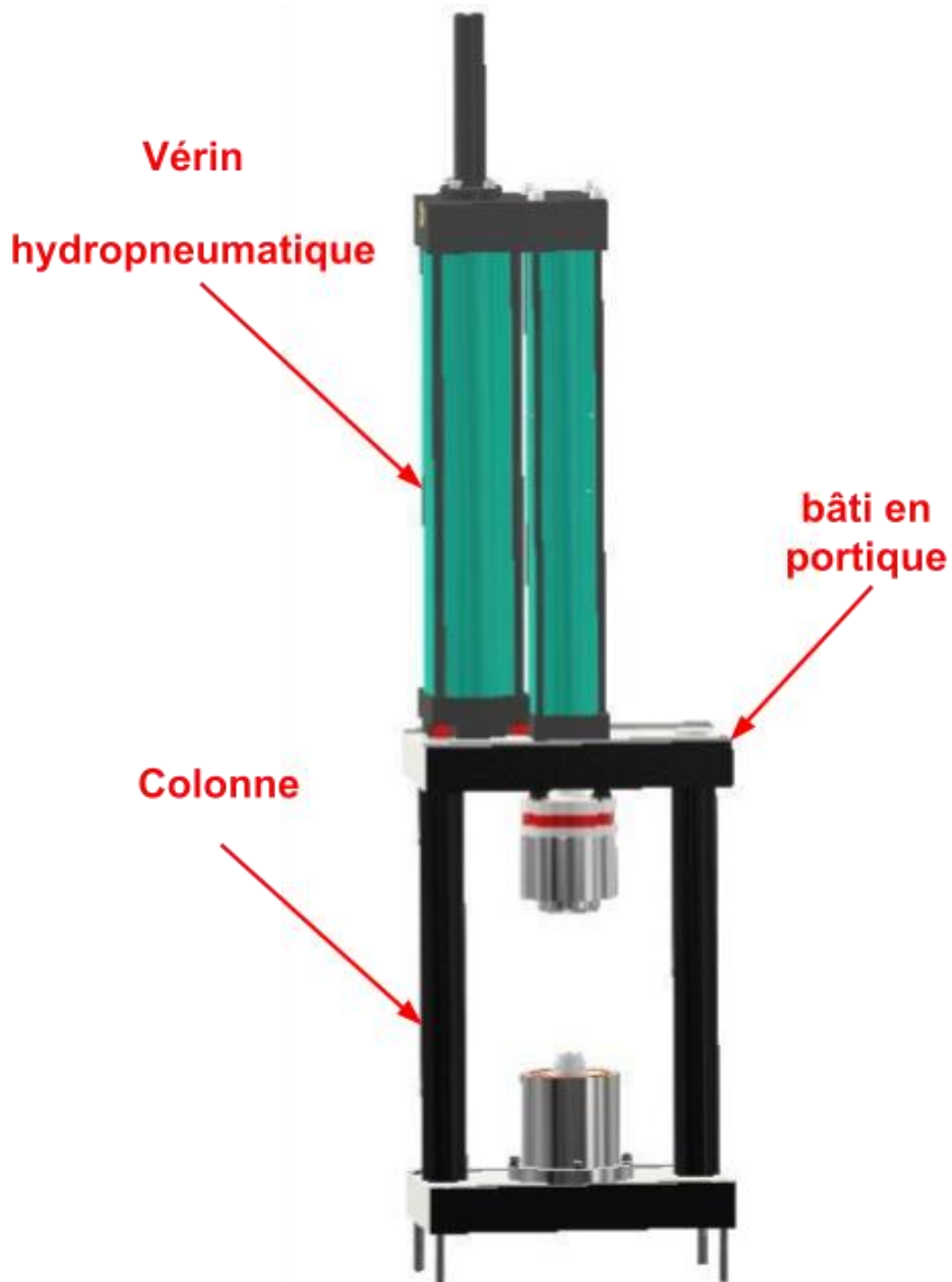


Figure 6-3 : 3D de la partie mécanique du banc de test

Les colonnes sont fixées sur les plaques du bâti à l'aide de Vis M20 (10.9).

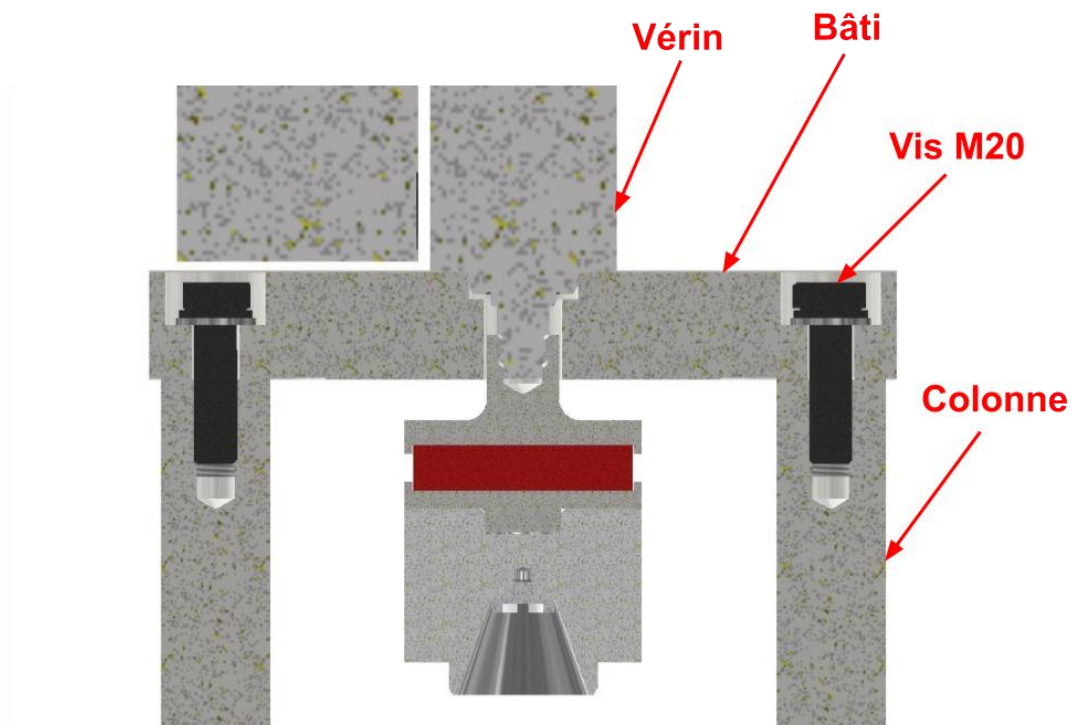


Figure 6-4 : Assemblage du bâti

La pièce à contrôler est posée dans un socle sur lequel une cloche est maintenue à l'aide du vérin. C'est dans cette cloche que sont injectés les 30 bar lors du test d'étanchéité. La mesure de fuite se fait dans le socle. Le socle ainsi que la cloche sont en aluminium. L'étanchéité entre la pièce à tester et le socle ainsi qu'entre le socle et la cloche, est garantie à l'aide d'O-rings en VMQ (silicone) utilisable à des températures de -55 à 200°C.

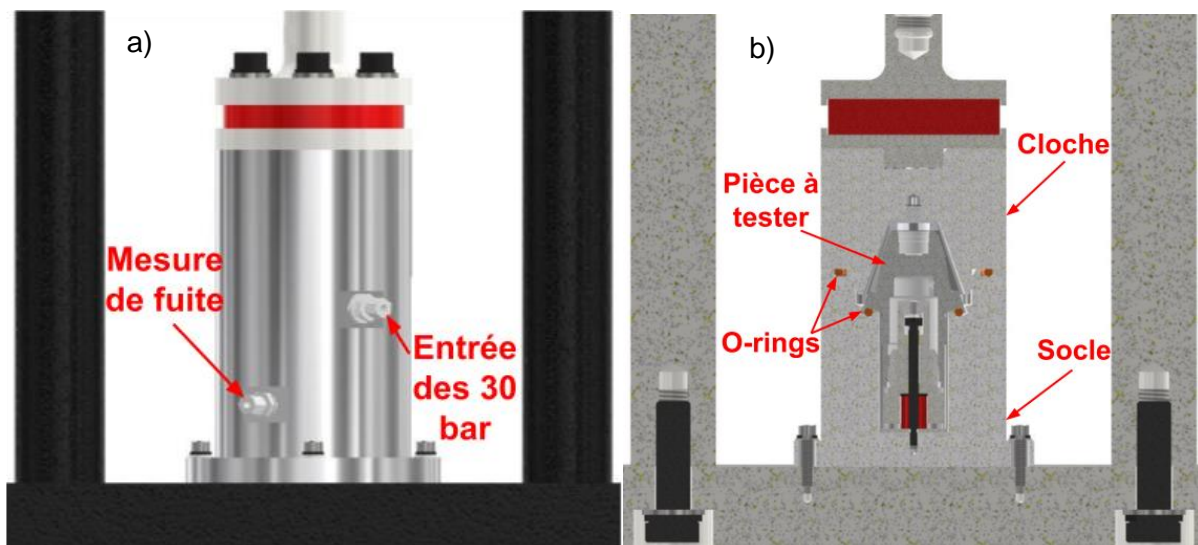


Figure 6-5 : a) Cloche en position fermée
b) Coupe de la cloche en position fermée avec la pièce à tester en position

La cloche est reliée à la tige du vérin hydropneumatique à l'aide d'un système souple permettant de corriger les défauts de parallélisme entre le plan d'appuis de la cloche et du socle. Ce système est constitué d'une rondelle de polyuréthane (PUR) d'une dureté Shore de 95. Cette matière se déforme sous la force du vérin ce qui permet à la cloche d'épouser la position du socle. Cette rondelle de PUR est maintenue en position avec un jeu maîtrisé à l'aide de 3 garde-fous sous la forme de 3 vis M10 à épaulement.

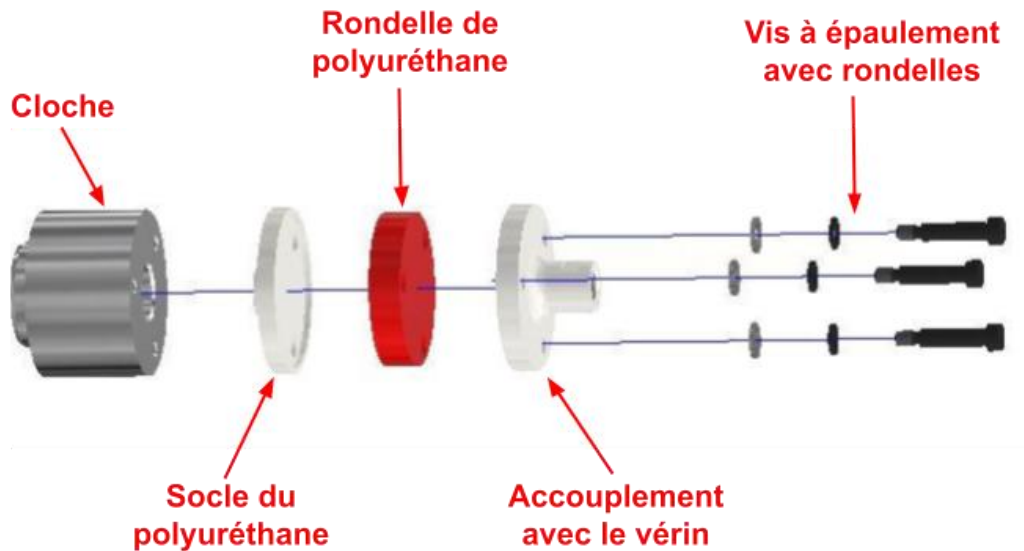


Figure 6-6 : Vue éclatée du système flexible d'accouplement entre la cloche et le vérin hydropneumatique

Dans la cloche se trouve une pièce en PTFE (Teflon) qui vient s'appuyer sur la pièce à tester. Cet appui permet de maintenir la pièce à tester en place et ainsi, de garantir une bonne compression entre la pièce à tester et le joint O-ring. De plus la souplesse de cette pièce permet d'absorber les tolérances dimensionnelles des pièces à contrôler (soit environ $\pm 0,2\text{mm}$). Comme le Teflon est un matériau mou, il garantit également de préserver le zingage des pièces testées. Cet appui en PTFE est vissé dans la cloche, il peut donc être remplacé facilement et fait ainsi office de pièce d'usure, ce qui évite un ré-usinage complet de la cloche.

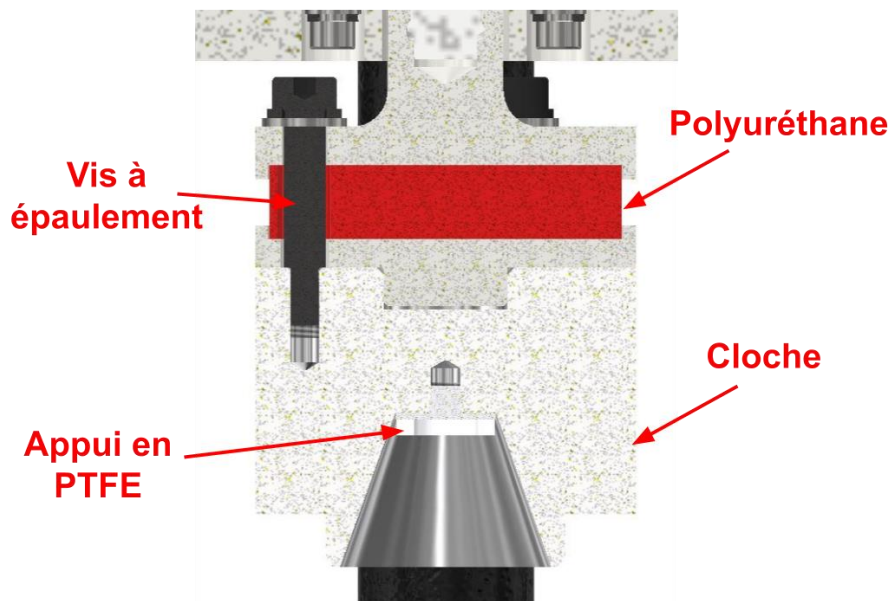


Figure 6-7 : Vue en coupe du système flexible d'accouplement entre la cloche et le vérin hydropneumatique

Le socle qui accueille la pièce à tester est fixé sur le bâti à l'aide de 4 vis M6. Les trous de passage de ces vis sont conçus avec suffisamment de jeu pour pouvoir aligner la position du socle avec la position de la cloche.

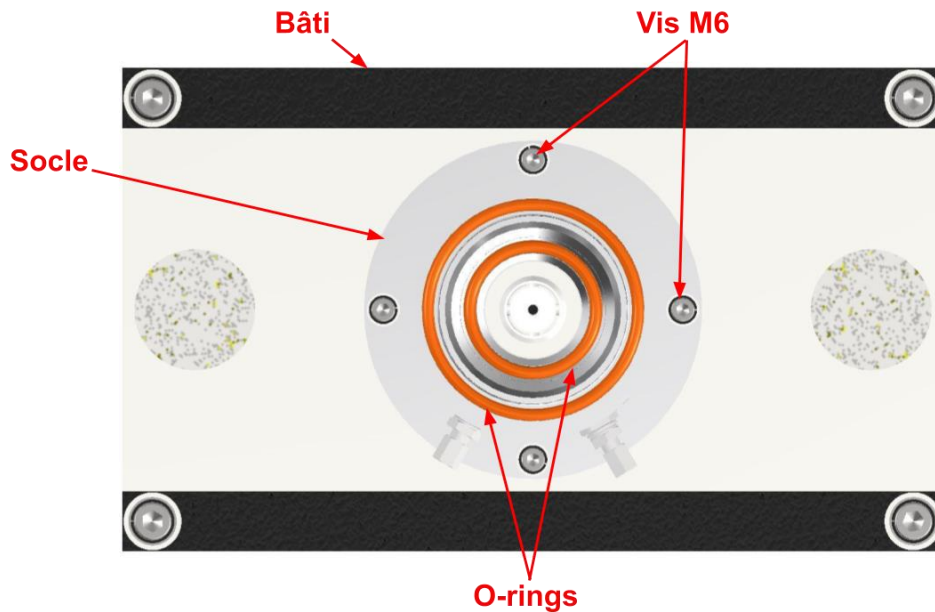


Figure 6-8 : Vue de dessus du socle de la pièce à tester (sans pièce)

Au centre du socle qui accueille la pièce à tester, un axe avec un système à ressort permet de maintenir plaqué les éléments électroniques et micromécaniques dans leur enveloppe protectrice (pièce à tester), malgré la pression de test qui tend à les extraire de l'intérieur de celle-ci.

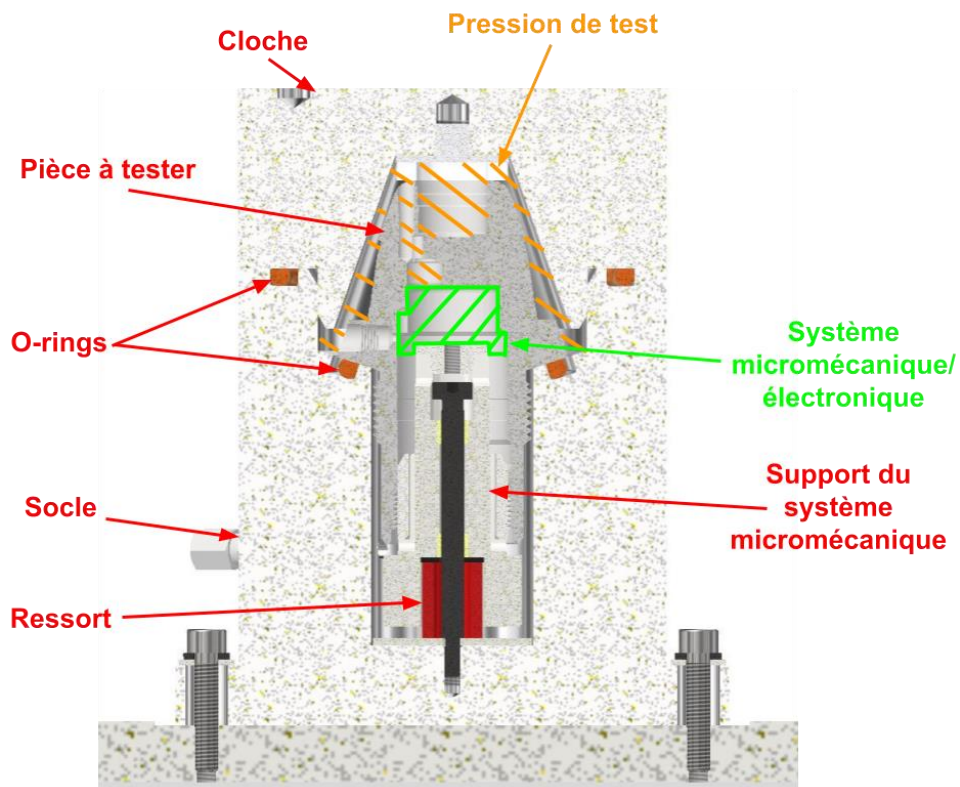


Figure 6-9 : Schéma de principe du test d'une pièce dans le nouveau banc

Le support des éléments micromécaniques ou électroniques (conçu en inox) est monté sur une vis à épaulement M5. Il coulisse sur cette vis à l'aide de paliers lisses Iglus® (Iglidur P210) en polymère. Le ressort qui maintient en place et précontraint l'ensemble, est positionné entre deux rondelles en acier. Ainsi ces rondelles peuvent être remplacées lorsque l'usure est trop importante ce qui évite d'usiner à nouveau le socle ou le support du système micromécanique qui sont des pièces plus complexes.

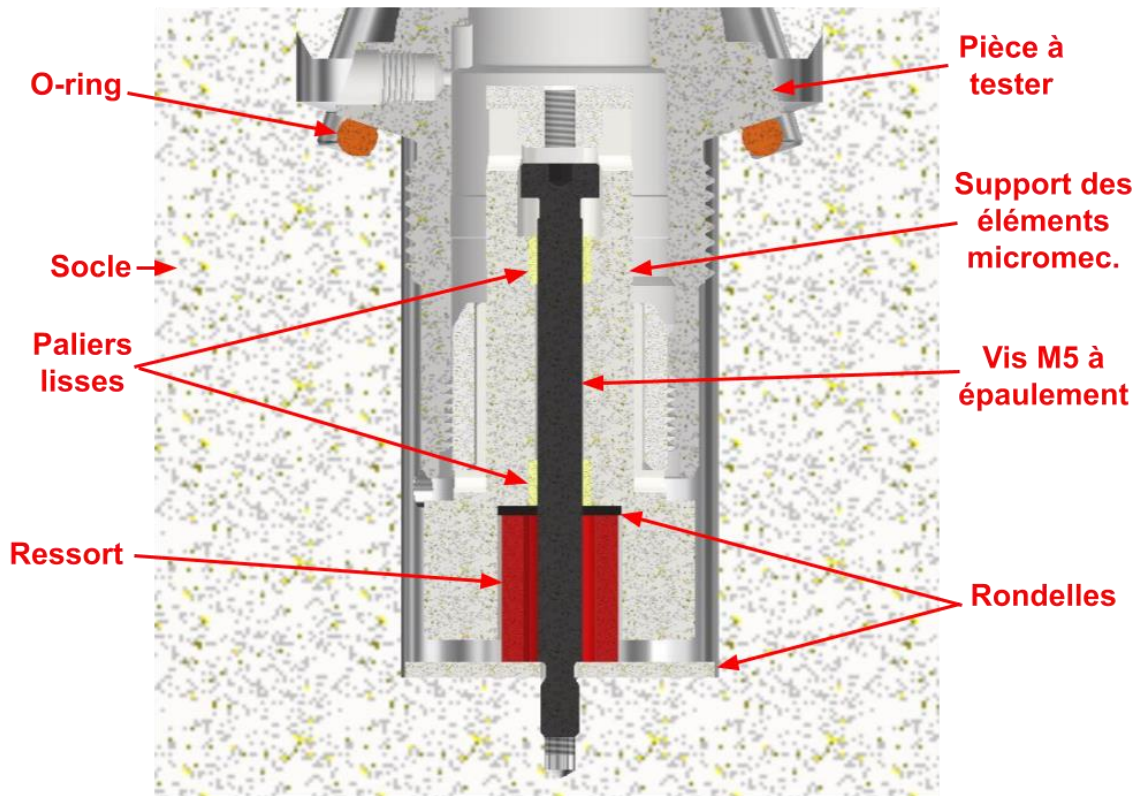


Figure 6-10 : Vue en coupe du support des éléments micromécaniques/électroniques

Deux pièces en polyoxyméthylène (POM) sont pressées sur le support des éléments micromécaniques. Ces pièces servent de zones de contact et permettent de préserver le traitement de surface des pièces à contrôler. De plus, elles sont également remplaçables une fois usées ce qui évite de devoir ré-usiner le support des éléments micromécaniques. Pour faciliter le démontage de l'appui supérieur en POM, il est percé et taraudé.

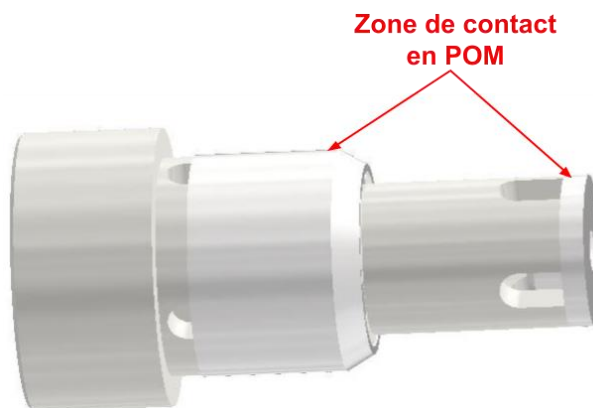


Figure 6-11 : Support des éléments micromécaniques à l'intérieur de la pièce de test avec ses deux appuis en POM

Ce support est également fraisé pour permettre au flux d'air produit par une éventuelle fuite de s'écouler sans étranglement en direction du capteur de pression.

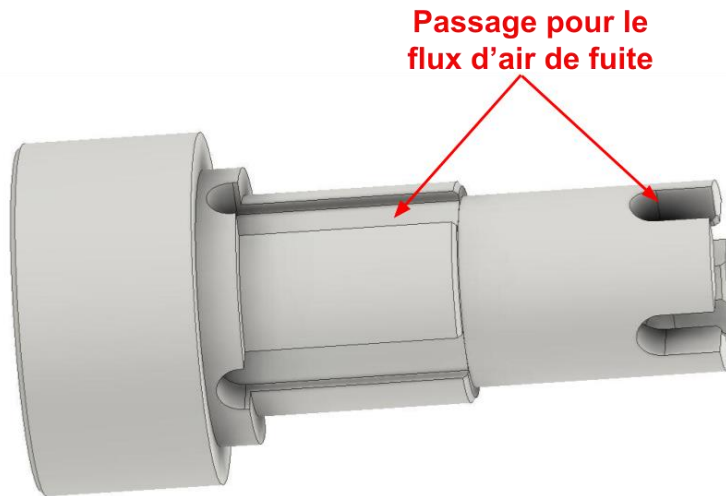


Figure 6-12 : Support des éléments micromécaniques

La vue éclatée avec la liste de pièces ainsi que toutes les mises en plan de la partie mécanique se trouvent dans l'annexe 5.

6.3 Pneumatique

La partie pneumatique est composée de deux circuits distincts. Il s'agit d'un circuit basse pression et d'un circuit haute pression. Le schéma pneumatique de ces circuits se trouve dans l'annexe 6. Les électrovannes sont montées dans un coffret de 600X400X250 mm afin de les protéger des éléments extérieurs.

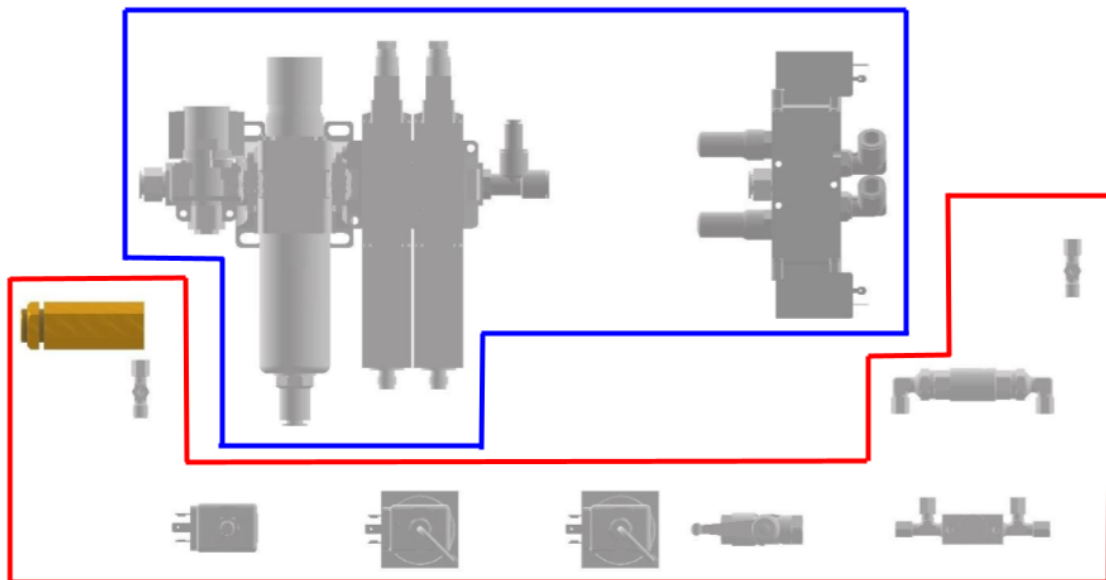


Figure 6-13 : Position des éléments pneumatiques dans le coffret. Les éléments basse pression sont dans la zone bleu, les éléments haute pression dans la zone rouge.

6.3.1 Circuit basse pression

Ce circuit commande le vérin hydropneumatique, il est alimenté par le réseau en air comprimé de l'usine soit environ 8 bar. Tous les tuyaux de ce réseau sont de couleur bleu. Il possède une station de traitement d'air composé d'une vanne d'alimentation principale, d'un manodétendeur avec filtre, d'un capteur de pression et d'un manomètre. La purge de ce filtre s'effectue de manière automatique. A la sortie de cette station de traitement d'air se trouve deux distributeurs 3/2 de sécurité homologué SIL 3.

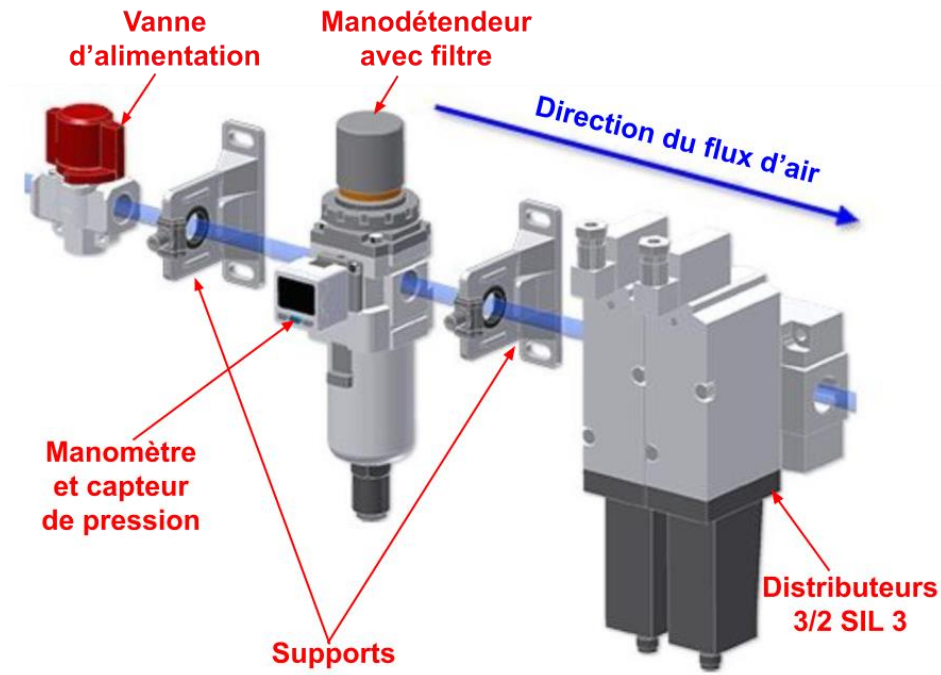


Figure 6-14 : Dispositif d'alimentation d'air basse pression [14]

Après ces distributeurs se trouve un distributeur 5/2 (type VF5223-5YO1-03F) à commande électrique qui permet de commander l'ouverture et la fermeture du vérin hydropneumatique. A la sortie de celui-ci, deux étranglers montés directement sur le vérin hydropneumatique permettent de régler la vitesse du vérin. Ce sont des étranglers régulant l'échappement.

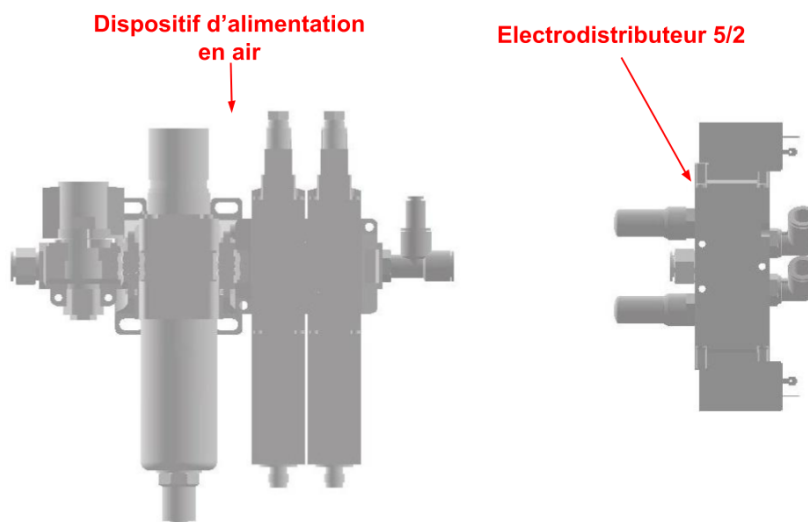


Figure 6-15 : Eléments pneumatiques basse pression

6.3.2 Circuit haute pression

Tous les tuyaux de ce circuit sont de couleur rouge. La pression de test est produite par un compresseur MAX AKHL1260E (figure 5-9 a) capable de fournir 34 bar (selon le mode d'emploi du compresseur [23] p.12).

Ce circuit permet d'amener la pression de test dans la cloche. Le circuit pneumatique est composé d'une électrovanne 2/2 permettant d'isoler le circuit haute pression (pour tester l'étanchéité du circuit haute pression), suivi de deux distributeurs 3/2 permettant de couper l'amenée d'air et d'amener la pression du circuit à l'échappement. Ces deux distributeurs assurent les fonctions de sécurité (selon analyse de risque chapitre 6.1). A la sortie de ces deux distributeurs se trouve une vanne permettant de couper l'arrivée d'air et de purger le circuit d'air manuellement. Deux capteurs de pressions sont également présents dans ce circuit. Le premier, monté à l'entrée du circuit, détermine la pression de cuve du compresseur. Le second, monté à la fin du circuit permet de déterminer la pression présente dans la cloche lors du test d'étanchéité. Les datasheets de ces deux capteurs se trouvent dans l'annexe 7.

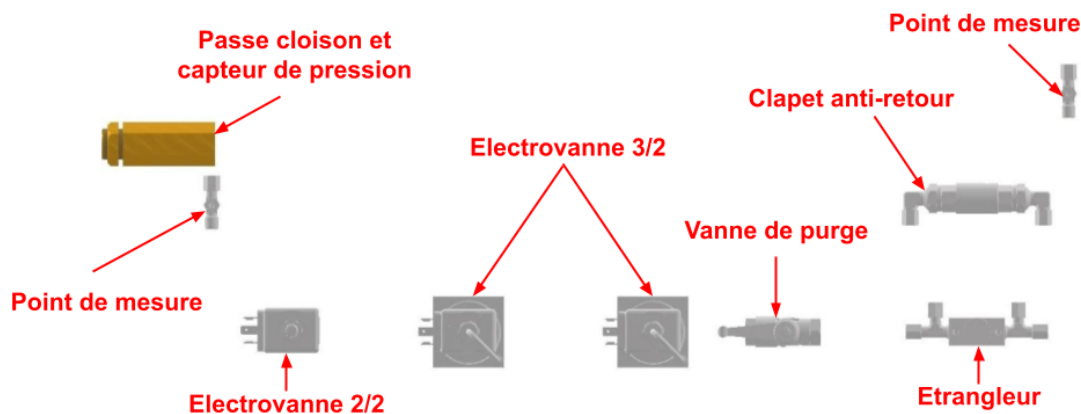


Figure 6-16 : Eléments pneumatiques haute pression

6.3.3 Circuit de fuite

A la sortie du socle se trouve un petit circuit pneumatique qui sert à mesurer la pression provoquée par une fuite éventuelle. Ce circuit est composé d'une nourrice sur laquelle sont fixés un capteur de pression, une soupape de sécurité et un point de mesure pour calibrer le capteur de pression. La datasheet du capteur de pression se trouve dans l'annexe 8.

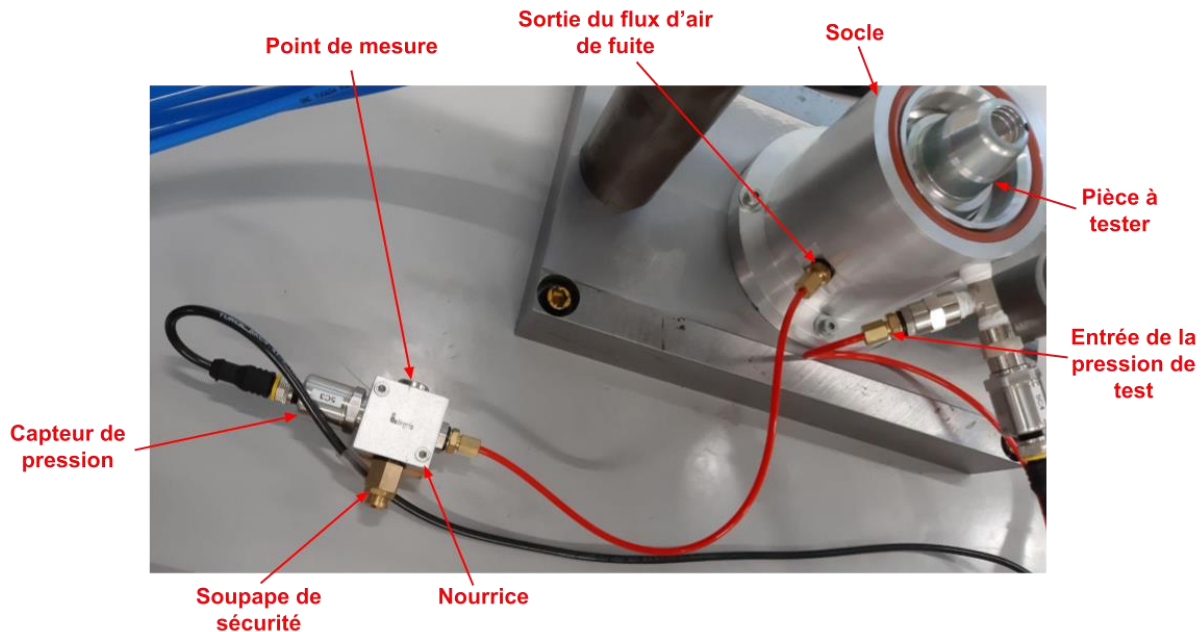


Figure 6-17 : Circuit de fuite

6.4 Électrique

Lors de la conception électrique, le code couleur suivant a été utilisé pour les fils :

Couleur	Signification
Brun	Phase L1 (230 VAC)
Bleu clair	Neutre
Jaune-vert	Terre
Rouge	+ 24 VDC
Bleu foncé	0 VDC
Gris	+ 24 VDC sectionné par un élément (boutons, relais, etc)
Orange	Signal analogique

Tableau 6-7 : Code couleur des fils du tableau électrique

Les éléments électriques sont montés dans un coffret de 600X800X300mm. Le coffret est alimenté en 230 VAC monophasé à l'aide d'une fiche T13 au bout de 5m de câble en polyuréthane.

Les bornes oranges concernent les éléments de sécurité (arrêt d'urgence, contrôle de fermeture de la porte, etc).

Sur le côté du tableau se trouve un compteur de cycles (utilisé pour connaître l'usure de la machine), un interrupteur général et une prise T13 servant à alimenter le compresseur haute pression.

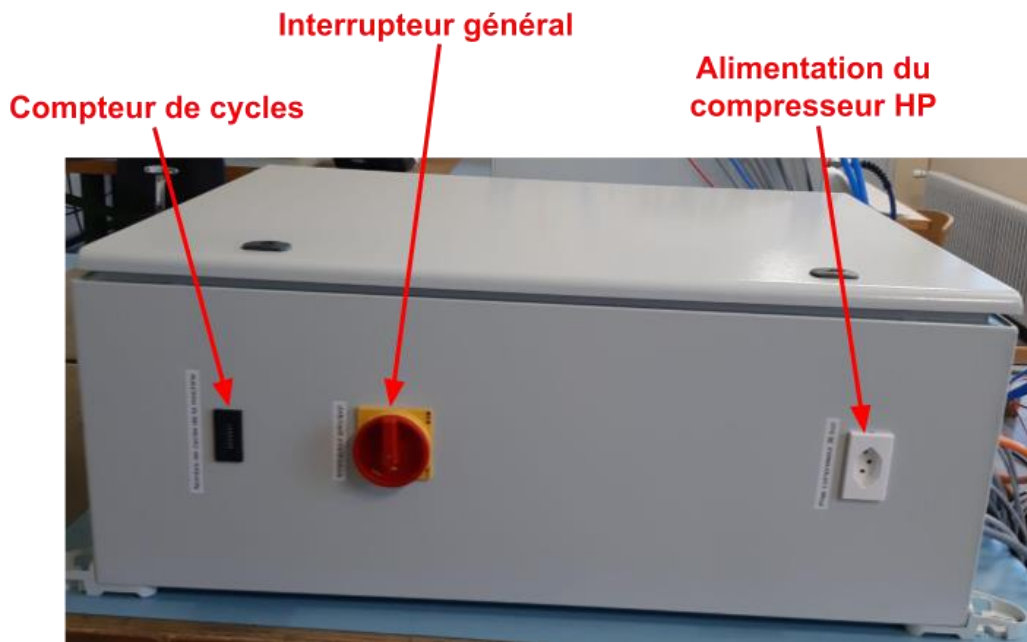


Figure 6-18 : Côté du coffret électrique

Dans le coffret se trouve deux disjoncteurs 230 VAC, le premier alimente le compresseur haute pression, le second alimente l'alimentation 24 VDC. L'alimentation 24 VDC alimente 6 disjoncteurs 24 VDC. Celle-ci est munie d'un potentiomètre qui permet de calibrer la tension de sortie. Les disjoncteurs 24 VDC alimentent l'automate, les capteurs, les relais/contacteurs et les diverses électrovannes. Tous les éléments électriques (à l'exception du compresseur haute pression) fonctionnent en 24 VDC.

L'automate est un Siemens S7-1215 FC avec 3 modules additionnels. Le premier module est un module d'entrées digitales de sécurité. Le second est un module de sorties digitales de sécurité. Le dernier est un module d'entrées analogiques.

Les capteurs analogiques utilisés fournissent un signal de 4 à 20mA. Ainsi il est possible de détecter une rupture de fil sur un capteur, via l'automate programmable.

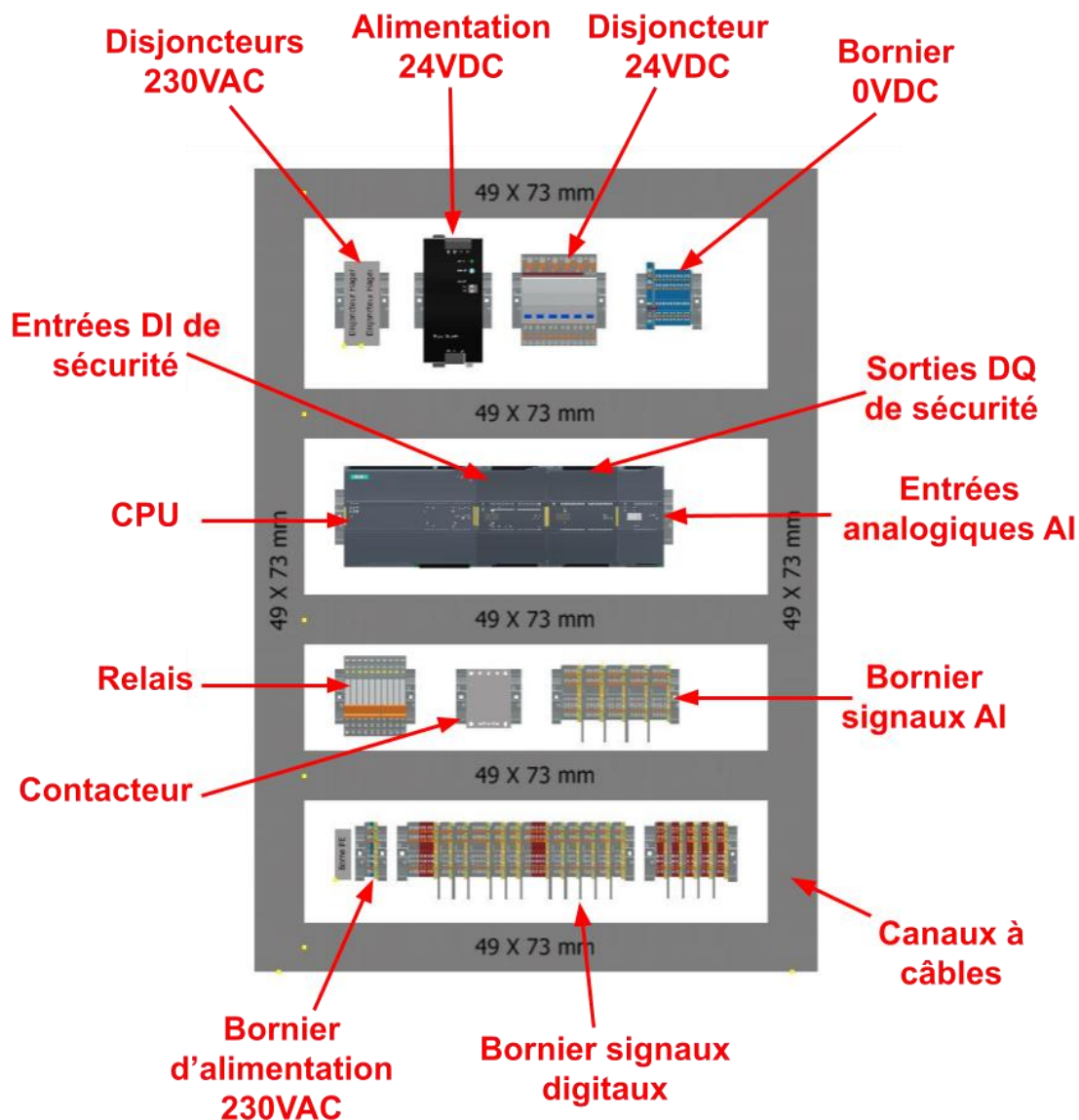


Figure 6-19 : Eléments du coffret électrique

L'interface homme/machine est composée d'un boîtier et avec un bouton Start, un bouton Stop et un arrêt d'urgence ainsi qu'un écran tactile de 7".

Les schémas électriques se trouvent dans l'annexe 9. Le premier numéro sur l'étiquetage des éléments électriques correspond à la page du schéma électrique.

6.5 Programmation

Le logiciel utilisé pour la programmation est TIA Portal V16 pour la programmation de l'automate et WinCC pour la programmation de l'écran tactile.

Afin de garantir les fonctions de sécurité l'automates S7-1215 FC est doté de deux « main » différents. Ils s'intitulent « OB » dans le logiciel TIA Portal. Le « main » standard permet de programmer l'automate de manière standard. Le second « main » est dédié uniquement aux fonctions de sécurité. Pour modifier le « main » de sécurité, le programme exige un code qui est « 1234 ».

La programmation est réalisée de manière séquentielle (en mode automatique) ou en direct en mode manuel/maintenance. La programmation se trouve dans l'annexe 10.

Le programme est réalisé à l'aide de bloc logiques (langage LOG).

Attention, pour pouvoir programmer un automate de sécurité, une licence « Safety » complémentaire est nécessaire.

7. Dimensionnement

Les divers dimensionnements se trouvent dans ce chapitre.

7.1 Mécanique

La majorité des dimensionnements sont réalisés de manière analytique. Toutefois, pour les pièces complexes le dimensionnement est réalisé à l'aide d'un logiciel d'éléments finis.

Le vérin hydropneumatique pouvant produire une force maximale de 48,6 kN, le dimensionnement est réalisé en principe pour une force de 50kN.

7.1.1 Propriétés des matériaux

Voici les valeurs des propriétés des matériaux utilisés dans les dimensionnements.

Matière	Module de Young E [GPa]	Limite élastique Re [MPa]	Limite d'endurance σ_e [MPa]
Acier « basique »	200	250	200
Acier ETG 100	200	800	440
Acier AISI 1050 trempé et revenu à 425°	208	520	318
Polyuréthane 95 Shore	0,07	40	16
Aluminium série 6000	70	75	55
PTFE (Teflon)	0,4	19,7	5,75

Tableau 7-1 : Propriétés des matériaux utilisés lors des dimensionnements tiré du logiciel Granta Edupack 2020 [15] à l'exception des propriétés de l'ETG 100 provenant d'un fournisseur [16]
Les valeurs dans ce tableau sont les valeurs minimales annoncées par Granta Edupack 2020 [15] et par le fournisseur [16]

L'aluminium série 6000 correspond à ce qui s'appelait anciennement l'aluminium « anticorodal ».

7.1.2 Force de fermeture

La force que doit appliquer le vérin pour maintenir le système fermé dépend de la force pour contenir la haute pression, de la force nécessaire pour comprimer les joints O-rings, ainsi que de la force nécessaire pour comprimer le ressort de maintien des éléments micromécaniques et de la force produite par la pièce en Teflon dans le cas où la pièce à tester est dans la tolérance dimensionnelle supérieure.

7.1.2.1 Force provoquée par la haute pression

La pression de test exerce une force qui tend à soulever la cloche (voir figure 5-2). Cette force est déterminée de manière identique au chapitre 5.1.3. Toutefois ce calcul tient compte des dimensions exactes de la cloche. La cote utilisée pour déterminer la surface soumise à la pression de test correspond à la limite extérieur de la gorge du joint O-ring extérieur soit 92mm de diamètre (voir mise en plan P008 annexe 5). Cette force est déterminée pour une pression de 30 bar (pression de test normale) et pour une pression de 34 bar (pression max fournie par le compresseur).

$$F_{ferm30bar} = p * A = 30 * 10^5 * \frac{92^2 * \pi}{4} * 10^{-6} \cong 19,9 \text{ kN}$$

$$F_{ferm34bar} = p * A = 34 * 10^5 * \frac{100^2 * \pi}{4} * 10^{-6} \cong 22,6 \text{ kN}$$

Avec : $F_{ferm30bar}$: Force de fermeture avec 30 bar de pression sous cloche [N]

$F_{ferm34bar}$: Force de fermeture avec 34 bar de pression sous cloche [N]

p : Pression [Pa]

A : Surface de la cloche sur laquelle la pression s'applique [m²]

7.1.2.2 Force de compression des joints O-rings

Avant de déterminer la force nécessaire pour comprimer les O-rings, il faut connaître la compression à appliquer aux joints. Cette compression varie en fonction du diamètre de la corde du O-ring. Plus la compression est élevée, plus l'étanchéité est garantie. Selon les informations du fournisseur, pour un O-ring de 5,34mm de diamètre de corde (ce qui correspond au joint utilisé ici) la compression ne doit pas dépasser environ 17%. Afin d'avoir une étanchéité optimale, les gorges ont été conçues pour appliquer ce taux de compression. Pour déterminer la profondeur de la gorge afin d'obtenir cette compression avec ce type d'O-ring, il faut consulter une table dans la documentation du fournisseur ([17] p.103). Ici la profondeur de la gorge doit être de 4,43mm.

Compression du diamètre de corde

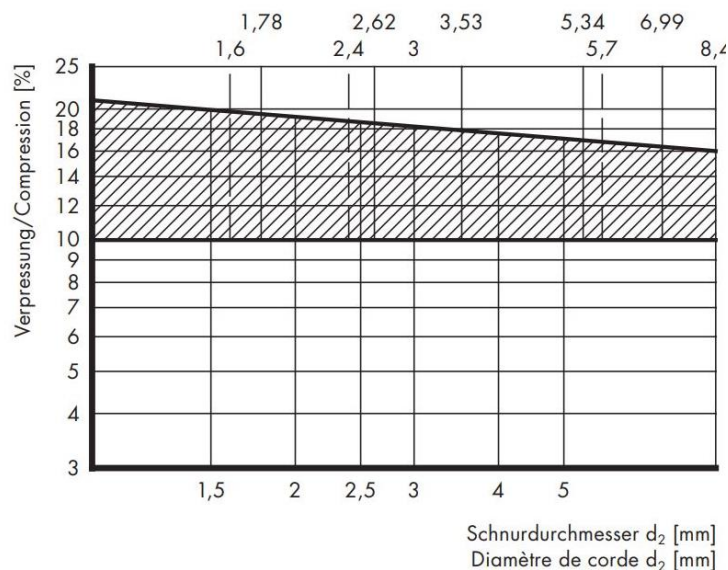


Figure 7-1 : Taux de compression préconisé en cas de compression statique en fonction du diamètre de corde du O-ring selon Angst+Pfister ([17] p.85)

Pour déterminer la force nécessaire, il faut se référer à une table du fournisseur. Comme les O-rings ont une dureté de 70 Shore et que la compression est connue, il est possible de déterminer la force de compression en mm en fonction du diamètre intérieur du O-ring.

Verpressung Schnurdurchmesser/Compression du diamètre de corde

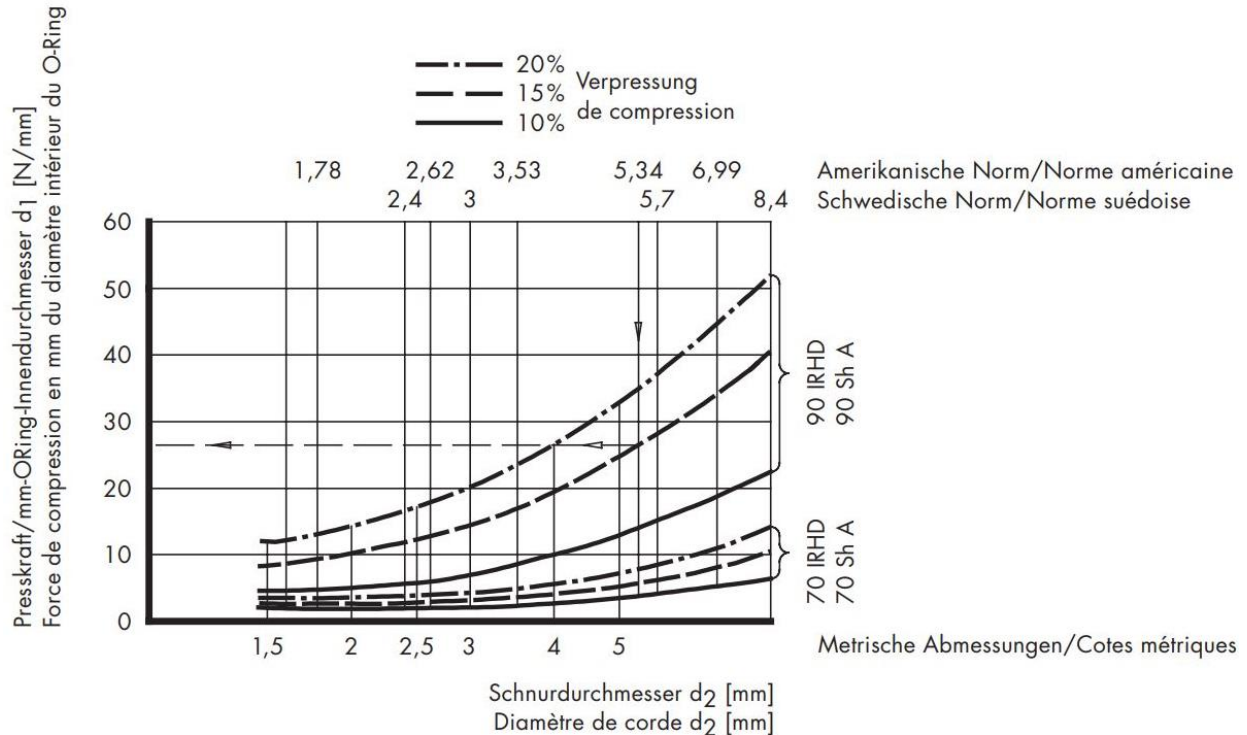


Figure 7-2 : Force de compression en mm du diamètre intérieur du O-ring en fonction de la compression et de la dureté Shore du joint ([17] p.104)

En lisant sur le diagramme au croisement de la courbe de 20% de compression d'un joint d'une dureté Shore de 70, avec la courbe d'un diamètre de corde de 5,34; la force de compression en mm du diamètre intérieur du O-ring est légèrement inférieure à 10 N/mm.

Pour déterminer la force nécessaire à la compression des joint, la force de compression en mm du diamètre intérieur du O-ring ($F_{compr.diam}$) est estimée à 10 N/mm. Avec cette valeur et en connaissant le diamètre intérieur des joints O-rings, soit 81,92 mm pour le grand joint et 46,99mm pour le petit joint (voir liste de pièce annexe 5) la force de compression peut être déterminée ainsi :

$$F_{compr.g} = F_{compr.diam} * d_{o.g} = 10 * 81,92 \cong 819 \text{ N}$$

$$F_{compr.p} = F_{compr.diam} * d_{o.p} = 10 * 46,99 \cong 470 \text{ N}$$

Avec : $F_{compr.g}$: Force nécessaire pour comprimer le grand O-ring [N]

$F_{compr.p}$: Force nécessaire pour comprimer le petit O-ring [N]

$F_{compr.diam}$: Force de compression en mm du diamètre intérieur du O-ring [$\frac{N}{mm}$]

$d_{o.g}$: Diamètre intérieur du grand joint O-ring [mm]

$d_{o.p}$: Diamètre intérieur du petit joint O-ring [mm]

7.1.2.3 Force du ressort du support du circuit électronique/micromécanique

Il s'agit du ressort P017 (voir annexe 5). Ce ressort a pour but de maintenir en position les éléments à l'intérieur de la pièce à tester. En effet lors du test la pression remplit une chambre cylindrique qui va avoir tendance à sortir les éléments micromécanique de leur logement (voir figure 6-9). Le ressort est dimensionné pour lutter contre cette force et maintenir les éléments en place. Par conséquent, la force de fermeture doit également compresser ce ressort jusqu'à ce que la pression de test soit présente dans la cloche.

La chambre cylindrique ayant un diamètre de 9mm, la force qui doit être appliquée sur le système pour maintenir la pression de test peut être déterminée comme la force de fermeture du chapitre 5.1.3.

$$F_{micromec} = p * A = 30 * 10^5 * \frac{9^2 * \pi}{4} * 10^{-6} \cong 191 \text{ N}$$

Avec : $F_{micromec}$: Force provoquée par la pression de test sur les éléments micromécaniques/électroniques [N]

p : Pression de test [Pa]

$A_{micromec}$: Surface dans la pièce à tester soumise à la pression de test [m²]

Afin de garantir que les éléments micromécaniques ne bougent pas durant le test, le ressort est dimensionné pour appliquer une force d'environ 520N sur le système soit avec un facteur de sécurité de 2,7.

Le ressort utilisé a une constante de ressort $k_{ressort}$ de 86,9 N/mm. Il est comprimé d'une longueur de 6mm lors de la fermeture de la cloche. La force qu'il applique sur la micromécanique et par conséquent sur la cloche peut être déterminé ainsi :

$$F_{ressort} = k_{ressort} * d_{ressort} = 86,9 * 6 \cong 521 \text{ N}$$

Avec : $F_{ressort}$: Force provoquée par la compression du ressort [N]

$k_{ressort}$: Constante du ressort [$\frac{N}{mm}$]

$d_{ressort}$: Compression du ressort [mm]

7.1.2.4 Force due à la déformation de l'appui en téflon

Comme expliqué dans le chapitre 6.2, un appui en PTFE (P012) situé dans la cloche permet de compenser les tolérances dimensionnelles des pièces testées. Dans le pire des cas, cette pièce doit s'écraser de 0,2 mm (Δl_{PTFE}). Cette déformation applique une force sur la cloche. En faisant l'hypothèse que la pièce travaille purement en compression, la force nécessaire à la déformation de l'appui en PTFE peut être déterminée à l'aide de la loi de Hooke.

$$\varepsilon_{PTFE} = \frac{\Delta l_{PTFE}}{l_{0PTFE}} = \frac{0,2}{6,2} \cong 3,23 \%$$

$$\sigma_{PTFE} = E_{PTFE} * \varepsilon_{PTFE} = 0,4 * 10^3 * \frac{3,23}{100} \cong 12,9 \text{ MPa}$$

$$F_{PTFE} = \sigma_{PTFE} * S_{PTFE} = 12,9 * 311 \cong 4 \text{ kN}$$

Avec : ε_{PTFE} : Déformation de l'appui en PTFE [-]

Δl_{PTFE} : Delta de longueur de l'appui en PTFE [mm]

l_{0PTFE} : Longueur initiale de l'appui en PTFE [mm]

σ_{PTFE} : Contrainte subie par l'appui en PTFE [MPa]

E_{PTFE} : Module de Young du PTFE [MPa]

S_{PTFE} : Surface soumise à déformation de l'appui en PTFE [mm²]

F_{PTFE} : Force nécessaire pour déformer l'appui en PTFE [N]

La surface S_{PTFE} est déterminée à l'aide d'Inventor sur le modèle 3D. Elle correspond à la surface d'appuis de la pièce P012.

La contrainte de 12,9 MPa subie par le matériau est inférieure à la limite élastique du PTFE (soit 19,7 MPa voir Tableau 7-1) ce qui correspond à un facteur de sécurité d'environ 1,5.

La force nécessaire à déformer la pièce P012 de 0,2mm (F_{PTFE}) soit 4kN est un ordre de grandeur de la force nécessaire pour comprimer l'appuis en PTFE. Toutefois, dans la réalité cette force est inférieure à cette valeur car la pièce en PTFE travaille également en flexion. Ce dimensionnement permet de quantifier le pire scénario.

7.1.2.5 Force de fermeture

La force que doit fournir le vérin pour maintenir l'ensemble fermé (F_{verin}) correspond à la somme des forces déterminée dans le chapitre 7.1.2. Elle est calculée avec les valeurs obtenues avec 34 bar de pression car c'est le maximum que le compresseur peut produire. Ainsi même en cas de variation de la pression de test, le système reste verrouillé.

$$\begin{aligned} F_{verin} &= \sum F = F_{ferm34bar} + F_{compr.g} + F_{compr.p} + F_{ressort} + F_{PTFE} \\ &= 22'600 + 819 + 470 + 521 + 4'000 \cong 28,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Avec : F_{verin} : Force min. que le vérin doit fournir pour maintenir l'ensemble fermé [N]

Le vérin doit donc appliquer au minimum 28,4 kN sur la cloche afin de garantir que l'ensemble reste fermé durant le test.

7.1.3 Plaque inférieure du portique

Cette plaque de 50mm d'épaisseur est dimensionnée avec les propriétés de l'acier « basique » car la dénomination exacte de l'acier n'est pas connue. La force utilisée pour le dimensionnement de la plaque est de 50 kN soit légèrement plus que ce que le vérin hydropneumatique peut fournir.

7.1.3.1 Calcul par éléments finis basiques

Une simulation simple par éléments finis a été réalisée sur Ansys Mechanical 2020 R2 afin d'avoir un ordre de grandeur concernant la déformation de la plaque. La plaque est considérée ici comme une poutre (sans trou) « encastree » à ses deux extrémités. Les dimensions de la poutre considérée dans la simulation sont 200mm de largeur et 46mm de hauteur. Les propriétés des matériaux sont celles citées dans le tableau 7-1 pour de l'acier « basique » avec un coefficient de poisson de 0,3. La longueur entre les deux encastrements est de 240mm. La force appliquée au centre (par le vérin) est de 50kN. La poutre est constituée de 52 éléments de type « Beam ». Le maillage contient 100 nœuds.

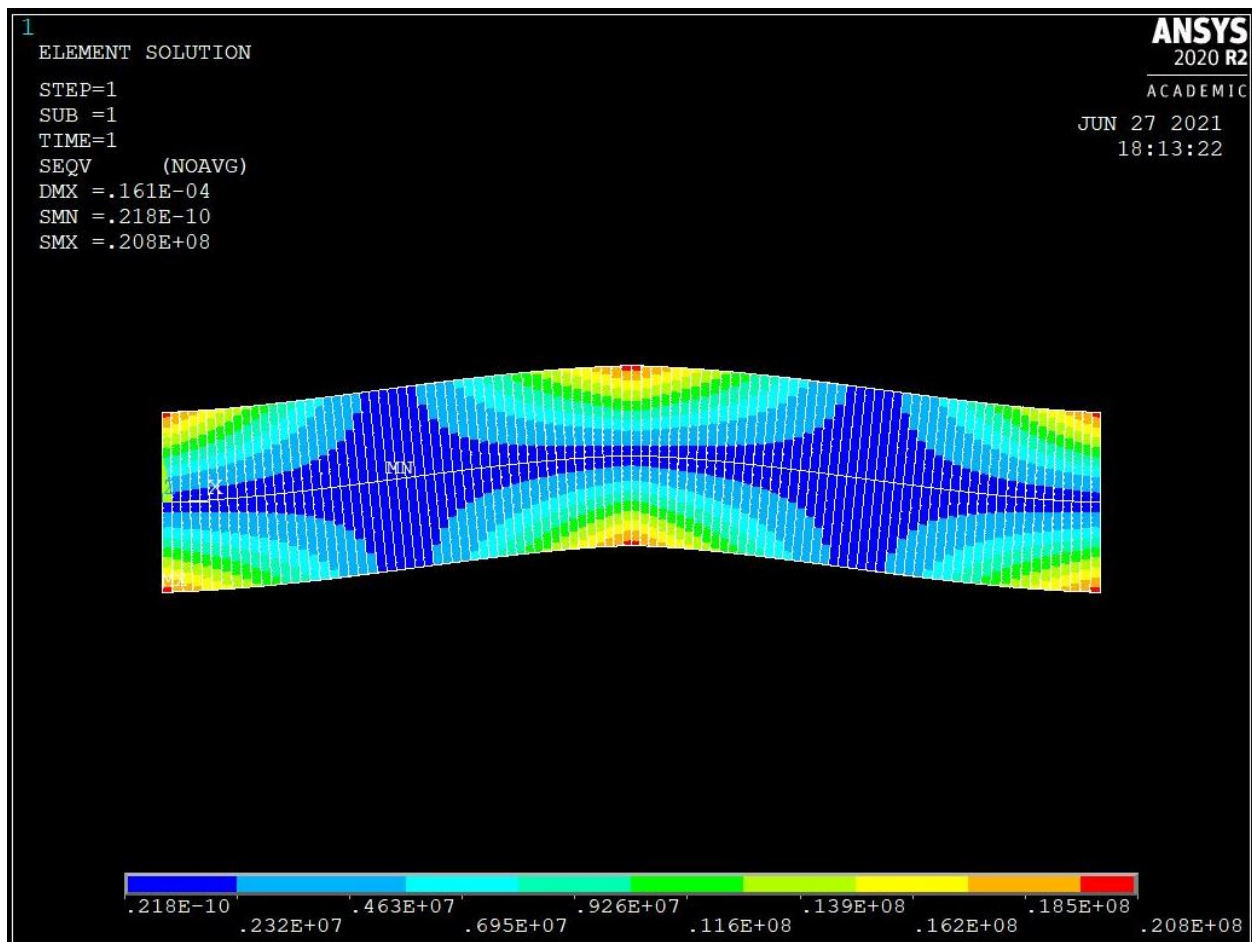


Figure 7-3 : Simulation basique des plaques du portiques. Les valeurs affichées sont en unité SI.

Le déplacement maximal obtenu au centre de la poutre est de 16 μ m. La contrainte de Von Mises maximale est de 20,8 MPa. Toutefois, cette simulation permet d'avoir un ordre de grandeur concernant la déformation mais le maillage, trop grossier, ne permet pas d'avoir des valeurs de contraintes crédibles.

7.1.3.2 Calcul par éléments finis

Pour obtenir une valeur de contrainte et de déplacement plus précise, deux simulations ont été réalisées sur le logiciel Ansys Workbench 2020 R2 sur la pièce 3D. La première avec un maillage grossier et la seconde avec un maillage raffiné dans les zones intéressantes afin de s'assurer que les résultats concordent. Les résultats traités ici concernent l'analyse avec le maillage le plus fin (soit 11'273 nœuds).

Les valeurs utilisées lors de cette analyse sont celle de l'acier « basique » (selon tableau 7-1) avec un coefficient de poisson de 0,3. Les liaisons entre les colonnes et la plaque sont considérées comme des encastremements. La force du vérin est de 50 kN et s'applique sur la plaque en acier via la surface du socle en aluminium de la pièce à tester. De plus, 63 kN s'appliquent sous la plaque dans chaque logement de vis M20 sur une surface correspondant à la rondelle de la vis M20. Il s'agit de la précontrainte des vis (voir chapitre 7.1.5.2).

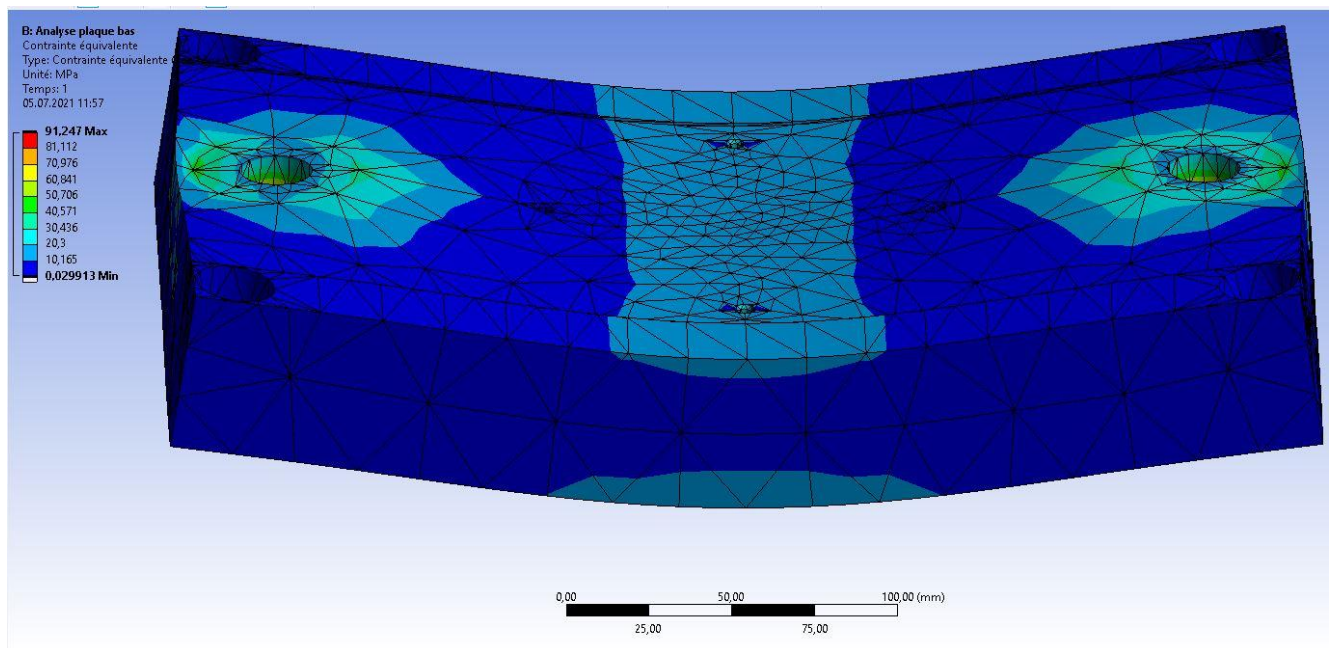


Figure 7-4 : Analyse des contraintes de Von Mises sur la plaque du bas (vue générale)

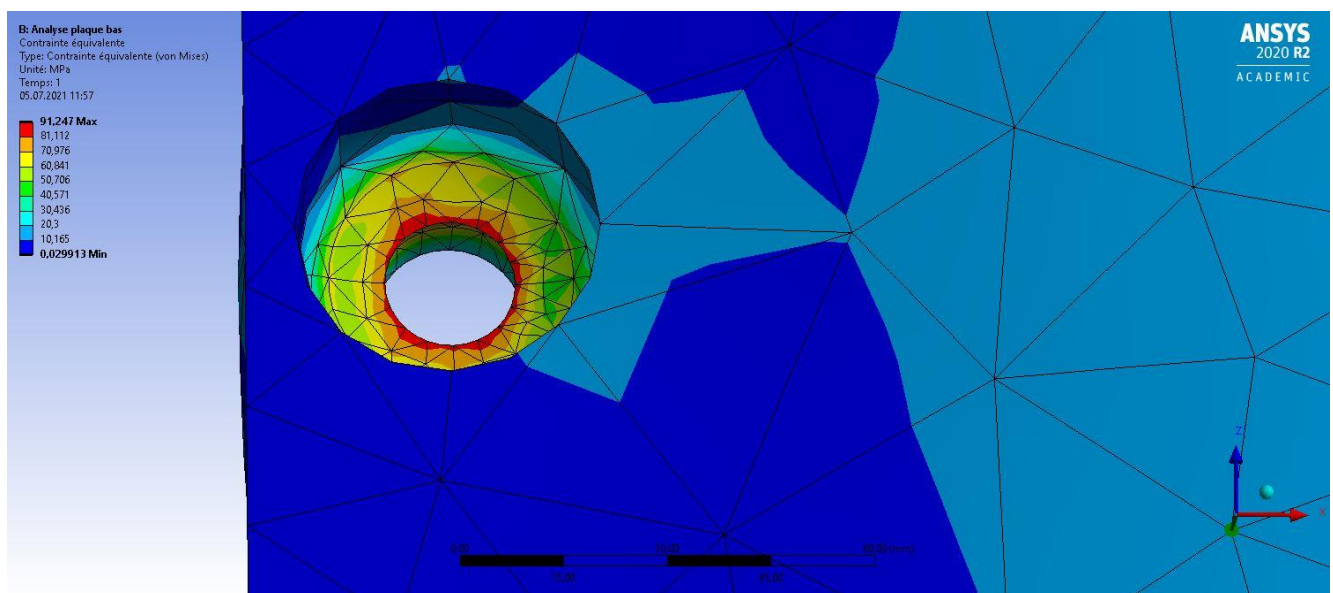


Figure 7-5 : Zone où la contrainte de von Mises est la plus élevée soit sous les têtes de vis M20

La contrainte la plus élevée est d'environ 91 MPa et se trouve sous la tête des vis M20. Elle est principalement due à la précontrainte des vis. Avec une contrainte de 91MPa le facteur de sécurité est d'environ 2,7 par rapport à la limite élastique et la limite de fatigue n'est pas atteinte. Par conséquent la pièce peut subir 10 millions de cycles.

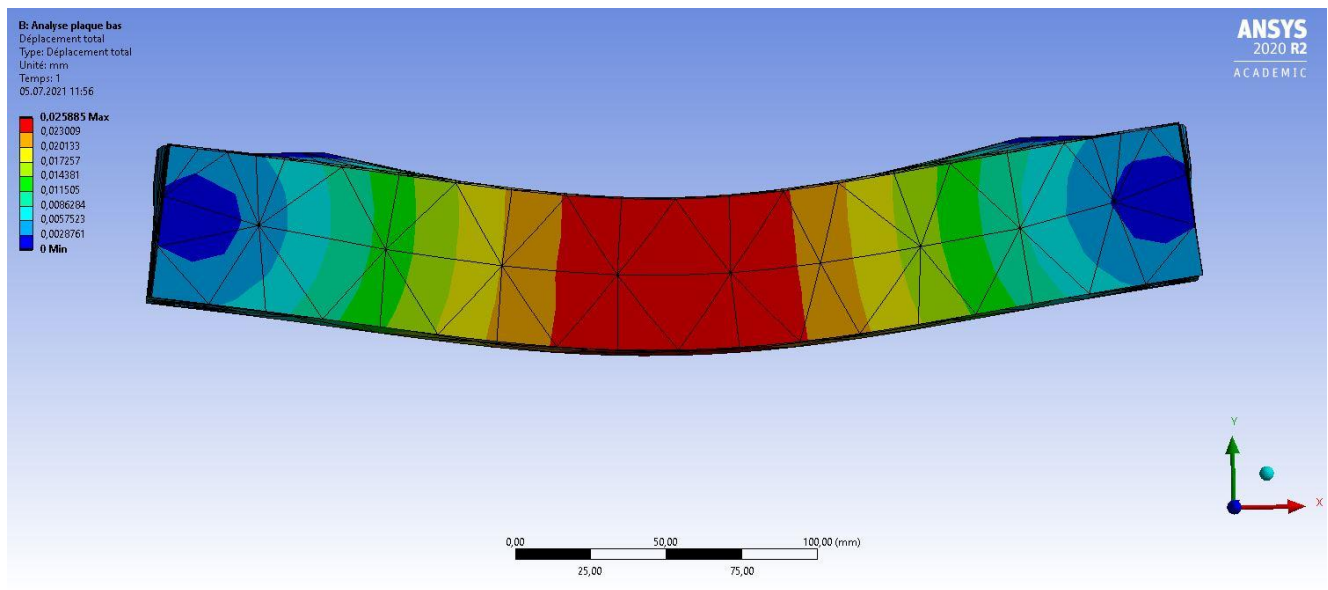


Figure 7-6 : Simulation des déplacements de la plaque inférieure

Le déplacement le plus important se trouve au milieu de la plaque inférieure (P001) et est d'environ $26\mu\text{m}$. Ce déplacement est du même ordre de grandeur que la simulation grossière ce qui crédibilise les résultats obtenus lors de cette simulation.

7.1.4 Plaque supérieure du portique

L'analyse par éléments finis de la plaque supérieure (P007) a été réalisée de manière similaire à l'analyse de la plaque inférieure (soit également avec 2 maillages différents). Toutefois, seule une analyse grossière a été réalisée sur Ansys Mechanical 2020 R2 qui fait office d'ordre de grandeur pour les deux plaques (voir chapitre 7.1.3.1).

Les paramètres des matériaux utilisés sur l'analyse d'Ansys Workbench sont identiques à ceux utilisés pour l'analyse de la plaque inférieure. Le maillage contient 16'050 nœuds. Les liaisons entre les colonnes et la plaque sont considérées comme des encastremets. La force du vérin est de 50 kN et est répartie sur les 6 vis M8 qui maintiennent le vérin sur la plaque. Par conséquent, la force est de 8'350 N par vis. Ces forces sont appliquées dans le chambrage des vis M8 sur une surface correspondant à la surface des rondelles des vis M8.

De plus, 63 kN s'appliquent sur la plaque dans chaque logement de vis M20 sur une surface correspondant à la rondelle de la vis M20. Il s'agit de la précontrainte des vis (voir chapitre 7.1.5.2). Voici les résultats obtenus :

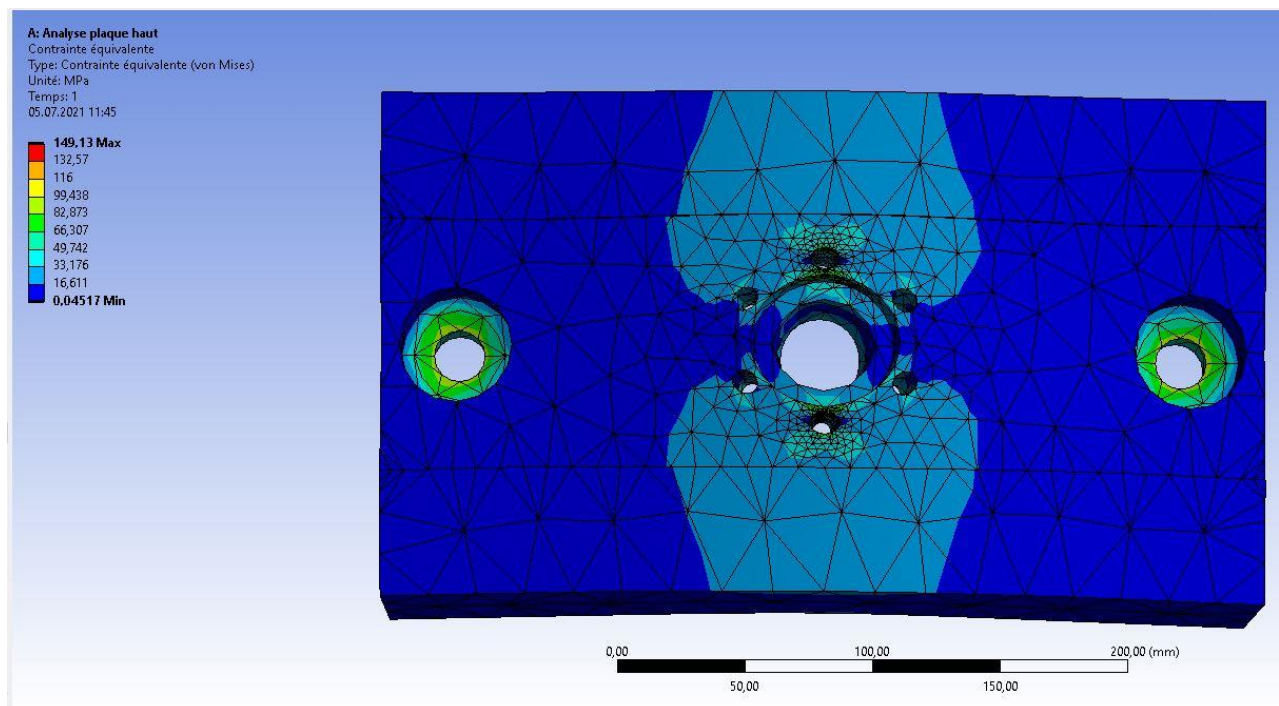


Figure 7-7 : Analyse des contraintes de Von Mises sur la plaque du haut (vue générale)

La zone où la contrainte est la plus élevée se trouve sur la plaque, dans les trous de passage des Vis M8 positionnés au milieu de la plaque.

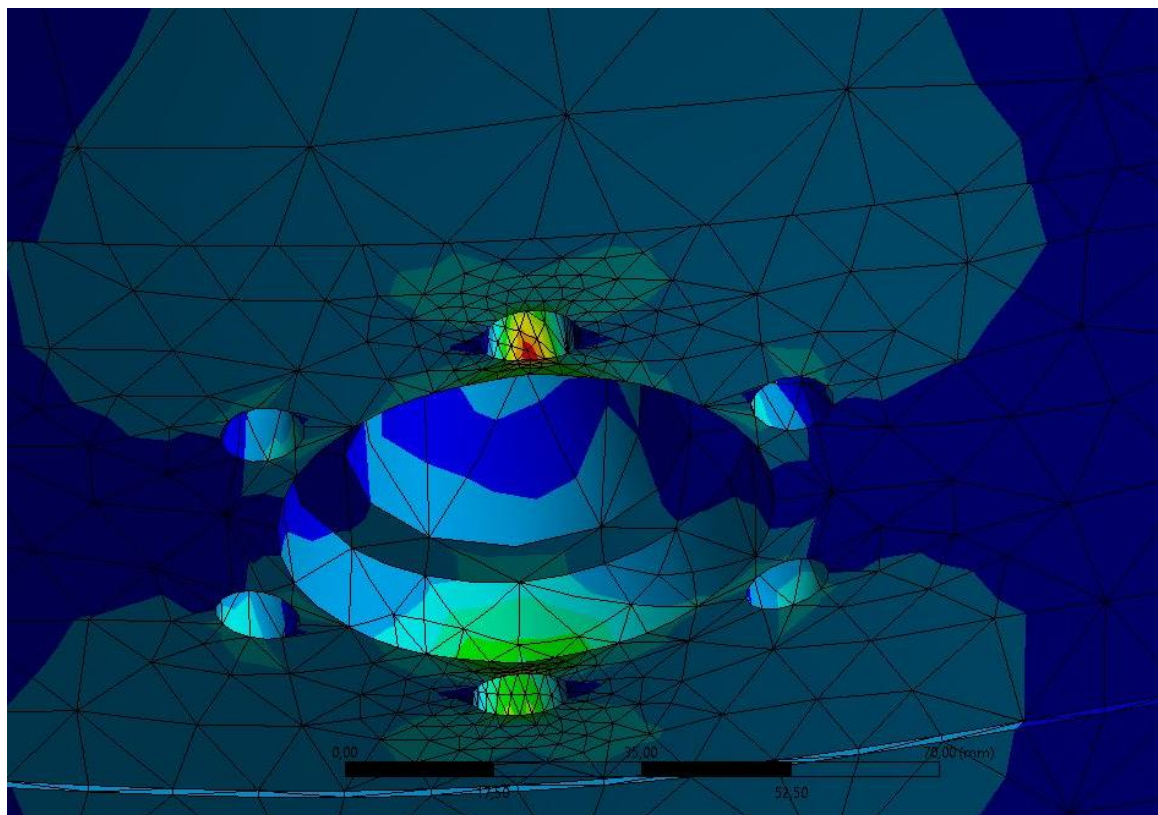


Figure 7-8 : Zone où la contrainte de von Mises est la plus élevée soit sur les trous de passage des vis M8

La contrainte la plus élevée est d'environ 149 MPa. Avec cette contrainte le facteur de sécurité est d'environ 1,7 par rapport à la limite élastique et la limite de fatigue n'est pas atteinte. Par conséquent la pièce peut subir 10 millions de cycles.

De plus, dans cette analyse, on ne tient pas compte du montage avec le vérin hydropneumatique qui tend à rigidifier l'ensemble.

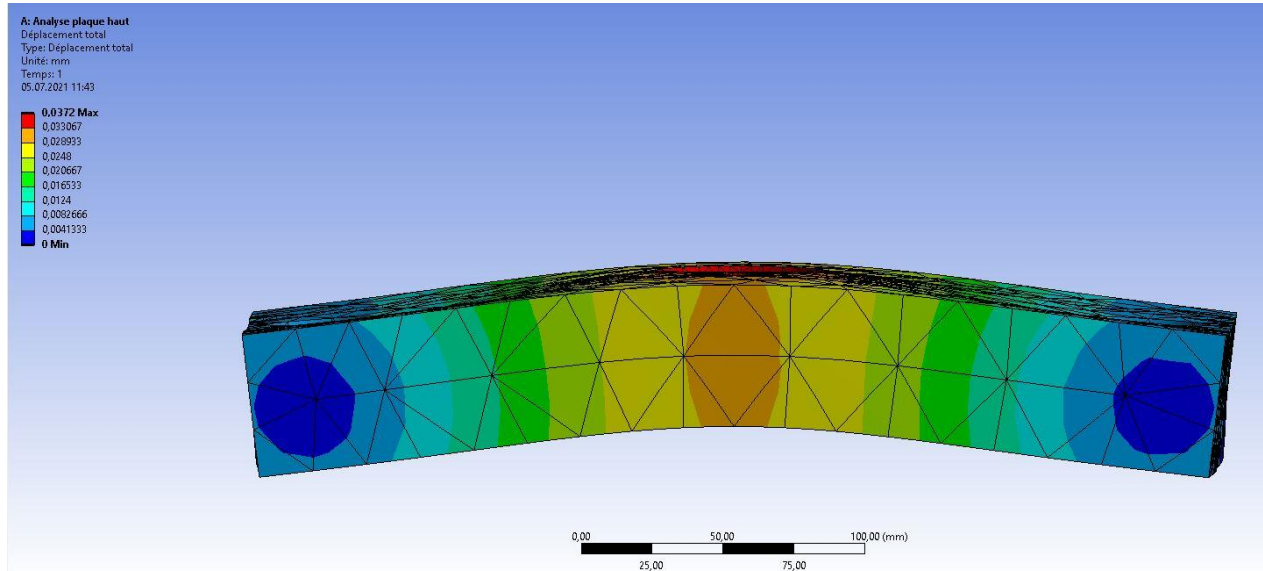


Figure 7-9 : Simulation des déplacements de la plaque supérieure

Le déplacement maximal est ici d'environ $37\mu\text{m}$. C'est une valeur qui correspond aux ordres de grandeurs des valeurs obtenues précédemment.

7.1.5 Vis M20 du portique

Le dimensionnement des vis a été réalisé par deux approches différentes afin de garantir un dimensionnement correct.

7.1.5.1 Approche selon la thèse de Monsieur Aliou BADARA CAMARA

Le dimensionnement des vis M20 s'est basé sur la thèse de Monsieur Aliou BADARA CAMARA sur l'analyse du comportement en fatigue d'assemblages boulonnés [18].

Dans cette thèse un modèle similaire au portique a été analysé.

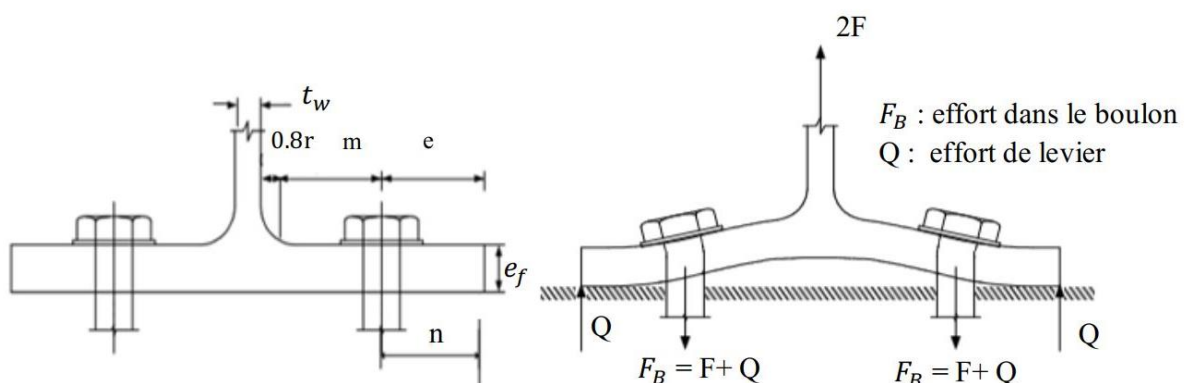


Figure 7-10 : Modèle analysé dans la thèse de Monsieur Aliou BADARA CAMARA ([18] p.75)

Dans ce modèle, 3 modes de ruptures peuvent être constatés selon Monsieur BADARA CAMARA ([18] p.75) :

- le mode 1 (ruine plastique de la platine) : il correspond à la ruine du tronçon en té par formation d'un mécanisme plastique avant que la ruine des boulons ne soit atteinte. Ce mode de ruine s'accompagne d'une déformation plastique importante de la semelle.
- le mode 2 : il correspond à un mode de ruine mixte de la platine et des boulons. C'est un mode de ruine intermédiaire.
- le mode 3 : il correspond à la ruine des boulons. La rigidité importante des semelles du tronçon en té conduit à la séparation des plats assemblés sans apparition d'effort de levier. Ce mode de ruine se caractérise par une rupture brutale des boulons.

Comme lors du dimensionnement des plaques, la plaque supérieure du portique se déforme au maximum de $37\mu\text{m}$ et la plaque inférieure se déforme de $26\mu\text{m}$. L'hypothèse est faite que le mode de rupture correspond au modèle 3 car les plaques sont suffisamment rigides. Dans ce cas, il n'y a pas d'apparition d'effet levier ou d'effet de décapsulation des têtes de vis. La force subie par les vis est de la traction pure et peut être déterminée par une simple somme des forces.

Par conséquent, comme le portique est symétrique, lorsque le vérin applique une force de 50 kN sur l'ensemble, chaque vis M20 supporte une force de 25 kN.

Comme il s'agit de vis M20 10.9, elles peuvent supporter une force max de 203 kN (voir table charge d'épreuve Bossard [19] p.T006). Par conséquent, les vis sont dimensionnées avec un facteur de sécurité d'environ 8. Attention toutefois, le précontrainte n'est pas considéré ici.

7.1.5.2 Approche selon Bossard avec la précontrainte

Pour dimensionner une vis, le fabricant Bossard a mis en place un système de table qui permet également de déterminer la précontrainte du système.

Procédé

- A** Choisir dans la colonne 1 la valeur juste au-dessus de la charge en service F_{AQ} agissant sur l'assemblage vissé.
- B** La précontrainte nécessaire $F_{M \min}$ se détermine par un décalage augmentant de:

ou 4 pas pour une sollicitation transversale statique ou dynamique	ou 2 pas pour une sollicitation axiale dynamique et excentrique
ou 1 pas pour une sollicitation axiale dynamique et centrée ou statique et excentrique	ou 0 pas pour une sollicitation axiale statique et centrée

1	2	3	4
Charge [N]	Diamètre nominal de filetage [mm]		
	12.9	10.9	8.8
250	-	-	-
400	-	-	-
630	-	-	-
1 000	M3	M3	M3
1 600	M3	M3	M3
2 500	M3	M3	M4
4 000	M4	M4	M5
6 300	M4	M5	M6
10 000	M5	M6	M8
16 000	M6	M8	M10
25 000	M8	M10	M12
40 000	M10	M12	M14
63 000	M12	M14	M16
100 000	M16	M18	M20
160 000	M20	M22	M24
250 000	M24	M27	M30
400 000	M30	M33	M36
630 000	M36	M39	-

- C** La précontrainte maximale $F_{M \max}$ se détermine à partir de $F_{M \min}$ en décalant de:

ou 2 pas lorsque le serrage de la vis est effectué avec une visseuse conventionnelle qui est réglée par le couple d'après-serrage	
ou 1 pas lorsque le serrage est effectué à l'aide d'une clé dynamométrique ou une visseuse précise qui mesurent le couple dynamique ou l'allongement de la vis en contrôlant ainsi le serrage	ou 0 pas lorsque le serrage est effectué à l'aide d'un instrument capable de mesurer l'angle de rotation dans le domaine élastique ou par un dispositif informatique qui contrôle la limite d'élasticité de la vis.

- D** Il suffit alors de choisir le diamètre de filetage de la vis en mm dans les colonnes 2 à 4 en fonction de la classe de qualité de la vis.

¹⁾ VDI = Association des Ingénieurs Allemands

Figure 7-11 : Méthodologie de dimensionnement de vis selon Bossard ([19] p.T.034)

Comme le portique est symétrique, la force du vérin soit 48,6 kN peut être répartie de manière égale sur les deux vis soit une F_{AQ} de 24,3 kN par vis.

La charge dans la colonne 1 déterminée au point A est donc (comme expliqué sur la figure 7-11) de 25'000N.

La précontrainte nécessaire F_{Mmin} se détermine en avançant de 2 pas car il s'agit d'une sollicitation axiale dynamique et excentrique. F_{Mmin} vaut donc 63'000 N (voir point B figure 7-11).

Comme le serrage se fait à l'aide d'une clé dynamométrique il faut avancer encore de 1 pas soit une charge de 100'000N. Pour supporter cette charge il faut choisir au minimum une vis M16 12.9 ou M18 10.9 ou encore M20 8.8.

Pour garantir que l'ensemble soit assez rigide, des vis M20 10.9 ont été sélectionnées. Si l'on admet que ces vis ne travaillent qu'en traction (voir chapitre 7.1.5.1) Elles supportent une charge maximale déterminé de la manière suivante :

$$F_{vis} = F_{Mmin} + F_{AQ} = 63'000 + 24'250 \cong 87,3 \text{ kN}$$

Avec : F_{vis} : Charge totale soumise à la vis [N]

F_{Mmin} : Précontrainte nécessaire de la vis [N]

F_{AQ} : Charge de service de la vis [N]

Comme les vis M20 10.9 peuvent supporter une force max de 203 kN (voir tablelle charge d'épreuve Bossard [19] p.T006). Les vis sont dimensionnées avec un facteur de sécurité d'environ 2,3.

7.1.5.3 Calcul de fatigue

Les vis M20 subissent comme toutes les pièces du portique un phénomène de fatigue car le vérin applique une force de manière cyclique. Toutefois, la force provoquant un effet de fatigue est uniquement la force de service due au vérin (F_{AQ}) car la force de précontrainte des vis (F_{Mmin}) est constante. Les vis de qualité 10.9 peuvent être en différents alliages dont l'acier AISI 1050 trempé et revenu à 425° (selon le tableau « Acier » de la documentation Bossard [19] p.T007).

En faisant l'hypothèse que la vis est sollicitée purement en traction la contrainte provoquant de la fatigue peut être déterminée ainsi :

$$\sigma_{FM20} = \frac{F_{AQ}}{A_{M20}} = \frac{24'250}{245} \cong 99 \text{ MPa}$$

Avec : σ_{FM20} : Contrainte provoquant de la fatigue dans la vis M20 [MPa]

F_{AQ} : Charge de service de la vis [N]

A_{M20} : Section résistante d'une vis M20 [mm²]

La section résistante de la vis M20 est définie par le tableau « Pression de surface sous tête pour vis à tête hexagonale » du fournisseur Bossard ([19] p.T038).

La contrainte σ_{FM20} étant inférieure à 318 MPa (voir Tableau 7-1) les vis M20 supporteront 10 millions de cycles.

7.1.5.4 Couple de serrage

Pour obtenir la précontrainte de 63 kN dans la vis M20, un certain couple de serrage doit être appliqué en prenant en compte le coefficient de frottement entre la vis et le taraudage.

Ce coefficient de frottement (μ_k) est estimé à 0,12 ce qui correspond à un montage avec lubrification.

A l'aide de ce coefficient de frottement et des dimensions de la vis, il est possible de déterminer le Facteur de conversion (X) à l'aide de la table « Précontrainte et couple de serrage du fournisseur Bossard ([19] p.T.046). Ce facteur est estimé ici à 3,18. A l'aide de ce facteur le couple de serrage peut être déterminé selon Bossard ([19] p.T.045) à l'aide de l'équation suivante :

$$M_A = F_M * X = 63 * 3,18 \cong 200 \text{ Nm}$$

Avec : M_A : Couple de serrage de la vis [Nm]

F_M : Précontrainte nécessaire de la vis [kN]

X : Facteur de conversion [-]

Les vis M20 doivent donc être serrées avec un couple de 200Nm.

7.1.5.5 Dureté des rondelles

La dureté des rondelles est dimensionnée en fonction de la pression de surface sous la tête de vis. En faisant l'hypothèse que la force est de la compression pure, la contrainte peut être déterminée de la manière suivante :

$$\sigma_{rondelle} = \frac{F_{vis}}{A_{M20}} = \frac{87'300}{244,4} \cong 357 \text{ MPa}$$

Avec : $\sigma_{rondelle}$: Contrainte dans la rondelle [MPa]

F_{vis} : Charge totale soumise à la vis [N]

A_p : Surface d'appui sous la vis [mm²]

La surface d'appui sous la vis (A_p) est déterminée à l'aide de la table Bossard « Pression de surface sous tête pour vis à tête hexagonale » ([19] p.T.038).

Une fois la contrainte dans la rondelle déterminée et à l'aide de la table Bossard « Instruction pour l'utilisation de rondelles plates avec des vis et des écrous » ([19] p.T.040). Les rondelles doivent avoir une dureté minimale de 200 HV.

7.1.6 Colonnes

Lors du dimensionnement des colonnes du portique, celles-ci ont été analysées en deux parties, la partie avec le taraudage M20 et la partie massive. La force vue par chaque colonne est de 25 kN car le portique est symétrique. Ces colonnes sont en acier « basique » (voir tableau Tableau 7-1).

7.1.6.1 Partie massive

En faisant l'hypothèse que les colonnes sont soumises à des forces uniquement en traction, La contrainte dans la partie massive est déterminée de la manière suivante :

$$\sigma_{colonneM} = \frac{F_{colonne}}{A_{colonneM}} = \frac{25'000}{\frac{50^2 * \pi}{4}} \cong 12,7 \text{ MPa}$$

Avec : $\sigma_{colonneM}$: Contrainte dans la partie massive de la colonne [MPa]

$F_{colonne}$: Force dans la colonne [N]

$A_{colonneM}$: Section de la partie massive de la colonne [mm²]

Avec cette contrainte, le facteur de sécurité de la colonne est d'environ 19,7.

Comme cette contrainte est inférieure à 200 MPa, les colonnes peuvent subir 10 millions de cycles sans rompre.

L'allongement de la colonne avec cette contrainte peut être déterminé à l'aide de la loi de Hook :

$$\Delta l_{colonneM} = \frac{\sigma_{colonneM}}{E_{acier\ basique}} * l_{0colonneM} = \frac{12,7}{200 * 10^3} * 325 \cong 21 \text{ }\mu\text{m}$$

Avec : $\Delta l_{colonneM}$: Allongement de la partie massive de la colonne [mm]

$E_{acier\ basique}$: Module de Young de l'acier basique [MPa]

$l_{0colonneM}$: Longueur initiale de la partie massive de la colonne [mm]

L'allongement de la partie massive de la colonne ($\Delta l_{colonneM}$) est donc de 21 μm .

7.1.6.2 Partie taraudée

Cette partie est calculée selon les mêmes hypothèses et la même matière que la partie massive (chapitre 7.1.6.1). Toutefois, la force subie par cette partie de la colonne est plus élevée. En effet, il faut prendre en compte en plus de la force du vérin, la force due à la précontrainte des vis. Le dimensionnement s'effectue donc avec F_{vis} . De plus, la section de la colonne est plus faible à cause du taraudage. En tenant compte des ces nouveaux paramètres, la contrainte peut être déterminée de la manière suivante :

$$\sigma_{colonneT} = \frac{F_{vis}}{A_{colonneT}} = \frac{87'300}{1'573} \cong 55,5 \text{ MPa}$$

Avec : $\sigma_{colonneT}$: Contrainte dans la partie taraudée de la colonne [MPa]

$A_{colonneT}$: Section de la partie taraudée de la colonne [mm²]

La surface $A_{colonneT}$ est déterminée sur le 3D à l'aide d'Inventor.

Avec cette contrainte, le facteur de sécurité est d'environ 4,5. De plus comme la contrainte obtenue ($\sigma_{colonneT}$) est inférieure à 200 MPa, la partie taraudée de la colonne peut supporter 10 millions de cycles.

L'allongement de la zone taraudée peut être déterminé à l'aide de la loi de Hooke :

$$\Delta l_{colonneT} = \frac{\sigma_{colonneT}}{E_{acier\ basique}} * l_{0colonneT} = \frac{55,5}{200 * 10^3} * 55 \cong 15 \mu m$$

Avec : $\Delta l_{colonneT}$: Allongement de la partie taraudée de la colonne [mm]

$E_{acier\ basique}$: Module de Young de l'acier basique [MPa]

$l_{0colonneT}$: Longueur initiale de la partie taraudée de la colonne [mm]

L'allongement de la partie taraudée de la colonne ($\Delta l_{colonneT}$) est donc de 15 μm .

7.1.7 Vis M8 du vérin hydropneumatique

Ces vis doivent être de qualité 12.9 avec des rondelles d'une dureté de 300 HV comme spécifié dans les consignes d'installation et de montage Vérin amplificateur TOX® ([20] p.2).

Le couple de serrage à appliquer à ces vis est de 40 Nm comme spécifié par le fabricant TOX dans ses directives de montage et de construction [21].

7.1.8 Accouplement du vérin

Cette pièce (P005) a été dimensionnée par éléments finis à l'aide du logiciel Inventor 2020. Deux maillages ont été réalisés afin de contrôler la validité des résultats. Les valeurs présentées ici proviennent du maillage le plus fin. La matière de cette pièce est de l'acier ETG 100 (valeur tableau 7-1). La surface en appui sur la tige du vérin est considérée comme un encastrement. Une force de 50 kN est appliquée sur la surface en contact avec la rondelle en polyuréthane. Le maillage est composé de 77'311 nœuds.

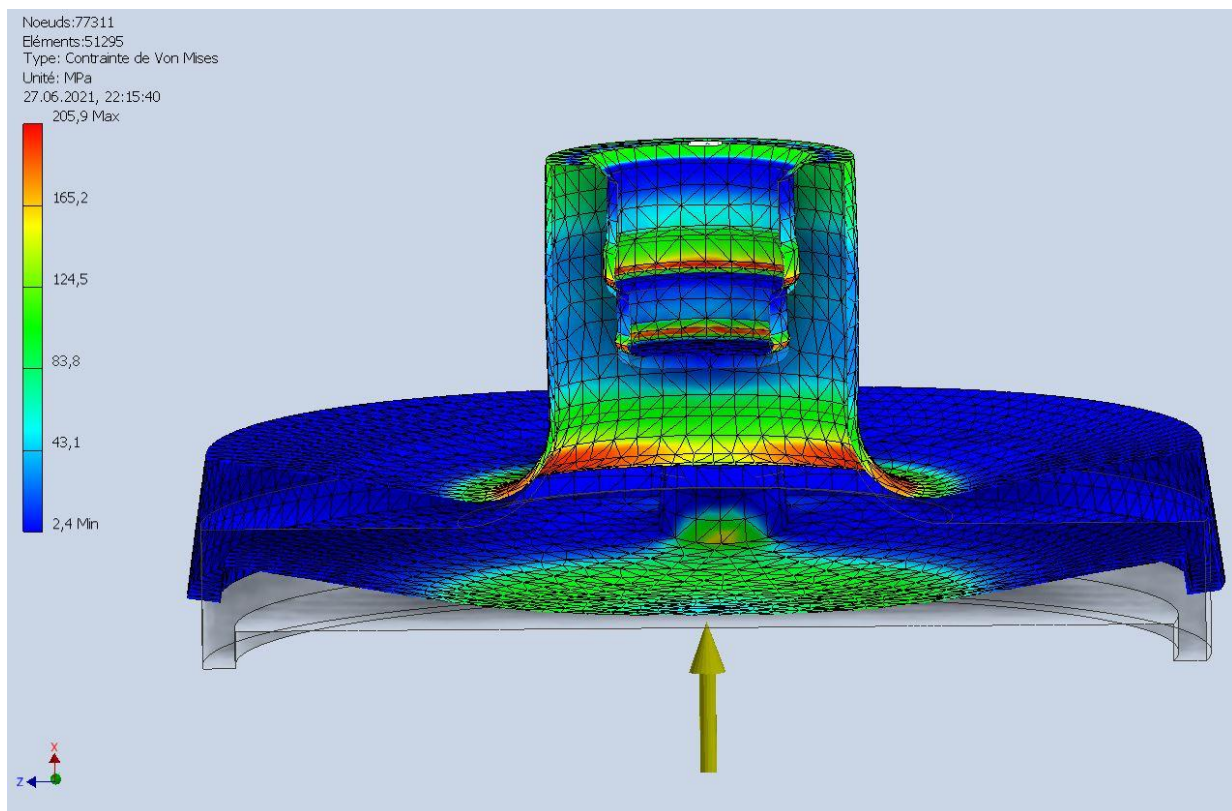


Figure 7-12 : Vue en coupe de l'analyse de contraintes de Von Mises de la pièce P005

La contrainte maximale se trouve au niveau du rayon de 10mm de la pièce. Cette contrainte est d'environ 206 MPa. Comme l'ETG 100 a une limite élastique de 800 MPa, le facteur de sécurité est d'environ 3,9 sur cette pièce. De plus la contrainte est inférieure à la limite de fatigue de cette acier (440 MPa) donc la pièce peut supporter 10 millions de cycles.

7.1.9 Ressort en polyuréthane

Cette pièce (P004) a pour but de se déformer afin de corriger les défauts de parallélisme entre le socle et la cloche. Comme cette pièce travaille en compression pure, la contrainte peut être déterminée de la manière suivante :

$$\sigma_{pur} = \frac{F_{verinMax}}{A_{pur}} = \frac{50'000}{7'324} \cong 6,8 \text{ MPa}$$

Avec : σ_{pur} : Contrainte dans le polyuréthane [MPa]

$F_{verinMax}$: Force maximale fournie par le vérin [N]

A_{pur} : Section du polyuréthane [mm²]

La surface du PUR (A_{pur}) est mesurée sur le 3D.

La contrainte étant de 6,8 MPa et comme la limite élastique du PUR est de 40 MPA le facteur de sécurité de cette pièce est d'environ 5,9. De plus comme la contrainte est inférieur à 16 MPa (limite de fatigue du PUR, voir Tablelle 7-1), la pièce peut supporter 10 millions de cycles.

La compression de cette pièce peut être déterminée ainsi :

$$\Delta l_{pur} = \frac{\sigma_{pur}}{E_{pur}} * l_{0pur} = \frac{6,8}{70} * 21 \cong 2 \text{ mm}$$

Avec : Δl_{pur} : Compression du polyuréthane [mm]

E_{pur} : Module de Young du polyuréthane [MPa]

l_{0pur} : Hauteur initiale du polyuréthane [mm]

7.1.10 Socle de la pièce à tester

Cette pièce (P008) est dimensionnée en compression (due à la force du vérin) mais également en considérant le socle comme un tube à parois mince. Ce dimensionnement est fait une fois pour le diamètre de 68mm et pour le diamètre de 41mm (voir mise en plan P008). Cette pièce est en aluminium série 6000 (voir tableau 7-1).

7.1.10.1 Dimensionnement du grand diamètre

La force de compression s'appliquant sur la paroi extérieure du socle est la force maximale que peut produire le vérin ($F_{verrinMax}$). La contrainte de compression peut se déterminer de la manière suivante :

$$\sigma_{comprG} = \frac{F_{verrinMax}}{A_{appuiG}} = \frac{50'000}{2'999} \cong 16,7 \text{ MPa}$$

Avec : σ_{comprG} : Contrainte de compression sur le grand diamètre du socle due à la force du vérin à travers la cloche [MPa]

$F_{verrinMax}$: Force maximale fournie par le vérin [N]

A_{appuiG} : Surface d'appui de la cloche sur le socle [mm²]

La surface A_{appuiG} qui correspond à la surface en contact avec la cloche est déterminée sur les pièces 3D à l'aide d'Inventor.

La contrainte tangentielle provoquée par la pression de test peut être estimée à l'aide de la formule des cylindres à parois minces :

$$\sigma_{\theta G} = \frac{p_{socle} * r_G}{t_G} = \frac{3 * 34}{20} \cong 5,1 \text{ MPa}$$

Avec : $\sigma_{\theta G}$: Contrainte tangentielle sur le grand diamètre du socle due à la pression de test [MPa]

p_{socle} : Pression de test [MPa]

r_G : Rayon intérieur du grand diamètre [mm]

t_G : Epaisseur de la paroi sur le grand diamètre [mm]

Les deux contraintes peuvent être assemblées à l'aide de Von Mises. En effet, en déroulant l'enveloppe du cylindre pour en faire une plaque, σ_{comprG} peut être considéré comme σ_x et $\sigma_{\theta G}$ comme σ_y . Avec cette hypothèse, voici la contrainte totale obtenue à l'aide de l'équation de Von Mises :

$$\sigma_{VonMisesG} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} = \sqrt{16,7^2 + 5,1^2 + 16,7 * 5,1} \cong 14,8 \text{ MPa}$$

Avec : $\sigma_{VonMisesG}$: Contrainte de Von Mises du grand diamètre du socle [MPa]

σ_x : Contrainte sur l'axe x [MPa]

σ_y : Contrainte sur l'axe y [MPa]

τ_{xy} : Contrainte de cisaillement [MPa]

La contrainte finale obtenue de 14,8 MPa permet de déterminer le facteur de sécurité (avec la limite élastique de l'aluminium série 6000 soit 75 MPa). Ce facteur de sécurité est d'environ 5.

La contrainte est également inférieure à la limite de fatigue (soit 55 MPa). Cette partie du socle devrait donc supporter 10 millions de cycles.

Ce dimensionnement est relativement grossier, mais comme le facteur de sécurité est élevé, ce dimensionnement suffit.

7.1.10.2 Dimensionnement du petit diamètre

Ce dimensionnement est réalisé sur le même principe que le dimensionnement du grand diamètre (chapitre 7.1.10.1). A la différence que la force de compression est due à la pression de test qui plaque la pièce à tester sur le petit diamètre et non pas dû à la force du vérin. Cette force peut être déterminée selon le même principe que la force de fermeture (F_{ferm}) du chapitre 5.1.3.

$$F_{ptest} = p * A_{ptest} = 30 * 10^5 * 2633 * 10^{-6} \cong 7,9 \text{ kN}$$

Avec : F_{ptest} : Force que la pièce de test applique sur son socle [N]

p : Pression de test [Pa]

A_{ptest} : Surface de la pièce à tester [m²]

La surface A_{ptest} est obtenue à l'aide des plans de l'entreprise Nammo.

La force F_{ptest} s'appliquant sur la paroi intérieure du socle, la contrainte de compression peut se déterminer de la manière suivante :

$$\sigma_{comprP} = \frac{F_{ptest}}{A_{appuiP}} = \frac{7'900}{407} \cong 19,4 \text{ MPa}$$

Avec : σ_{comprP} : Contrainte de compression sur le petit diamètre du socle [MPa]

A_{appuiP} : Surface d'appui de la pièce de test sur le socle [mm²]

La surface A_{appuiP} qui correspond à la surface sur laquelle repose la pièce de test est déterminée sur les pièces 3D à l'aide d'Inventor.

La contrainte tangentielle provoquée par la pression de test peut être estimée à l'aide de la formule des cylindres à parois minces :

$$\sigma_{\theta P} = \frac{p_{socle} * r_p}{t_p} = \frac{3 * 20,5}{3} \cong 20,5 \text{ MPa}$$

Avec : $\sigma_{\theta P}$: Contrainte tangentielle sur le petit diamètre du socle due à la pression de test [MPa]

p_{socle} : Pression de test [MPa]

r_p : Rayon intérieur du petit diamètre [mm]

t_p : Epaisseur de la paroi sur le petit diamètre [mm]

Les deux contraintes peuvent être assemblées à l'aide de Von Mises. En effet, en déroulant l'enveloppe du cylindre pour en faire une plaque, σ_{comprP} peut être considéré comme σ_x et $\sigma_{\theta P}$ comme σ_y . Avec cette hypothèse, voici la contrainte totale obtenue à l'aide de l'équation de Von Mises :

$$\sigma_{VonMisesP} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} = \sqrt{19,4^2 + 20,5^2 + 19,4 * 20,5} \cong 34,6 \text{ MPa}$$

Avec : $\sigma_{VonMisesP}$: Contrainte de Von Mises du petit diamètre du socle [MPa]

σ_x : Contrainte sur l'axe x [MPa]

σ_y : Contrainte sur l'axe y [MPa]

τ_{xy} : Contrainte de cisaillement [MPa]

La contrainte finale obtenue de 34,6 MPa permet de déterminer le facteur de sécurité (avec la limite élastique de l'aluminium série 6000 soit 75 MPa). Ce facteur de sécurité est d'environ 2,2.

Comme la contrainte est également inférieure à la limite de fatigue (soit 55 MPa). Cette partie du socle devrait théoriquement supporter 10 millions de cycles.

Ce dimensionnement est relativement grossier, mais comme le facteur de sécurité est élevé, ce dimensionnement suffit. Toutefois, cette position s'usera de manière plus rapide que l'appui sur le grand diamètre (chapitre 7.1.10.1).

7.1.11 Synthèse

Toutes les pièces métalliques, ainsi que le ressort en polyuréthane, sont conçues de manière à supporter le phénomène de fatigue pour 10 millions de cycles.

La vue d'ensemble des facteurs de sécurité déterminés par rapport à la limite élastique est visible sur ce schéma :

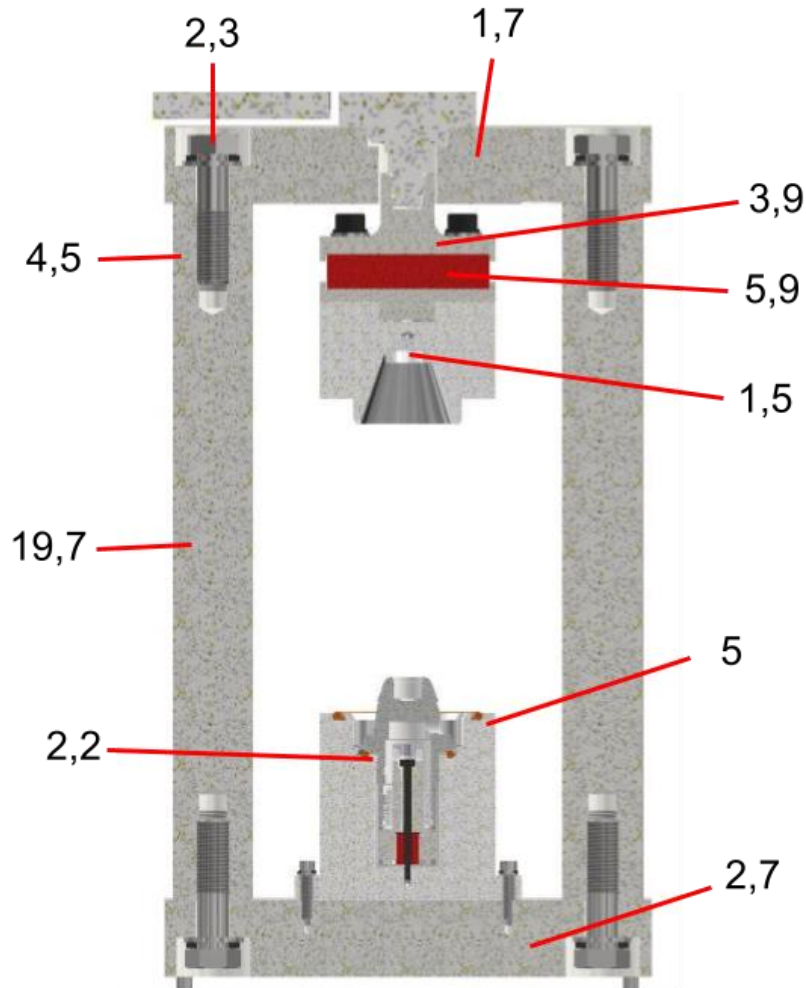


Figure 7-13 : Coupe avec les facteurs de sécurité des différentes pièces/endroits en fonction de la limite élastique

Lorsque le vérin applique une force de 50 kN le portique tend à s'allonger. Cet allongement total ($\Delta l_{portique}$) est la somme des allongements des plaques et des allongements des colonnes. Il peut être déterminé ainsi :

$$\Delta l_{portique} = \sum \Delta l = \Delta l_{plaqueSup} + \Delta l_{plaqueInf} + \Delta l_{colonneM} + 2 * \Delta l_{colonneT} \\ = 37\mu m + 26\mu m + 21\mu m + 2 * 15\mu m = 114\mu m \cong 0,1 mm$$

Avec : $\Delta l_{portique}$: Allongement total du portique [mm]

$\Delta l_{plaqueSup}$: Allongement max. de la plaque supérieure du portique [mm]

$\Delta l_{plaqueInf}$: Allongement max. de la plaque inférieure du portique [mm]

L'allongement total du portique sous l'effet de la force du vérin est de l'ordre de 0,1mm.

7.2 Pneumatique

Le dimensionnement des circuits pneumatiques se trouve dans ce chapitre.

7.2.1 Basse pression

La pression d'usine chez Nammo oscille entre 7 et 8 bar. Par conséquent, les éléments pneumatiques sont dimensionnés en principe pour supporter une pression de 10 bar.

Toutefois, le vérin hydropneumatique supporte une pression maximale de 6 bar. Par conséquent, le manodétendeur de la basse pression ne doit jamais être réglé à une pression supérieure à 6 bar. Pour garantir, une force suffisante dans le vérin pour maintenir l'ensemble fermé ($F_{vérin}$), il doit être alimenté au minimum avec 4 bar (voir table annexe 4).

Une étude sur la consommation en air du vérin hydropneumatique a été réalisée par le fournisseur TOX (voir annexe 4). Le vérin nécessite 10,9 litres d'air pour s'ouvrir. Comme le temps d'ouverture est connu, il est possible de déterminer la consommation d'air du vérin de la manière suivante :

$$Q_{vérin} = \frac{V_{vérin}}{t_{pneu} + t_{hydr}} * 60 = \frac{10,9}{0,345 + 0,103} * 60 \cong 1460 \frac{l}{min}$$

Avec : $Q_{vérin}$: Consommation d'air du vérin [$\frac{l}{min}$]

$V_{vérin}$: Volume du vérin [l]

t_{pneu} : Temps de sortie du vérin en mode pneumatique [s]

t_{hydr} : Temps du passage en hydraulique du vérin [s]

Les éléments et les tuyaux basse pression sont dimensionnés pour un débit d'air de 1'500 $\frac{l}{min}$.

Concernant le filtre du manodétendeur, il garantit une filtration des particules supérieures à 5µm. Le vérin hydropneumatique supportant des particules d'une taille max de 40 µm dans l'air ([20] p.2), ce filtre est suffisant.

7.2.2 Haute pression

Tous les éléments du circuit haute pression sont dimensionnés pour supporter une pression de 40 bar. Les tuyaux choisis sont les plus petits existant sur le marché, afin de limiter les risques en cas de rupture de conduite. Il s'agit de tuyaux de 4mm de diamètre pouvant fournir un débit d'air de 40 $\frac{l}{min}$.

7.2.3 Circuit de fuite

Le circuit de fuite peut supporter une pression maximale de 3 bar (Pression max. que le capteur de pression peut supporter). Pour protéger ce capteur, une soupape de surpression est montée dans le circuit. Elle s'ouvre à une pression réglable entre 0,5 et 1 bar. Le débit max de cette soupape est de 50 $\frac{l}{min}$ soit 10 $\frac{l}{min}$ de plus que le débit maximal des tuyaux d'amenée d'air de fuite.

7.3 Electrique

Le tableau électrique est alimenté via une prise T13, par conséquent, le courant maximal disponible en 230 VAC est de 13 ampères. Ce courant est réparti entre le compresseur via un disjoncteur de 10A et l'alimentation 24VDC via un disjoncteur de 3A. Les courbes de disjonction de ces disjoncteurs sont de type « D », soit retardées, car les charges qu'ils alimentent sont fortement inductives et peuvent provoquer des pics de courant à l'enclenchement.

L'alimentation 24VDC peut fournir 20A. Actuellement, environ 19A sont utilisés via une série de disjoncteur 24VDC.

La section des fils est dimensionnée de la manière suivante :

Section [mm ²]	Courant max [A]
0,75	6
1	8
1,5	13
2,5	16
4	20

Tableau 7-2 : Courant max. dans les conducteurs en fonction de la section selon la NIBT [22]

Concernant l'automate, voici le nombre d'entrées/sorties encore disponibles :

Type d'entrée/Sortie	Nombre disponible
Entrée digitale	6
Sortie digitale	4
Entrée analogique	5
Sortie analogique	2
Entrée de sécurité	12
Sortie de sécurité	1

Tableau 7-3 : Nombre d'entrées/sorties encore disponibles sur l'automate

7.4 Fuite

Le capteur de pression peut observer un delta de pression de 0,25 mbar (voir datasheet en annexe 8). La valeur de détection de fuite minimale que peut détecter le banc de test, peut être déterminée selon la même approche que dans le chapitre 5.1.2 :

$$Q_{nouv} = \frac{p_{capt} * 10^{-3} * V}{t} = \frac{0,25 * 0,1}{10} = 2,5 * 10^{-3} \frac{mbar * l}{s}$$

Avec : Q_{nouv} : Valeur de fuite détectable par le nouveau banc [$\frac{mbar * l}{s}$]

p_{capt} : Delta de pression minimal détectable par le capteur [mbar]

V : Volume de la zone de fuite [l]

t : Durée du test [s]

Comme le volume dans la zone de fuite est approximativement identique à l'ancien banc de test, et que la durée du test est maintenue à 10 secondes, la fuite minimale détectable par le

nouveau banc est de $2,5 * 10^{-3} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}}$. Soit théoriquement une fuite 10 fois plus faible que sur l'ancien banc.

8. Réalisation

8.1 Mécanique

La réalisation s'est bien passée dans l'ensemble, malgré quelques imprécisions d'usinage qui ont dû être corrigées.

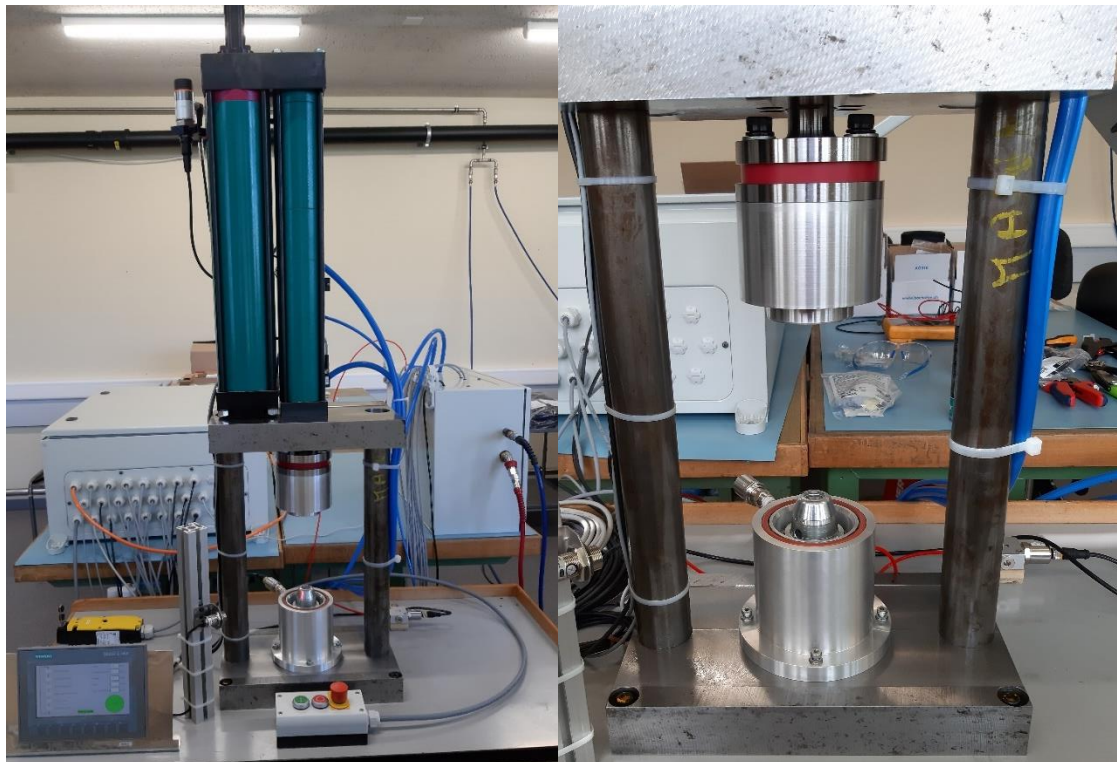


Figure 8-1 : Vue générale de la partie mécanique

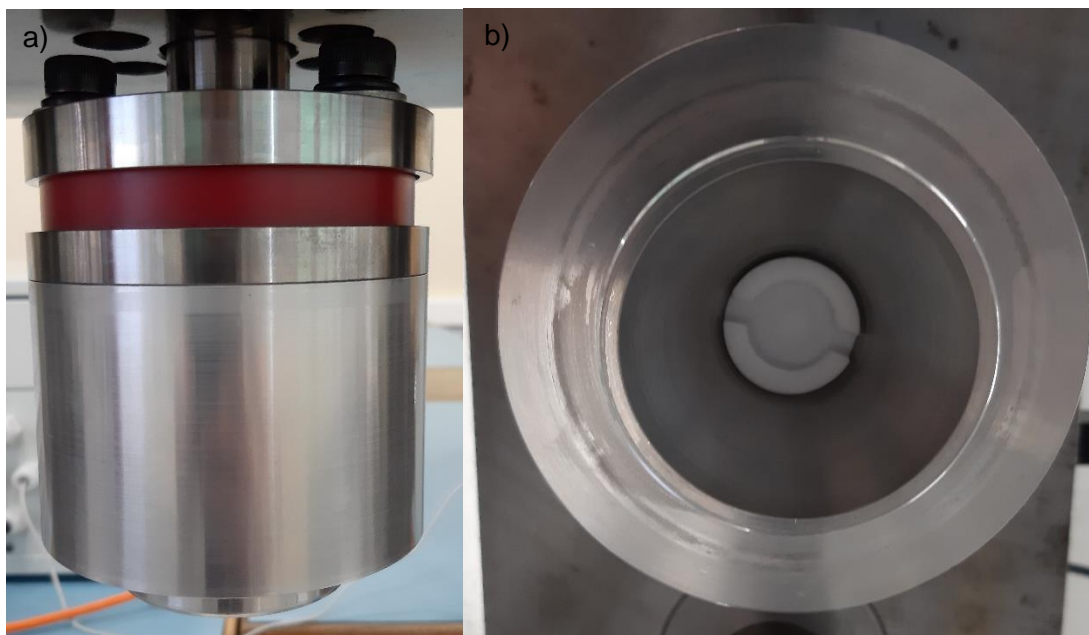


Figure 8-2 : a) Cloche avec son accouplement souple
b) Appui en PTFE situé à l'intérieur de la cloche

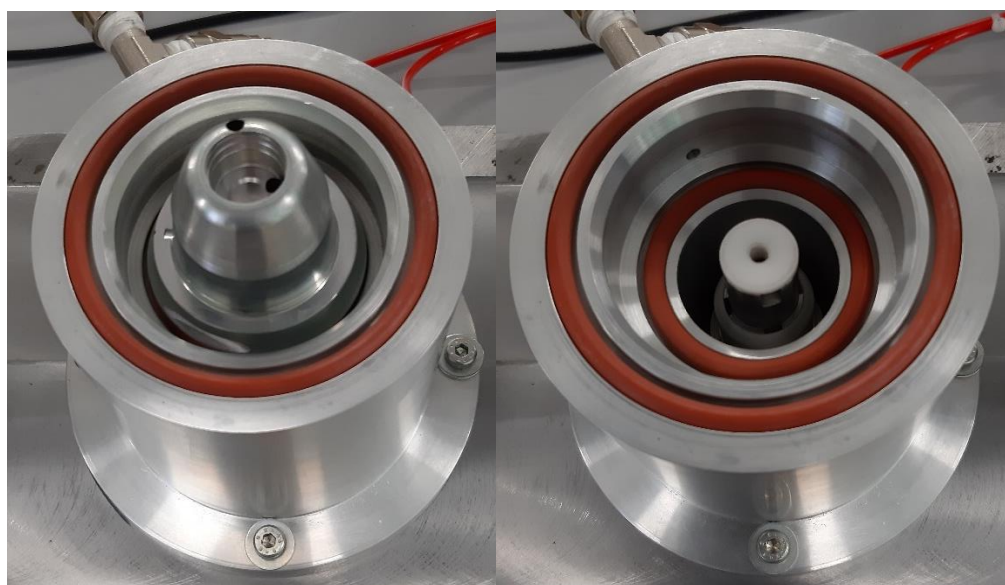


Figure 8-3 : Socle avec et sans la pièce à tester

8.2 Pneumatique

La réalisation pneumatique s'est bien passée dans l'ensemble, bien que le temps nécessaire au montage ait été plus chronophage que planifié.

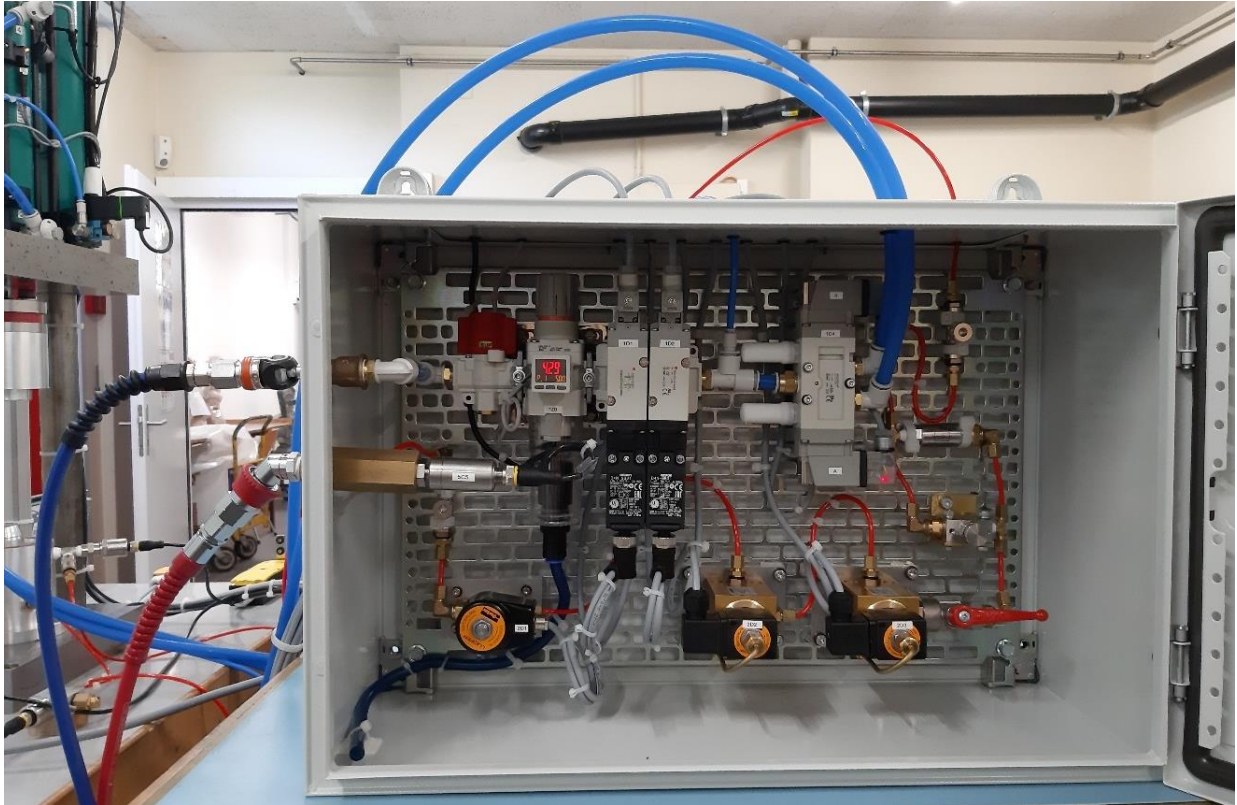


Figure 8-4 : Coffret pneumatique du banc de test

8.3 Electrique

La réalisation de la partie électrique s'est déroulée comme planifiée.



Figure 8-5 : Coffret électrique du banc de test

9. Gestion et finance

Afin d'avoir la maîtrise des éléments nécessaires pour la réalisation du projet et la maîtrise des coûts, une liste de matériel comprenant toutes les informations concernant les composants commandés, y compris les délais de livraison et leurs prix a été réalisée. Cette liste se trouve dans l'annexe 11.

9.1 Dépenses

Actuellement 20'330,85 CHF ont été dépensés dans ce projet selon la répartition suivante :

	Electrique	Pneumatique	Mécanique	Réserve	Total
Estimation	5'200.-	8'330.-	11'500.-	5'000.-	30'030.-
Dépense	5'073,92	10'667,04	4'589,89	2'337,04	20'330,85
Delta	126,08	-2'337,04	6'910,11	2'662,96	9'699,15

Figure 9-1 : Répartition des dépenses du projet

Les estimations faites lors de la présentation du concept sont tenues dans tous les domaines à l'exception du domaine pneumatique. Les coûts pneumatiques sont supérieurs de 2'337,04 CHF par rapport à l'estimation.

Ce dépassement est dû à une mauvaise estimation du prix des éléments électropneumatiques haute pression.

Comme 5'000 CHF avait été prévu en réserve, le budget est toujours tenable.

9.2 Prévisions

Pour terminer le banc de test, les dépenses suivantes sont nécessaires :

- 5'000 CHF pour la construction du bâti de la machine
- 4'000 CHF pour le carénage de la machine
- 6'000 CHF pour environ 1 mois de travail d'un collaborateur

Soit un total de 15'000 CHF.

Le total du projet se monte donc à environ 35'330 CHF.

9.3 Amortissement

Le nouveau banc de test permet d'économiser environ 20 secondes de temps opérateur par pièces testée. En sachant que Nammo teste environ 40'000 pièces par année, le nouveau banc permet d'économiser environ 222 heures de travail par année. En admettant qu'un opérateur coûte environ 30 CHF de l'heure, la machine s'amortit en environ 6 ans.

10. Utilisation du banc

Pour utiliser le banc, il faut raccorder les entrées pneumatiques basse et haute pression.

Puis il faut brancher la fiche T13 du coffret électrique. Cette fiche doit être banchée dans une prise protégée par un disjoncteur de 13A et un dispositif différentiel résiduel (DDR) de 30 mA.

Une fois les raccordements effectués, il faut allumer l'interrupteur principal et ouvrir les vannes d'arrivée d'air haute et basse pression.

Attention, il faut contrôler que la basse pression soit entre 4 et 6 bar à la sortie du manodétendeur.

L'écran tactile s'allume, il faut ensuite l'initialiser en appuyant sur le bouton « START » qui s'affiche.

Pour initialiser la machine, il faut presser le bouton quittance, puis ouvrir et refermer la porte.

Un fois ces opérations réalisées, la machine est prête à effectuer des tests.

Pour lancer un cycle automatique, il faut presser le bouton vert du boîtier de commande. La progression de la séquence est visible sur l'écran tactile. Lorsque la pièce est bonne, le voyant « PIECE » s'affiche en vert sur l'écran. Si la pièce possède une fuite, le voyant devient rouge. De plus, pour ouvrir la porte, il faut quittancer l'erreur « PIECE MAUVAISE ». Les différentes pressions sont également visibles sur l'écran.



Figure 10-1 : Boîtier de commande

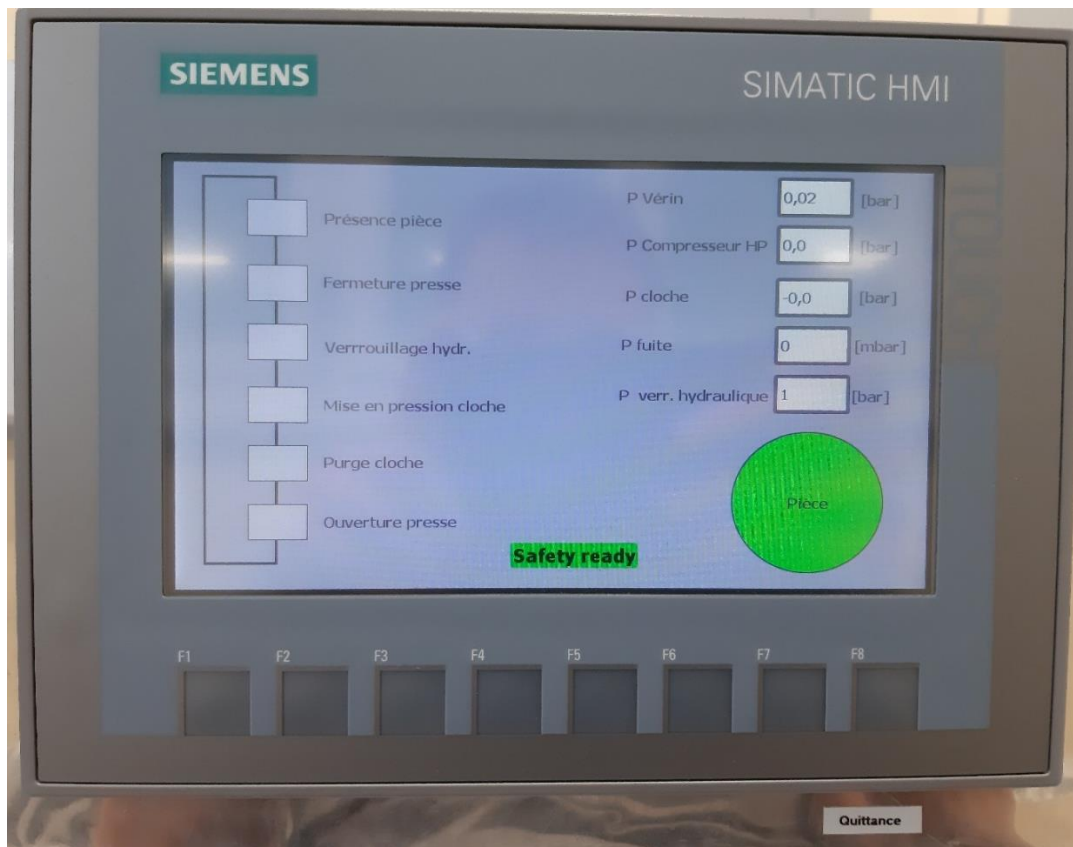


Figure 10-2 : Vue automatique de l'écran tactile

Un mode manuel est également disponible sur l'écran tactile qui permet de contrôler chaque élément manuellement.

Lorsque les conditions de sécurité ne sont plus remplies (arrêt d'urgence, ouverture de la porte), le logo « Safety Ready » devient rouge sur l'écran.

En cas d'arrêt d'urgence, une quittance est exigée pour pouvoir redémarrer un cycle.

11. Synthèse

Le banc est actuellement assemblé et câblé.

La programmation réalisée permet d'effectuer des cycles de manière manuelle et automatique.

Les fonctions de sécurité (AU, simulacre de porte) sont fonctionnelles.

Le ressort en polyuréthane se déforme comme prévu, et permet de corriger les défauts de parallélisme entre la cloche et le socle.

L'appui en PTFE dans la cloche permet de maintenir la pièce à tester en place.

Le bâti en portique est suffisamment rigide pour contenir la pression de test sans montrer des signes de déformations.

Les joints O-rings supportent la pression de test.

Tous les capteurs sont fonctionnels (capteur de pression, capteur de pièces, etc).

Le compresseur produit une pression de test suffisante et régulière.

L'écran tactile est fonctionnel et permet (bien que le design de l'interface ne soit pas optimal) d'effectuer des tests et d'observer les différentes pressions mesurées.

12. Conclusion

Le banc de test, bien que pas encore totalement achevé, permet déjà de réaliser des tests complètement automatisés avec un temps de cycle d'environ 20 secondes de moins que l'ancien système.

13. Perspectives du projet

Bien que fonctionnel, il reste un bon nombre de points à réaliser sur cette machine. Ces points sont évoqués ici.

13.1 Documentation

Les documents suivants doivent encore être réalisés :

- Version informatique des schémas électriques avec la liste de pièces et la liste de borniers (éventuellement une liste de câbles)
- Version informatique des schémas pneumatiques avec la liste de pièces
- Plan de maintenance
- Plan d'opérations

13.2 Mécanique

Les points suivants concernant la mécanique doivent encore être réalisés :

- Traitements de surfaces des pièces de la machine (Brunissage/Titanox)
- Réalisation du bâti de la machine

13.3 Pneumatique

Les points suivants de la partie pneumatique doivent encore être réalisés :

- Recherche et étanchage des petites fuites sur le circuit haute pression.
- Optimisation de la vitesse du vérin (réglage des étrangleurs du vérin)
- Optimisation du temps de mise sous pression de la cloche (réglage de l'étrangleur haute pression)

13.4 Electrique

La partie électrique est terminée.

13.5 Programmation

Les points suivants concernant la programmation doivent encore être réalisés :

- Programmation du compteur de cycles
- Programmation de la gestion du compresseur haute pression
- Gestion de Data
- Programmation de l'écran tactile selon les besoins de Nammo

13.6 Sécurité

Les points suivants concernant la sécurité doivent encore être réalisés :

- Concevoir et assembler le carénage et la porte de la machine
- Faire certifier la machine par un organisme certifié

13.7 Test d'étanchéité

Les points suivants concernant la détection de fuite doivent encore être réalisés :

- Déterminer la valeur de fuite acceptable
- Effectuer des tests réels sur la machine pour vérifier que ces fuites sont réellement détectables
- Réaliser des étalons (bon/pas bon) pour pouvoir contrôler la machine
- Certifier le capteur de pression qui a pour fonction de détecter des fuites

14. Bibliographie

- [1] FORTEST FRANCE Sarl, *Le contrôle d'étanchéité*, [en ligne].
<https://www.fortest.fr/fr/le-test-d-etancheite> (Consulté le 30 juillet 2021)
- [2] FORTEST FRANCE Sarl, *Systèmes absolus*, [en ligne].
<https://www.fortest.fr/fr/le-controle-d-etancheite> (Consulté le 30 juillet 2021)
- [3] FORTEST FRANCE Sarl, *Systèmes différentiels*, [en ligne].
<https://www.fortest.fr/fr/le-controle-d-etancheite> (Consulté le 30 juillet 2021)
- [4] FORTEST FRANCE Sarl, *Systèmes de débit*, [en ligne].
<https://www.fortest.fr/fr/le-controle-d-etancheite> (Consulté le 30 juillet 2021)
- [5] FORTEST FRANCE Sarl & LEAKPEDIA, *Mesure par « compliance » (récupération)* [en ligne], 2012.
<http://www.test-etancheite.fr/A3.html> (Consulté le 30 juillet 2021)
- [6] MAXIMATOR® GmbH, *Kompressorstation TypGPL V5/40L/40bar*, [en ligne].
<http://www.maximator.de/assets/mime/e82b6327495ab3da928c5229f82dc144/Datenblatt%20AP%20201.206.23.pdf> (Consulté le 04 août 2021)
- [7] TOX® PRESSOTECHNIK, *Vérin Amplificateur TOX®*, [en ligne], p. 9.
https://www.tox-pressotechnik.com/assets/countries/FR/pdf/TOX_Powerpackage_10_fr.pdf (Consulté le 04 août 2021)
- [8] MAX EUROPE B.V., *AKHL 1260E*, [en ligne], 2021.
https://www.max-europe.com/fr/nailers_compressors/products/akhl1260e/ (Consulté le 05 août 2021)
- [9] SCHMIDT® TECHNOLOGY, *Presses SCHMIDT®*, [en ligne], p. 26.
https://www.schmidttechnology.com/fr/maschinen/download/Presses-SCHMIDT_fr.pdf (Consulté le 05 août 2021)
- [10] NORME SUISSE SN. Attribution du niveau de SIL. In : ELECTROSUISSE (ed.). *Sécurité des machines – Sécurité fonctionnelle des systèmes de commande électriques, électroniques et électroniques programmables relatifs à la sécurité*. SNEN 62061:2005(F). Suisse : 2005.
- [11] NORME SUISSE SN. Détermination du niveau de performance requis (PL_r). In : SWISSMEM (ed.). *Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1 : Principes généraux de conception (ISO 13849-1 :2006)*. SN EN ISO 13849-1 :2008 fr. Suisse : 2008.
- [12] NORME SUISSE SN. Considérations relatives à la conception. In : SWISSMEM (ed.). *Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1 : Principes généraux de conception (ISO 13849-1 :2006)*. SN EN ISO 13849-1 :2008 fr. Suisse : 2008.
- [13] SIEMENS, *Appareillage industriel – SIRIUS Manuel d'application Safety Integrated*, [en ligne], 2021, p. 102.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/718/81366718/att_897262/v1/application_manual_sirius_safety_integrated_fr-FR.pdf (Consulté le 06 août 2021)

- [14] SMC, *Baugrösse 30, Anschlussgrösse G3/8"*, Offre 02251193, Auteur CHBIASIM. SMC Air Equipment Configuration Tool, 11.06.2021.
- [15] ANSYS, *GRANTA EduPack*, Niveau 2, Niveau 3, 2020, (Consulté le 14 août 2021).
- [16] STEELTEC, Steeltec ETG® 88/100, [en ligne].
https://www.ugitech.com/fileadmin/user_upload/steeltec/db_etg88_100_f.pdf
 (Consulté le 14 août 2021)
- [17] ANGST+PFISTER AG, *Catalogue de base (O-ring)*, [en ligne].
https://www.angst-pfister.com/dam/jcr:8006ad2e-7a1d-4d90-86dc-cce1dfeb995d/O-Rings%20basic%20catalogue%20DE%20FR_comp.pdf (Consulté le 14 août 2021)
- [18] BADARA CAMARA, Aliou, *Analyse du comportement en fatigue d'assemblages boulonnés*, (ed.) Université Clermont Auvergne, 2019, [en ligne].
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03156547/document> (Consulté le 14 août 2021)
- [19] BOSSARD, *Informations techniques de la technique d'assemblage*, [en ligne].
https://www.engel.ch/fileadmin/inhalte/pdf-fr/produkte/eisenwaren/Schrauben_Informationen_Techniques.pdf (Consulté le 14 août 2021)
- [20] TOX® PRESSOTECHNIK, *Consigne d'installation et de montage Vérin Amplificateur TOX® - Fiche technique 10.18*, [en ligne], 2019.
https://de.tox-pressotechnik.com/assets/countries/FR/pdf/TOX_TB_1018_fr.pdf
 (Consulté le 16 août 2021)
- [21] TOX® PRESSOTECHNIK, *Directives de montage et de construction - Vérin Amplificateur TOX®*, [en ligne], 2020, p. 21.
https://us.tox-pressotechnik.com/assets/countries/FR/om/Powerpackage/TOX_Construction_Installation_Guideline_Powerpackage_RP_T_fr.pdf (Consulté le 16 août 2021)
- [22] ELECTROSUISSE. 5.2.4 Sections minimales des conducteurs. In : *NIN COMPACT NIBTE*. Suisse : 2009, N5.2, p.50
- [23] MAX EUROPE B.V., *Mode d'emploi AKHL 1260E - AKHL 1260EX*, [en ligne], p. 21.
<https://www.maxusacorp.com/wp-content/uploads/AKHL1260E-AKHL1260EX-1.pdf>
 (Consulté le 16 août 2021)

Annexe 1

Tableau et matrices de gestion des
risques architecture

[illegible]

Matrice des risques architecture sans mesure

Pour

Banc de test 30 bar

Etat

V1.4 24.05.21

Définition des effets (conséquences)

1. Défaut léger / Impact financier inférieur à 10% du budget / Retard du projet inférieur à 3 mois
2. Perte de pièces (pièce à contrôler) / Impact financier supérieur à 10% du budget / Retard du projet supérieur à 3 mois
3. Perte de pièces couteuses (ensemble du produit, raté lors du tir) / Perturbation de la production
4. Echec total du projet
5. Lésions corporelles légères et réversibles
6. Mort de personnes / Lésions corporelles graves ou irréversibles / Destruction du site

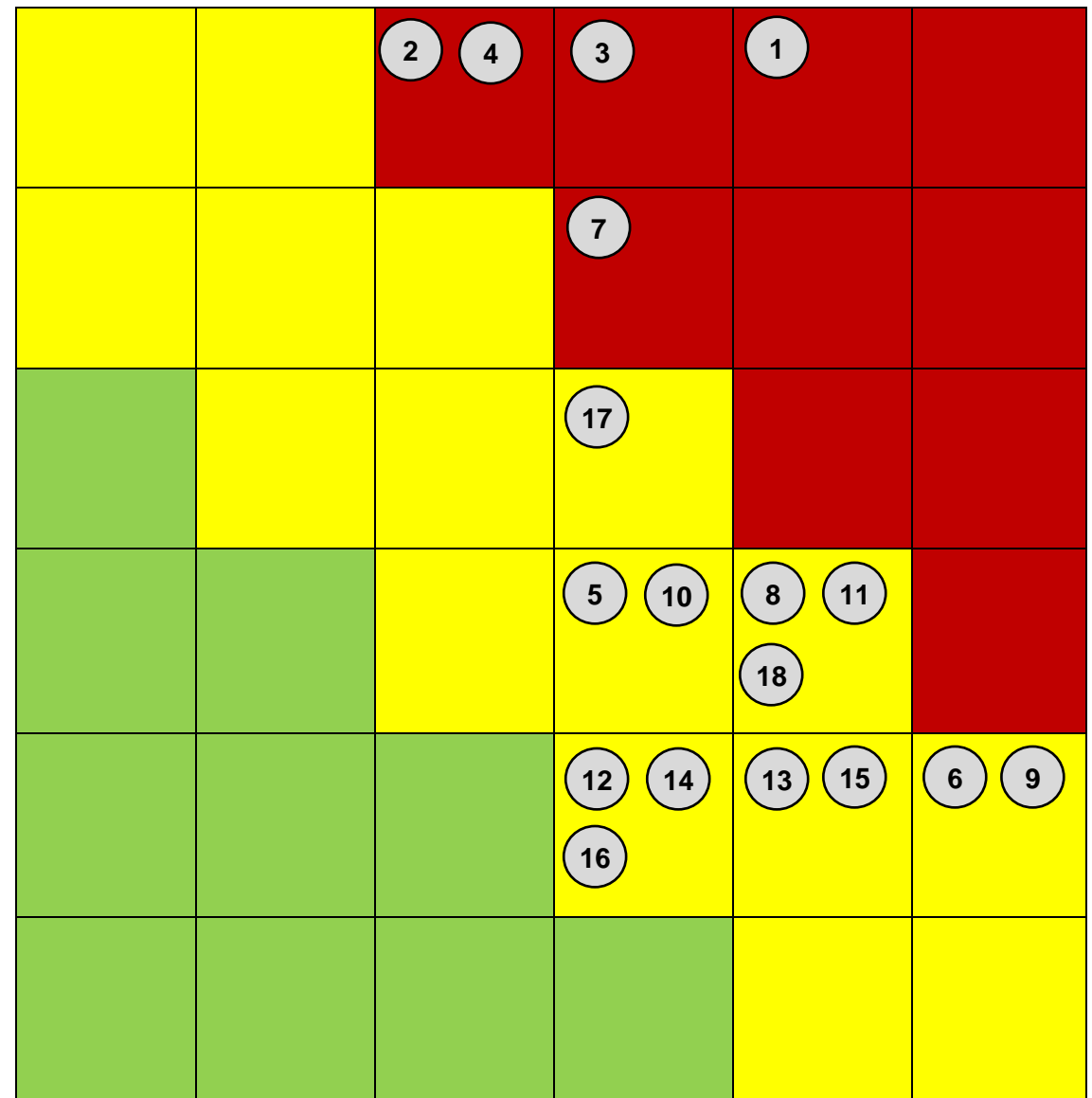
Risques

- | | |
|----|--------------------|
| 1 | Risque sans mesure |
| 1' | Risque maîtrisé |

Légende

- | | |
|--|-----------------------------------|
| | Risque élevé (risque critique) |
| | Risque moyen (risque tolérable) |
| | Risque faible (risque acceptable) |

6=Très élevés
Effets (conséquences)
1=Très minimales



Probabilité d'occurrence

1=Hautement improbable

6=Hautement probable

Matrice des risques architecture avec mesures

Pour

Banc de test 30 bar

Etat

V1.4 24.05.21

Définition des effets (conséquences)

1. Défaut léger / Impact financier inférieur à 10% du budget / Retard du projet inférieur à 3 mois
2. Perte de pièces (pièce à contrôler) / Impact financier supérieur à 10% du budget / Retard du projet supérieur à 3 mois
3. Perte de pièces couteuses (ensemble du produit, raté lors du tir) / Perturbation de la production
4. Echec total du projet
5. Lésions corporelles légères et réversibles
6. Mort de personnes / Lésions corporelles graves ou irréversibles / Destruction du site

Risques

1 Risque sans mesure

1' Risque maîtrisé

Légende

	Risque élevé (risque critique)
	Risque moyen (risque tolérable)
	Risque faible (risque acceptable)

6=Très élevés

Effets (conséquences)

1=Très minimales

1'					
4'	2'				
	5' 7'	8' 11'			
	10' 16'	14' 15'	3' 6' 9' 17'		
	18'	12'		13'	







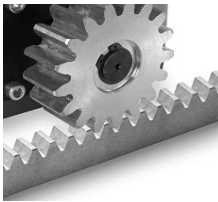



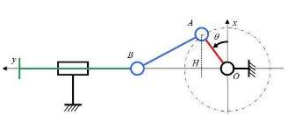

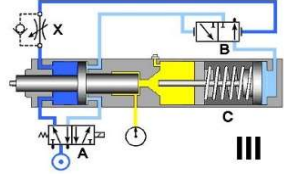
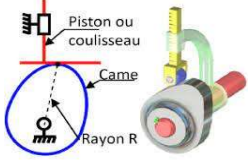

Probabilité d'occurrence

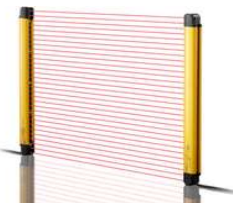











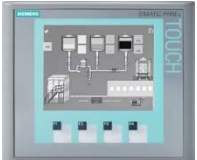

1=Hautement improbable

6=Hautement probable

Annexe 2

Matrice des possibilités

Fonctions	Solutions					
	1	2	3	4	5	6
1	 Compresseur 30 bar	 Ampificateur de pression	 Amplif avec accumul.			
2	 Presse automatisée	 Système à genouillère	 Système vis-écrou	 Système à crémaillère	 Vérin pneumatique	 Vérin hydraulique
2	 Vérin électrique	 Système bielle-manivelle	 Linéaire + Rot verrouillage		 Vérin hydrau-pneumatique	 Système à Cam/excent.
2	 Système rotatif					

Fonctions	<u>Solutions</u>					
	1	2	3	4	5	6
3	 Barrière optique	 Porte manuelle	 Porte automatique			
4	 Siemens S7-1200	 Siemens S7-300	 Siemens S7-1500	 Siemens Safe CPU	 Autre marque de CPU	
5	 Système optique	 Capt. pression 40bar	 Capt. press 250 mbar + soupape			
6	 Boutons/voyants	 Ecran tactile	 Mix écran/boutons			

Sources images

- TECHNICONCONTACT, *compresseur air 30 bar*, [en ligne].
<https://www.techni-contact.com/produits/152-12088484-compresseur-air-30-bar.html>
(Consulté le 18 août 2021)
- FESTO, *Amplificateur de pression*, [en ligne].
https://www.festo.com/cat/fr-ch_ch/products_PA_031000 (Consulté le 18 août 2021)
- MAAGTECHNIC, *FESTU Surpresseur DPA-CRVSZ*, [en ligne].
<https://shop.maagtechnic.ch/fr/composants-pneumatiques-traitement-d-air-amplificateurs-de-pression/surpresseur-dpa-crvsz-pr3593964071006569/> (Consulté le 18 août 2021)
- SCHMIDT® TECHNOLOGY, *Presses SCHMIDT®*, [en ligne], p. 26.
https://www.schmidttechnology.com/fr/maschinen/download/Presses-SCHMIDT_fr.pdf
(Consulté le 05 août 2021)
- H&L Publishing, *La mécanique du pistolet Luger expliquée - Application Android - HLebooks.com*, [en ligne].
https://www.youtube.com/watch?v=C3ji-Fbo6DM&ab_channel=H%26LPublishing
(Consulté le 18 août 2021)
- MAINTENANCE&CO, *Vis à billes roulée avec écrou à collerette DIN 69051 partie 5*, [en ligne].
<https://www.maintenanceandco.com/p/16123/vis-a-billes-roulee-avec-ecrou-a-collerette-din-69051-partie-5> (Consulté le 18 août 2021)
- AMAZON, *TIMBERTECH® Crémaillère pour Kit Motorisation de Portail Coulissant*, [en ligne].
<https://www.amazon.fr/Timbertech-Cr%C3%A9maill%C3%A8re-motorisation-portail-coulissant/dp/B00G29BBT2> (Consulté le 18 août 2021)
- NORELEM, *12000 Verin pneumatique Vérin normalisé DIN ISO 15552*, [en ligne].
<https://www.norelem.ch/ch/fr/Produits/Vue-d-ensemble-des-produits/Technique-de-montage/Technique-de-l-air-comprim%C3%A9/V%C3%A9rin-pneumatique/Verin-pneumatique-V%C3%A9rin-normalis%C3%A9-DIN-ISO-15552.html> (Consulté le 18 août 2021)
- DIRECT INDUSTRY, *Bien choisir un vérin*, [en ligne].
<http://guide.directindustry.com/fr/bien-choisir-un-verin/> (Consulté le 18 août 2021)
- WIKIPEDIA, *Fichier:Bielle manivelle.jpg*, [en ligne].
https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Bielle_manivelle.jpg (Consulté le 18 août 2021)
- FESTO, *Vérin roto-linéaire DSL*, [en ligne].
https://www.festo.com/be/fr/p/verin-roto-lineaire-id_DSL/ (Consulté le 18 août 2021)
- CADEX DEFENCE, *CDX-30 GUARDIAN ACTION*, [en ligne].
<https://www.cadexdefence.com/products/actions/cdx-30-300-33-actions/>
(Consulté le 18 août 2021)
- TOX PRESSOTECHNIK, *Aperçu Vérins pneumo-hydrauliques TOX®*, [en ligne].
<https://fr.tox-pressotechnik.com/produits/verins/verins-pneumo-hydrauliques/aperçu-verins-pneumo-hydrauliques/> (Consulté le 18 août 2021)

- LYCEE LA FAYETTE, *Transmission de puissance*, [en ligne], p.5.
<https://fr.scribd.com/document/458878011/Tdp-CO-Transmission-de-puissance-pdf>
(Consulté le 18 août 2021)
- CONRAD, *Modelcraft Roue à denture intérieure Nombre de dents: 60, 10 Réduction: 6:1*, [en ligne].
https://www.conrad.ch/fr/p/roue-a-denture-interieure-modelcraft-224506-1-set-224506.html?gclid=EAlaIqobChMI75eZ78rB8AIVTeN3Ch0bVAkgEAQYAIAABEgLiLFD_BwE&utm_source=google-shopping-fr&utm_medium=search&utm_campaign=shopping-online-fr&utm_content=shopping-ad_cpc&WT.srch=1&ef_id=EAlaIqobChMI75eZ78rB8AIVTeN3Ch0bVAkgEAQYAIAABEgLiLFD_BwE%3AG%3As (Consulté le 18 août 2021)
- AXES INDUSTRIES, *Barrières immatérielles de sécurité KEYENCE*, [en ligne].
<https://www.axesindustries.com/details.php/id/9301/barriere-immaterielle-de-securite-keyence.html> (Consulté le 18 août 2021)
- MO COMPOSANTS, *Sécurité : carénages sur mesure et vitrages multicouches*, [en ligne].
<https://www.mocomposants.fr/fr/carenage-sur-mesure> (Consulté le 18 août 2021)
- KANYA, *Porte guillotine simple – entraînement électrique*, [en ligne].
https://www.kanya.com/fileadmin/kanya/produkte/Maschinentueren/kanya-ag-katalog-einfachhubtuer_FR.pdf (Consulté le 18 août 2021)
- DISTRELEC, *6ES7217-1AG40-0XB0 - S7-1200 CPU 1217C 2AI 14DI 10DO 2AO 28.8VDC, Siemens*, [en ligne].
<https://www.distrelec.ch/fr/s7-1200-cpu-1217c-2ai-14di-10do-2ao-28-8vdc-siemens-6es7217-1ag40-0xb0/p/30124478> (Consulté le 18 août 2021)
- QUICKTIME, *6ES7313-6CF03-0AB0 | Siemens SIMATIC S7-300 Compact CPU*, [en ligne].
<https://www.quicktimeonline.com/6es7313-6cf03-0ab0> (Consulté le 18 août 2021)
- REICHELT, *S7 1512C PN S7-1500, CPU 1512C-1 PN*, [en ligne].
<https://www.reichelt.com/de/fr/s7-1500-cpu-1512c-1-pn-s7-1512c-pn-p267952.html>
(Consulté le 18 août 2021)
- PLC, *6ES7212-1AF40-0XB0 Siemens*, [en ligne].
<https://www.plc-city.com/shop/en/siemens-simatic-s7-1200-cpu-fail-safe/6es7212-1af40-0xb0-nfs.html> (Consulté le 18 août 2021)
- BECKOFF, *Bus Terminals*, [en ligne].
<https://www.beckhoff.com/nl-be/products/i-o/bus-terminals/> (Consulté le 18 août 2021)
- PANASONIC, *Capteur optique de détection de bulles BE-A*, [en ligne].
<https://www.panasonic-electric-works.com/ch/fr/capteur-optique-de-detection-de-bulles-be-a.htm#> (Consulté le 18 août 2021)
- DISTRELEC, *IPS-G4002-5M12 - Capteur de pression, 0 ... 40 bar, 4...20 mA, Sensata Cynergy3*, [en ligne].
<https://www.distrelec.ch/fr/capteur-de-pression-40-bar-20-ma-cynergy3-ips-g4002-5m12/p/30115725?q=+Capteur+de+pression%2c+0+...+35bar%2c+4...20+mA&pos=2&origPos=72&origPageSize=50&track=true> (Consulté le 18 août 2021)

- DISTRELEC, *3500B0004G05E000 - Capteur de pression, 0 ... 4bar, 4...20 mA, Gems*, [en ligne].
<https://www.distrelec.ch/fr/capteur-de-pression-4bar-20-ma-gems-3500b0004g05e000/p/30024576?q=+Capteur+de+pression%2c+0+...+30bar%2c+4...20+mA&pos=12&origPos=12&origPageSize=50&track=true> (Consulté le 18 août 2021)
- CONRAD, *Aerotec 9049104 Soupape de sécurité pour air comprimé 1 pc(s)*, [en ligne].
https://www.conrad.ch/fr/p/soupape-de-securite-pour-air-comprime-aerotec-9049104-1-pc-s-1698201.html?gclid=EAlaIqobChMI7InI4YbE8AIVDgGLCh3U1wFGEAQYAiABEgIUAPD_BwE&utm_source=google-shopping-fr&utm_medium=search&utm_campaign=shopping-online-fr&utm_content=shopping-ad_cpc&WT.srch=1&ef_id=EAlaIqobChMI7InI4YbE8AIVDgGLCh3U1wFGEAQYAiABEgIUAPD_BwE%3AG%3As (Consulté le 18 août 2021)
- SOFTWARE TOOLBOX, *Gadget Wizards for Wonderware*, [en ligne].
https://www.softwaretoolbox.com/store/item_pages/itempage_978.asp
 (Consulté le 18 août 2021)
- SIEMENS, *Tableaux IHM basiques*, [en ligne].
<https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/91696622?c=58756926859&lc=fr-TN>
 (Consulté le 18 août 2021)
- VERTEX, *PUPITRE DELTA*, [en ligne].
<https://vertex-monaco.com/fr/pupitre-machine/939-pupitre-delta.html>
 (Consulté le 18 août 2021)

Annexe 3

Matrices décisionnelles

Analyse multicritère f1 : fournir 30 bar	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	1. Compresseur 30 bar		2. Amplificateur de pression		3. Amplif + réservoir	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		10%	4,00%	3	0,12	4	0,16	4	0,16
1.2 Poids		1%	0,40%	4	0,02	5	0,02	3	0,01
1.3 Productique		15%	6,00%	4	0,24	1	0,06	5	0,30
1.4 Volume		5%	2,00%	4	0,08	5	0,10	4	0,08
1.5 Précision des 30 bar		10%	4,00%	5	0,20	1	0,04	4	0,16
1.6 Bruit		10%	4,00%	2	0,08	1	0,04	3	0,12
1.7 Production de vibrations		2%	0,80%	2	0,02	3	0,02	3	0,02
1.8 Pression de réserve		15%	6,00%	4	0,24	4	0,24	5	0,30
1.9 Ergonomie		3,0%	1,20%	2	0,02	3	0,04	3	0,04
1.10 Simplicité d'utilisation		3,0%	1,20%	2	0,02	3	0,04	3	0,04
1.11 Besoin de maintenance		15%	6,00%	2	0,12	3	0,18	3	0,18
1.12 Service après-vente		1%	0,40%	4	0,02	4	0,02	4	0,02
1.13 Débit d'air disponible		10%	4,00%	4	0,16	1	0,04	5	0,20
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	4	0,48	3	0,36	2	0,24
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	3	0,24	3	0,24	3	0,24
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	3	0,96	4	1,28	3	0,96
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	4	0,32	1	0,08	3	0,24
		100%							
Total	100%		100%		3,34		2,95		3,30

Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Analyse multicritère f2 : verrouiller système	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	1. Presse automatisée		2. Genouillère		3. Vis-écrou	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		15%	6,00%	5	0,30	3	0,18	3	0,18
1.2 Poids		1%	0,40%	4	0,02	5	0,02	3	0,01
1.3 Productique		10%	4,00%	5	0,20	3	0,12	1	0,04
1.4 Volume		2%	0,80%	5	0,04	2	0,02	3	0,02
1.5 Besoin de précision du système		5%	2,00%	5	0,10	1	0,02	3	0,06
1.6 Simplicité de programmation		3%	1,20%	4	0,05	3	0,04	1	0,01
1.7 Gestion des dérangements		3%	1,20%	4	0,05	3	0,04	2	0,02
1.8 Simplicité de conception/montage		2%	0,80%	5	0,04	1	0,01	2	0,02
1.9 Course disponible		5%	2,00%	5	0,10	3	0,06	3	0,06
1.10 Résistance à l'usure		5%	2,00%	4	0,08	2	0,04	2	0,04
1.11 Besoin de maintenance		10%	4,00%	5	0,20	1	0,04	2	0,08
1.12 Simplicité de maintenance		3%	1,20%	3	0,04	1	0,01	3	0,04
1.13 Simplicité d'utilisation		10%	4,00%	4	0,16	3	0,12	3	0,12
1.14 Ergonomie		5%	2,00%	5	0,10	3	0,06	3	0,06
1.15 Service après-vente		5%	2,00%	5	0,10	1	0,02	2	0,04
1.16 Bruit		5%	2,00%	4	0,08	3	0,06	3	0,06
1.17 Production de vibrations		1%	0,40%	5	0,02	4	0,02	3	0,01
1.18 Force de fermeture disponible		10%	4,00%	4	0,16	2	0,08	3	0,12
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	1	0,12	3	0,36	4	0,48
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	2	0,16	3	0,24	3	0,24
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	3	0,96	4	1,28	2	0,64
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	3	0,24	4	0,32	3	0,24
		100%							
Total	100%		100%		3,31		3,14		2,60

Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Analyse multicritère f2 : verrouiller système	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	4. Crémaillère		5. Vérin pneumatique		6. Vérin hydraulique	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		15%	6,00%	3	0,18	4	0,24	4	0,24
1.2 Poids		1%	0,40%	3	0,01	5	0,02	1	0,00
1.3 Productique		10%	4,00%	4	0,16	5	0,20	2	0,08
1.4 Volume		2%	0,80%	3	0,02	4	0,03	1	0,01
1.5 Besoin de précision du système		5%	2,00%	3	0,06	5	0,10	5	0,10
1.6 Simplicité de programmation		3%	1,20%	1	0,01	5	0,06	1	0,01
1.7 Gestion des dérangements		3%	1,20%	2	0,02	5	0,06	3	0,04
1.8 Simplicité de conception/montage		2%	0,80%	3	0,02	5	0,04	3	0,02
1.9 Course disponible		5%	2,00%	4	0,08	4	0,08	5	0,10
1.10 Résistance à l'usure		5%	2,00%	1	0,02	5	0,10	4	0,08
1.11 Besoin de maintenance		10%	4,00%	2	0,08	4	0,16	4	0,16
1.12 Simplicité de maintenance		3%	1,20%	3	0,04	5	0,06	4	0,05
1.13 Simplicité d'utilisation		10%	4,00%	3	0,12	5	0,20	2	0,08
1.14 Ergonomie		5%	2,00%	3	0,06	4	0,08	3	0,06
1.15 Service après-vente		5%	2,00%	2	0,04	4	0,08	4	0,08
1.16 Bruit		5%	2,00%	4	0,08	3	0,06	2	0,04
1.17 Production de vibrations		1%	0,40%	4	0,02	4	0,02	2	0,01
1.18 Force de fermeture disponible		10%	4,00%	2	0,08	3	0,12	5	0,20
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	3	0,36	5	0,60	1	0,12
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	2	0,16	3	0,24	1	0,08
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	2	0,64	3	0,96	3	0,96
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	3	0,24	3	0,24	3	0,24
		100%							
Total	100%		100%		2,51		3,75		2,76

Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Analyse multicritère f2 : verrouiller système	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	7. Vérin électrique		8. Bielle-manivelle		9. Linéaire + rot de verr.	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		15%	6,00%	4	0,24	1	0,06	3	0,18
1.2 Poids		1%	0,40%	4	0,02	3	0,01	5	0,02
1.3 Productique		10%	4,00%	1	0,04	3	0,12	2	0,08
1.4 Volume		2%	0,80%	3	0,02	1	0,01	4	0,03
1.5 Besoin de précision du système		5%	2,00%	4	0,08	1	0,02	3	0,06
1.6 Simplicité de programmation		3%	1,20%	1	0,01	1	0,01	2	0,02
1.7 Gestion des dérangements		3%	1,20%	2	0,02	1	0,01	3	0,04
1.8 Simplicité de conception/montage		2%	0,80%	5	0,04	1	0,01	1	0,01
1.9 Course disponible		5%	2,00%	3	0,06	2	0,04	4	0,08
1.10 Résistance à l'usure		5%	2,00%	2	0,04	1	0,02	3	0,06
1.11 Besoin de maintenance		10%	4,00%	3	0,12	1	0,04	1	0,04
1.12 Simplicité de maintenance		3%	1,20%	4	0,05	1	0,01	1	0,01
1.13 Simplicité d'utilisation		10%	4,00%	3	0,12	2	0,08	3	0,12
1.14 Ergonomie		5%	2,00%	4	0,08	2	0,04	4	0,08
1.15 Service après-vente		5%	2,00%	4	0,08	1	0,02	1	0,02
1.16 Bruit		5%	2,00%	4	0,08	4	0,08	3	0,06
1.17 Production de vibrations		1%	0,40%	3	0,01	2	0,01	4	0,02
1.18 Force de fermeture disponible		10%	4,00%	3	0,12	2	0,08	2	0,08
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	4	0,48	1	0,12	1	0,12
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	2	0,16	1	0,08	1	0,08
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	2	0,64	1	0,32	4	1,28
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	3	0,24	3	0,24	4	0,32
		100%							
Total	100%		100%		2,76		1,43		2,81

Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Analyse multicritère f2 : verrouiller système	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	10. Linéaire + lin de verr.		11. Vérin hydrau-pneum		12. Cam/excent	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		15%	6,00%	3	0,18	4	0,24	3	0,18
1.2 Poids		1%	0,40%	4	0,02	3	0,01	4	0,02
1.3 Productique		10%	4,00%	2	0,08	5	0,20	2	0,08
1.4 Volume		2%	0,80%	3	0,02	3	0,02	3	0,02
1.5 Besoin de précision du système		5%	2,00%	4	0,08	5	0,10	4	0,08
1.6 Simplicité de programmation		3%	1,20%	2	0,02	5	0,06	1	0,01
1.7 Gestion des dérangements		3%	1,20%	3	0,04	4	0,05	2	0,02
1.8 Simplicité de conception/montage		2%	0,80%	2	0,02	5	0,04	2	0,02
1.9 Course disponible		5%	2,00%	5	0,10	5	0,10	1	0,02
1.10 Résistance à l'usure		5%	2,00%	3	0,06	4	0,08	4	0,08
1.11 Besoin de maintenance		10%	4,00%	2	0,08	4	0,16	3	0,12
1.12 Simplicité de maintenance		3%	1,20%	3	0,04	5	0,06	3	0,04
1.13 Simplicité d'utilisation		10%	4,00%	3	0,12	5	0,20	3	0,12
1.14 Ergonomie		5%	2,00%	3	0,06	4	0,08	2	0,04
1.15 Service après-vente		5%	2,00%	2	0,04	4	0,08	2	0,04
1.16 Bruit		5%	2,00%	2	0,04	3	0,06	4	0,08
1.17 Production de vibrations		1%	0,40%	4	0,02	4	0,02	2	0,01
1.18 Force de fermeture disponible		10%	4,00%	2	0,08	5	0,20	3	0,12
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	3	0,36	4	0,48	2	0,24
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	3	0,24	4	0,32	3	0,24
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	4	1,28	3	0,96	3	0,96
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	4	0,32	4	0,32	3	0,24
		100%							
Total	100%		100%		3,29		3,84		2,78

Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Analyse multicritère f2 : verrouiller système	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	13. Système rotatif		14. Rotatif + rot de verr.		15. Rotatif + lin de verr.	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		15%	6,00%	1	0,06	1	0,06	1	0,06
1.2 Poids		1%	0,40%	3	0,01	3	0,01	3	0,01
1.3 Productique		10%	4,00%	2	0,08	1	0,04	1	0,04
1.4 Volume		2%	0,80%	2	0,02	2	0,02	2	0,02
1.5 Besoin de précision du système		5%	2,00%	1	0,02	1	0,02	1	0,02
1.6 Simplicité de programmation		3%	1,20%	1	0,01	1	0,01	1	0,01
1.7 Gestion des dérangements		3%	1,20%	2	0,02	1	0,01	1	0,01
1.8 Simplicité de conception/montage		2%	0,80%	1	0,01	1	0,01	1	0,01
1.9 Course disponible		5%	2,00%	4	0,08	4	0,08	4	0,08
1.10 Résistance à l'usure		5%	2,00%	2	0,04	3	0,06	3	0,06
1.11 Besoin de maintenance		10%	4,00%	1	0,04	1	0,04	1	0,04
1.12 Simplicité de maintenance		3%	1,20%	2	0,02	1	0,01	1	0,01
1.13 Simplicité d'utilisation		10%	4,00%	2	0,08	2	0,08	2	0,08
1.14 Ergonomie		5%	2,00%	2	0,04	2	0,04	2	0,04
1.15 Service après-vente		5%	2,00%	2	0,04	1	0,02	1	0,02
1.16 Bruit		5%	2,00%	4	0,08	3	0,06	3	0,06
1.17 Production de vibrations		1%	0,40%	2	0,01	2	0,01	2	0,01
1.18 Force de fermeture disponible		10%	4,00%	3	0,12	2	0,08	2	0,08
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	1	0,12	1	0,12	1	0,12
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	1	0,08	1	0,08	1	0,08
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	3	0,96	3	0,96	3	0,96
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	2	0,16	3	0,24	3	0,24
		100%							
Total	100%		100%		2,10		2,06		2,06

Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Analyse multicritère f3 : garantir la sécurité	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	1. Barrière optique		2. Porte manuelle		3. Porte automatique	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		15%	6,00%	3	0,18	4	0,24	3	0,18
1.2 Poids		1%	0,40%	4	0,02	3	0,01	2	0,01
1.3 Productique		20%	8,00%	5	0,40	2	0,16	4	0,32
1.4 Volume		2%	0,80%	5	0,04	4	0,03	3	0,02
1.5 Simplicité de programmation		5%	2,00%	3	0,06	5	0,10	3	0,06
1.6 Simplicité de conception/montage		5%	2,00%	5	0,10	3	0,06	4	0,08
1.7 Gestion des dérangements		5%	2,00%	2	0,04	5	0,10	2	0,04
1.8 Ergonomie		15%	6,00%	5	0,30	3	0,18	4	0,24
1.9 Simplicité d'utilisation		5%	2,00%	4	0,08	4	0,08	5	0,10
1.10 Résistance à l'usure		5%	2,00%	5	0,10	4	0,08	3	0,06
1.11 Besoin de maintenance		5%	2,00%	4	0,08	4	0,08	3	0,06
1.12 Simplicité de maintenance		5%	2,00%	5	0,10	3	0,06	3	0,06
1.13 Service après-vente		5%	2,00%	5	0,10	3	0,06	5	0,10
1.14 Bruit		2%	0,80%	5	0,04	4	0,03	4	0,03
1.15 Production de vibrations		5%	2,00%	5	0,10	4	0,08	3	0,06
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	3	0,36	3	0,36	2	0,24
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	4	0,32	4	0,32	3	0,24
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		90%	36,00%	1	0,36	4	1,44	4	1,44
3.2 Sécurité pour les pièces		10%	4,00%	3	0,12	3	0,12	2	0,08
		100%							
Total	100%		100%		2,90		3,60		3,42

Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Analyse multicritère f4 : automatiser le process.	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	1. S7-1200		2. S7-300		3. S7-1500	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		20%	8,00%	4	0,32	4	0,32	4	0,32
1.2 Facilité de programmation		15%	6,00%	5	0,30	5	0,30	4	0,24
1.3 Gestion des dérangements		5%	2,00%	3	0,06	5	0,10	5	0,10
1.4 Connaissance de la CPU		15%	6,00%	5	0,30	2	0,12	2	0,12
1.5 Flexibilité/possibilité d'évolution		15%	6,00%	3	0,18	5	0,30	5	0,30
1.6 Gestion de la sécurité		15%	6,00%	3	0,18	3	0,18	3	0,18
1.7 Liscence		5%	2,00%	4	0,08	4	0,08	3	0,06
1.8 Programme existant		5%	2,00%	2	0,04	2	0,04	2	0,04
1.9 Simplicité d'utilisation		2%	0,80%	4	0,03	4	0,03	4	0,03
1.10 Volume		1%	0,40%	4	0,02	3	0,01	2	0,01
1.11 Service après-vente		1%	0,40%	4	0,02	4	0,02	4	0,02
1.12 Simplicité de maintenance		1%	0,40%	5	0,02	3	0,01	3	0,01
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	5	0,60	2	0,24	2	0,24
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	4	0,32	3	0,24	3	0,24
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	3	0,96	3	0,96	3	0,96
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	3	0,24	4	0,32	4	0,32
		100%							
Total	100%		100%		3,66		3,27		3,19

Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Analyse multicritère f4 : automatiser le process.	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	4. S7-1200 Safe		5. Divers	
1. Objectif technique	40%						
1.1 Fiabilité		20%	8,00%	5	0,40	2	0,16
1.2 Facilité de programmation		15%	6,00%	2	0,12	1	0,06
1.3 Gestion des dérangements		5%	2,00%	4	0,08	2	0,04
1.4 Connaissance de la CPU		15%	6,00%	4	0,24	1	0,06
1.5 Flexibilité/possibilité d'évolution		15%	6,00%	4	0,24	4	0,24
1.6 Gestion de la sécurité		15%	6,00%	4	0,24	3	0,18
1.7 Liscence		5%	2,00%	3	0,06	5	0,10
1.8 Programme existant		5%	2,00%	5	0,10	2	0,04
1.9 Simplicité d'utilisation		2%	0,80%	4	0,03	3	0,02
1.10 Volume		1%	0,40%	5	0,02	3	0,01
1.11 Service après-vente		1%	0,40%	4	0,02	2	0,01
1.12 Simplicité de maintenance		1%	0,40%	4	0,02	3	0,01
		100%					
2. Budget/Délai	20%						
2.1 Coût		60%	12,00%	4	0,48	5	0,60
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	2	0,16	3	0,24
		100%					
3. Sécurité	40%						
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	4	1,28	3	0,96
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	3	0,24	3	0,24
		100%					
Total	100%		100%		3,72		2,98

Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Analyse multicritère f5 : Quantifier les fuites	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	1. Système optique		2. Capteur press 40 bar		3. Capteur 0,25 bar + soupape	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		20%	8,00%	2	0,16	1	0,08	3	0,24
1.2 Précision		20%	8,00%	5	0,40	1	0,08	4	0,32
1.3 Répétabilité de la mesure		30%	12,00%	3	0,36	1	0,12	4	0,48
1.4 Simplicité de programmation		2%	0,80%	2	0,02	3	0,02	2	0,02
1.5 Simplicité de conception/montage		2%	0,80%	1	0,01	5	0,04	4	0,03
1.6 Productique		5%	2,00%	4	0,08	3	0,06	3	0,06
1.7 Résistance aux températures		1%	0,40%	2	0,01	3	0,01	3	0,01
1.8 Résistance à l'usure		2%	0,80%	4	0,03	3	0,02	2	0,02
1.9 Volume		1%	0,40%	2	0,01	4	0,02	3	0,01
1.10 Besoin de maintenance		5%	2,00%	1	0,02	4	0,08	3	0,06
1.11 Simplicité de maintenance		2%	0,80%	3	0,02	4	0,03	3	0,02
1.12 Simplicité d'utilisation		6%	2,40%	1	0,02	4	0,10	4	0,10
1.13 Service après-vente		2%	0,80%	3	0,02	3	0,02	3	0,02
1.14 Bruit		2%	0,80%	2	0,02	5	0,04	2	0,02
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	2	0,24	3	0,36	3	0,36
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	2	0,16	3	0,24	3	0,24
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	3	0,96	4	1,28	3	0,96
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	4	0,32	1	0,08	4	0,32
		100%							
Total	100%		100%		2,86		2,69		3,29

Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Analyse multicritère f6 : Interface homme/machine	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	1. Boutons/voyants		2. Ecran tactile		3. Mix	
1. Objectif technique	40%								
1.1 Fiabilité		10%	4,00%	3	0,12	4	0,16	5	0,20
1.2 Facilité d'utilisation		10%	4,00%	3	0,12	4	0,16	5	0,20
1.3 Productique		10%	4,00%	4	0,16	3	0,12	4	0,16
1.4 Flexibilité/possibilité d'évolution		10%	4,00%	2	0,08	5	0,20	5	0,20
1.5 Informations transmises à l'utilisateur		10%	4,00%	2	0,08	5	0,20	5	0,20
1.6 Facilité de programmation		5%	2,00%	5	0,10	3	0,06	3	0,06
1.7 Gestion des dérangements		10%	4,00%	2	0,08	4	0,16	5	0,20
1.8 Volume Hardware		5%	2,00%	1	0,02	5	0,10	4	0,08
1.9 Volume sur la machine		5%	2,00%	2	0,04	4	0,08	3	0,06
1.10 Ergonomie		8%	0,032	3	0,10	3	0,10	4	0,13
1.11 Simplicité d'utilisation		10%	0,04	4	0,16	3	0,12	3	0,12
1.12 Résistance à l'usure		5%	0,02	4	0,08	3	0,06	3	0,06
1.13 Service après-vente		2%	0,008	3	0,02	3	0,02	3	0,02
		100%							
2. Budget/Délai	20%								
2.1 Coût		60%	12,00%	5	0,60	3	0,36	2	0,24
2.2 Délai de livraison		40%	8,00%	3	0,24	3	0,24	2	0,16
		100%							
3. Sécurité	40%								
3.1 Sécurité pour l'utilisateur		80%	32,00%	4	1,28	2	0,64	4	1,28
3.2 Sécurité pour les pièces		20%	8,00%	4	0,32	3	0,24	4	0,32
		100%							
Total	100%		100%		3,60		3,02		3,69

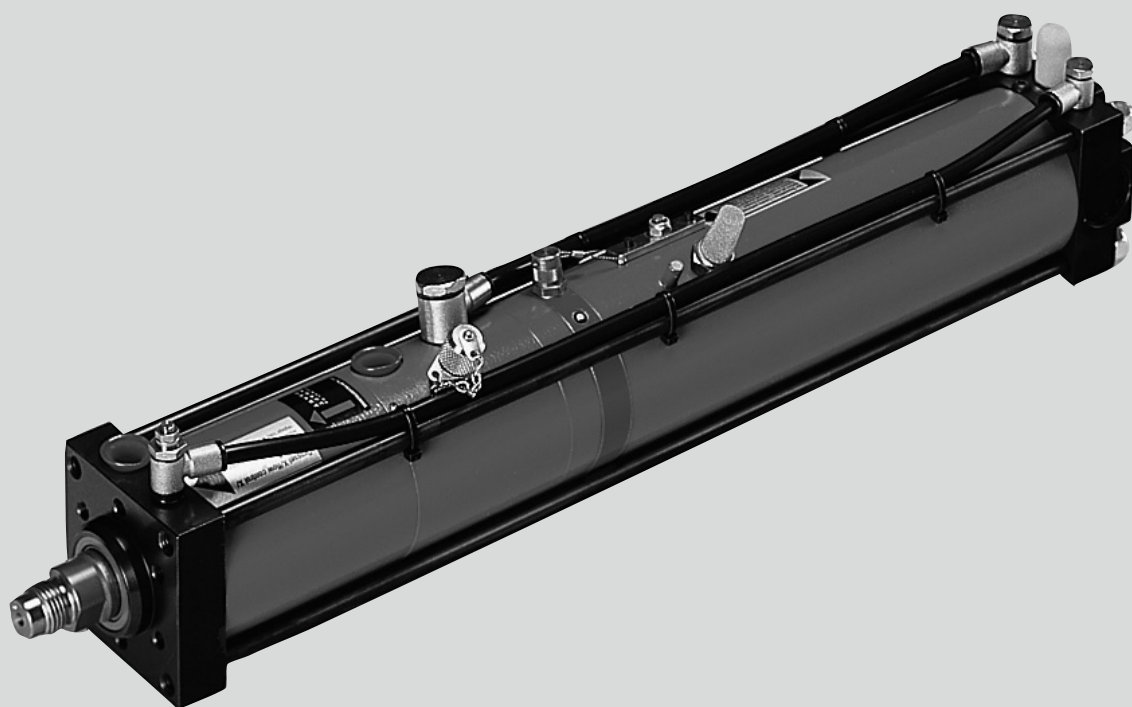
Evaluation : 1 insuffisant, 2 suffisant, 3 bon, 4 très bon, 5 excellent

Annexe 4

Informations techniques du vérin
hydropneumatique

Vérin Amplificateur TOX® line-Q

Série préférentielle



Fiche
technique
10.50

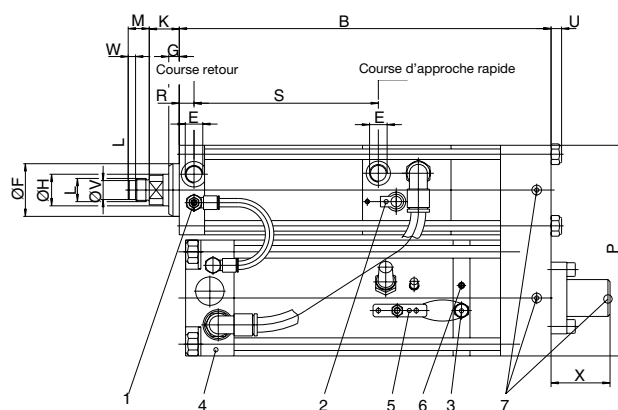
2017/02

TOX® PRESSOTECHNIK S.A.S.
ZAC des Godets - Bât. C
1-4, Impasse de la Noisette
F-91370 Verrières-le-Buisson

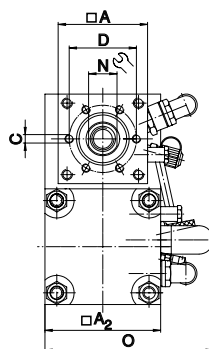
TOX® PRESSOTECHNIK GmbH & Co. KG
Riedstraße 4
D-88250 Weingarten

Veuillez trouver votre interlocuteur sur:
www.tox-pressotechnik.com

Vérin Amplificateur TOX® line-Q type K version 6 bar, de 10 à 150 kN



Q-K 1 – Q-K 15



- 1 Limiteur x
- 2 Raccord de mesure et de pilotage haute pression
- 3 Raccord de remplissage d'huile
- 4 Valve de séquence intégrée
- 5 Plaque de purge
- 6 Témoin de niveau d'huile
- 7 Vis de purge

Référence	Course totale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
-----------	---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

*IV : Valve de séquence intégrée

** Version avec valve de séquence externe

Dimensions en mm

Exemple de commande :

Q-S 8.30.100.12

Course travail
 Course totale
 Version 6 bar
 Catégorie de l'effort
 de pressage
 Modèle S/K
 line-Q

Tableau des forces de pressage

Type de vérin: **Q-K 004.030.200.13**

Numéro d'article: **340376**

Type de ressort

Ressort méc.

Contrôle1 (Mémoire)

Contrôle2 (Plunger)

Date:

19.01.21

Pression pneumatique [bar]:	Pression hydraulique [bar]:	Effort de pression [kN]:	Effort course d'approche [N]:	Effort course retour [N]:
2.0	100	13,1	592	595
2.5	135	17,7	734	762
3.0	169	22,1	876	929
3.5	203	26,5	1018	1096
4.0	237	30,9	1161	1263
4.5	271	35,3	1303	1430
5.0	304	39,6	1445	1597
5.5	339	44,1	1587	1764
6.0	373	48,6	1730	1931

Tolerance des données techniques $\pm 5\%$

Pression pneumatique maximum acceptable:

6 bar

Attention:

Une pression pneumatique supérieure à la pression maximum peut entraîner des problèmes dans le vérin pneumo-hydraulique TOX, dans la pièce à travailler, le vérin hydraulique, ou tuyau hydraulique, ainsi que des dangers aux personnes se trouvant dans la zone de travail.
Avant la mise en marche de l'appareil il est impérativement nécessaire de lire les instructions d'utilisation avec attention, et spécialement le chapitre 'Sécurité'.

L'indication de l'effort de pressage inclut l'effort d'approche rapide.

Powerpackage: Q-K 004.030.200.13
 Issuer: Christophe Leroux
 Date: 14.06.2021 09:59:05



Cylinder data

Pressforce:	30.9 [kN] at 4.0 [bar]	Type:	1 x Q-K 004.030.200.13
Fast stroke force:	116.0 [daN] at 4.0 [bar]	Material No.:	340376
Retracting force:	126.3 [daN] at 4.0 [bar]	Flange width "A1":	85 [mm]
Total Stroke max.:	200 [mm]	Flange width "A2":	110 [mm]
Power Stroke max.:	13 [mm]	Flange width "P":	200 [mm]
Cylinder length:	801 [mm]	Width "O":	165 [mm]
Cylinder weight:	43 [kg]		

Basic selection

Maximal length and weight

Air pressure:	4.0 bar [58.0 psi]	Max. length of Cylinder:	----- [mm]
Pressforce necessary:	25 [kN]	Max. length of Intensifier "ES":	----- [mm]
Total Stroke necessary:	200 [mm]	Max. weight of Cylinder:	----- [kg]
Power Stroke necessary:	1 [mm]	Max. weight of Intensifier "ES":	----- [kg]
Kind of application:	-----	Max. length of Flange width "A1":	----- [mm]
Weight of tool:	1 [kg]	Max. length of Flange width "A2":	----- [mm]
Orientation:	Tool pulling	Max. length of Flange width "P":	----- [mm]
		Max. length of Width "O":	----- [mm]

Performance data (calculative)

Air consumption (calculative)

Stroke rate:	59 [1/min]	Air consumption at ambient pressure*:	10.9 [Normliter]
Stroke time for a complete stroke:	1010 [ms]		
Valve reaction time:	25 [ms]		
Fast approach reaction time:	63 [ms]		
Fast approach time: (at 4.0[bar])	345 [ms]		
Throttle X time:	100 [ms]		
Power stroke time: (at 4.0[bar])	103 [ms]		
Stop time in press position:	0 [ms]		
Exhaust time: (at 4.0[bar])	120 [ms]		
Retracting stroke time: (at 4.0[bar])	255 [ms]		

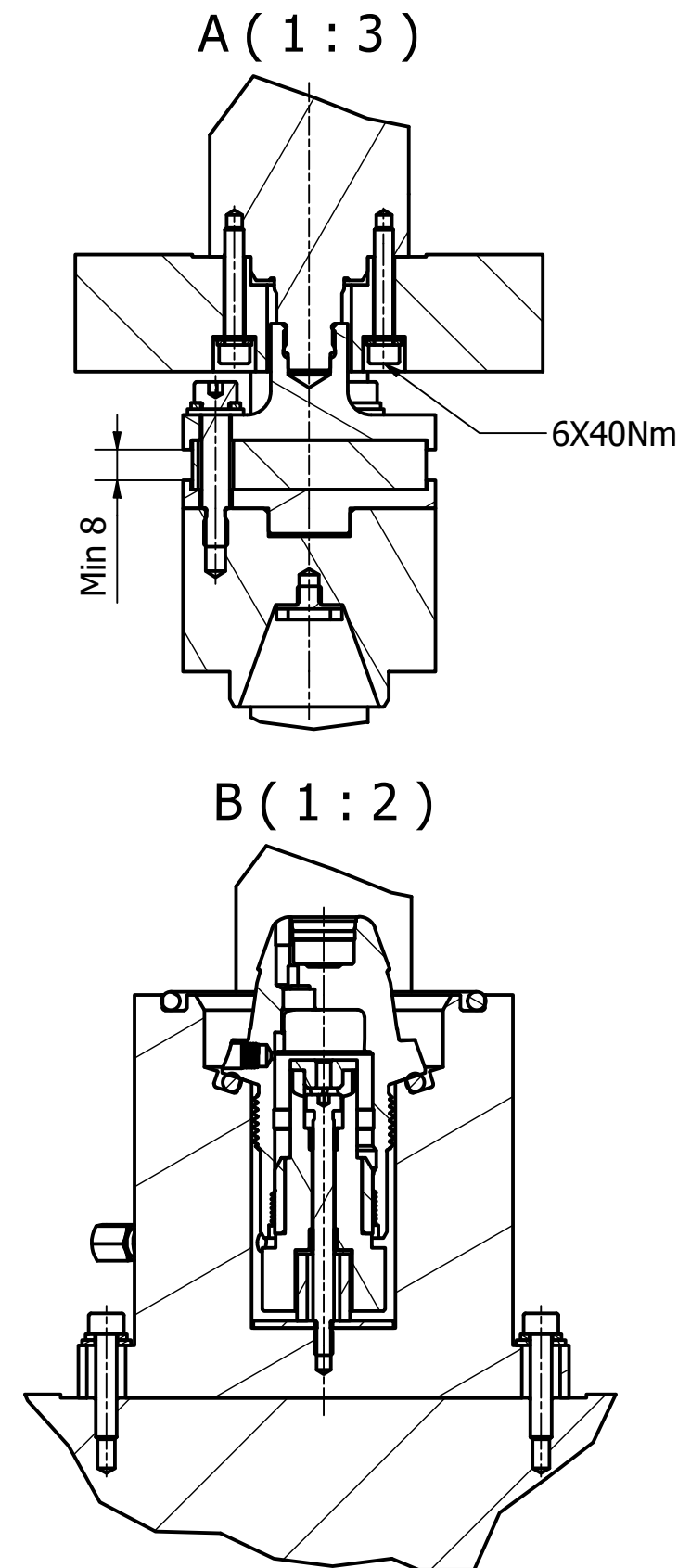
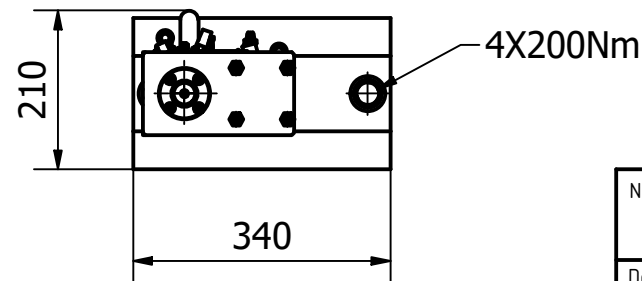
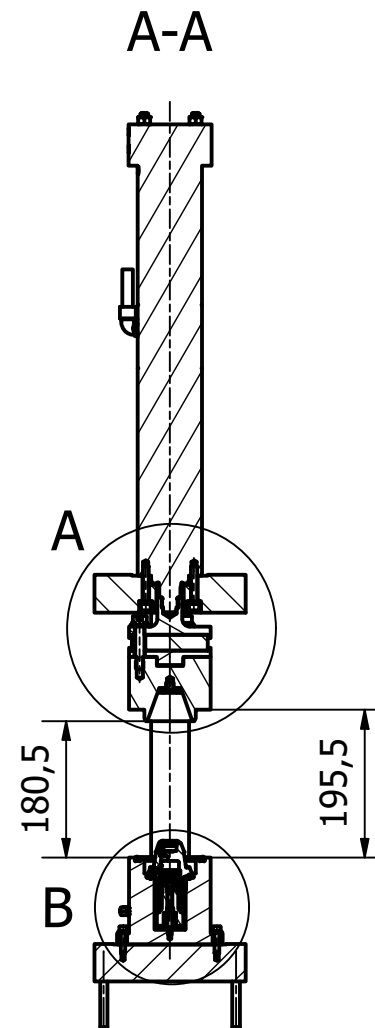
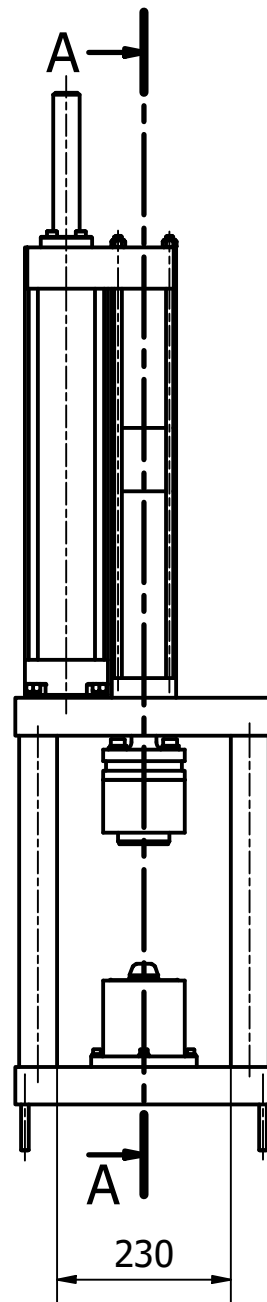
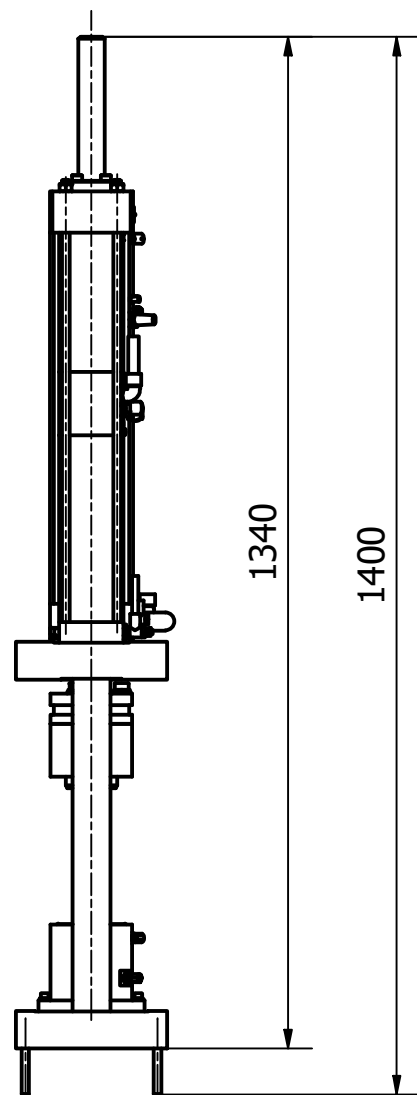
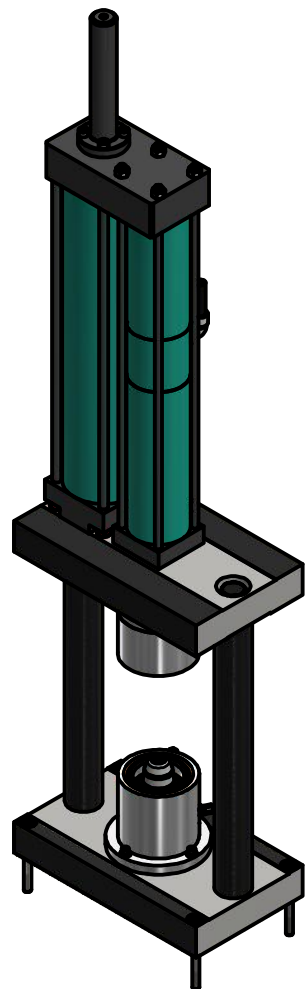
* Standard air consumption is related to selected air pressure and selected stroke

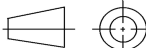
Extras

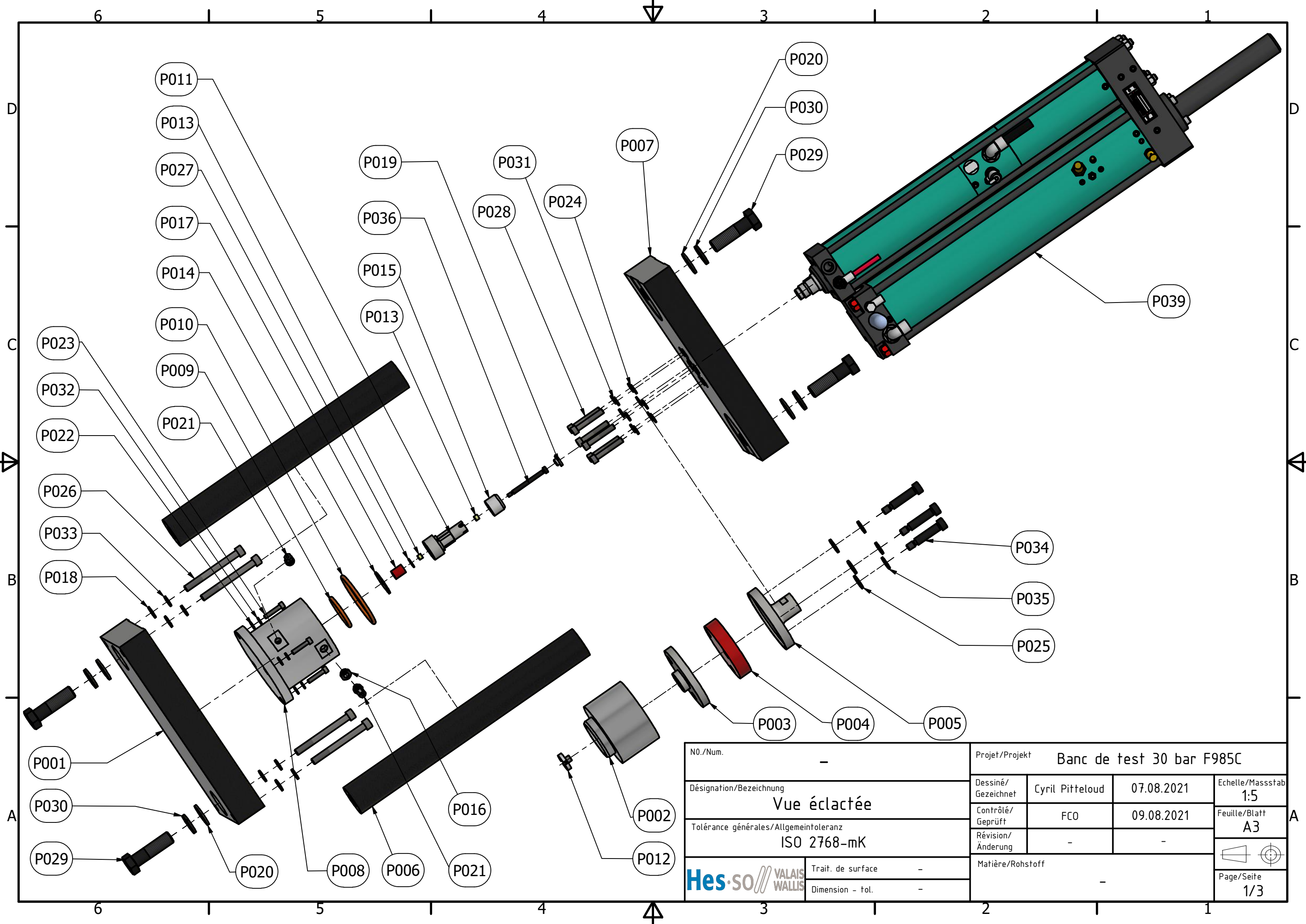
Safety lock:	-----
Type of spring	-----
Position transducer:	-----
Stroke adjustment for Total stroke:	-----
Stroke adjustment for Powerstroke:	-----
End position cushion for Forward stroke	-----
End position cushion for dummy	-----
Custom paint:	-----
Oil level monitor:	-----
Food process:	-----
Anti-rust execution:	-----

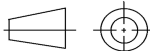

Annexe 5

Plans mécaniques



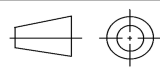
N0./Num.		Projet/Projekt				Banc de test 30 bar F985C	
Désignation/Bezeichnung		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	07.08.2021	Echelle/Massstab 1:10		
		Contrôle/ Geprüft	FCO	09.08.2021	Feuille/Blatt A3		
Tolérance générales/Allgemeintoleranz		Révision/ Änderung	-	-			
ISO 2768-mK		Matière/Rohstoff					
Hes·so VALAIS WALLIS		-					
Trait. de surface		-					
Dimension - tol.		-			Page/Seite 1/1		



N0./Num.		Projet/Projekt				Banc de test 30 bar F985C	
Désignation/Bezeichnung		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	07.08.2021	Echelle/Massstab		
		Contrôlé/ Geprüft	FCO	09.08.2021	Feuille/Blatt		
Tolérance générales/Allgemeintoleranz		Révision/ Änderung	-	-			
		Matière/Rohstoff					
ISO 2768-mK		-				Page/Seite	
		Trait. de surface	-			1/3	
		Dimension - tol.	-				

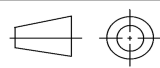

LISTE DE PIECES

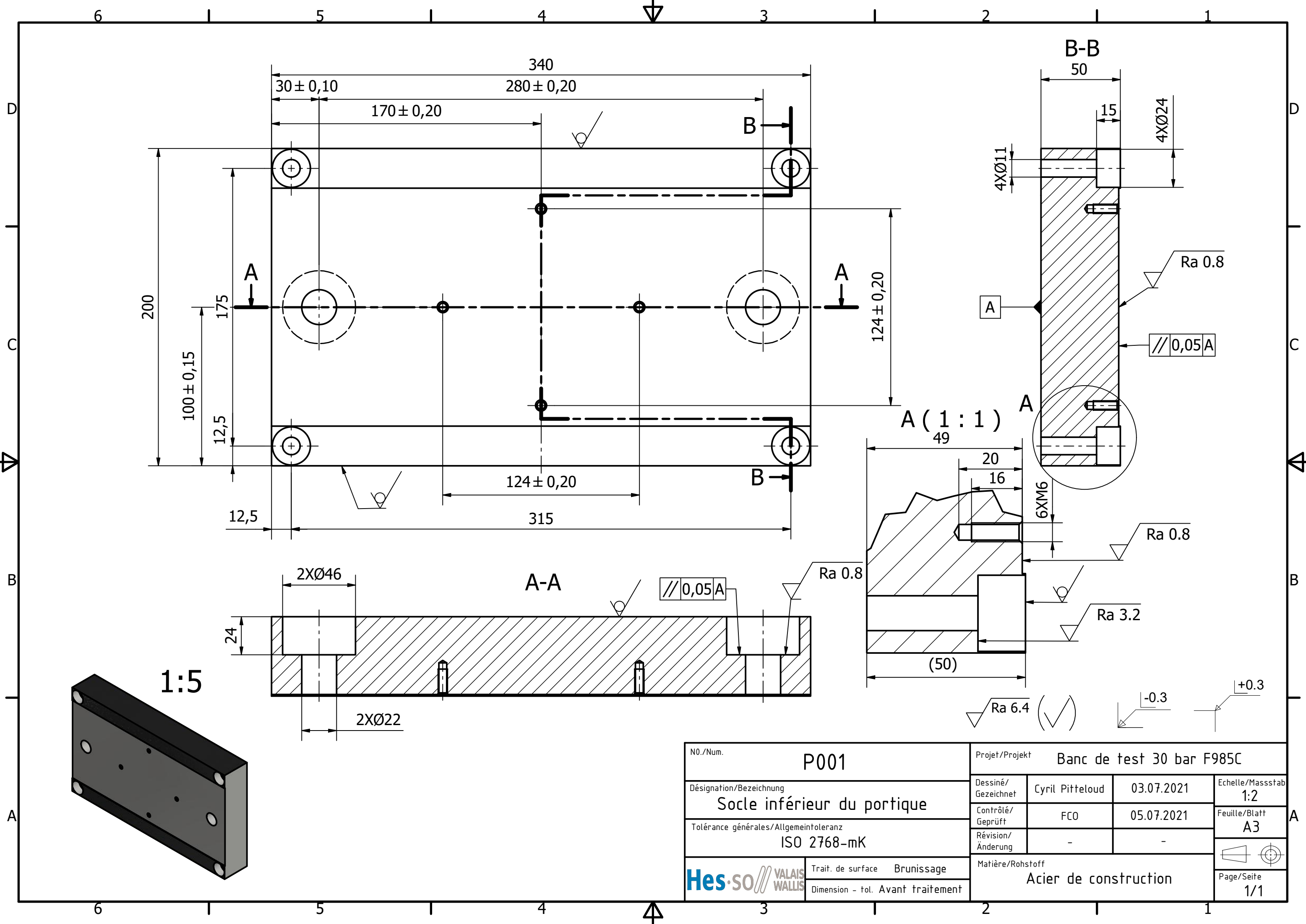
NUMERO DE PIECE	QTE	MATIERE	DESCRIPTION
P001	1	Acier	Socle inférieur du portique
P002	1	Aluminium	Couvercle de la cloche
P003	1	ETG 100	Socle inférieur du ressort polymère
P004	1	PUR 95 Shore	Ressort amortisseur polyurethane
P005	1	ETG 100	Accouplement du vérin
P006	2	Acier	Colonne du portique
P007	1	Acier	Socle supérieur du portique
P008	1	Aluminium	Cloche
P009	1	VMQ	O-ring HITEC VMQ 70 Shore Øint. 46,99 Øcorde 5,33
P010	1	VMQ	O-ring HITEC VMQ 70 Shore Øint. 81,92 Øcorde 5,33
P011	1	Acier inox	Support circuit électronique
P012	1	PTFE	Appui supérieur F985C
P013	2	Iglidur P210	Palier lisse Igus P210SM-0608-06
P014	1	Acier inox	Assise du ressort
P015	1	POM	Douille support circuit électronique
P016	1	Laiton nicklé	Réduction de filtegage gaz G1/4 à G1/8 (Bachofen)
P017	1	Acier ressort	Ressort support du circuit électronique 86,9 N/mm
P018	4	Acier bruni	Rondelle M10 ISO 7089 - 10 - 140 HV
P019	1	POM	Appui circuit électronique
P020	4	Acier zingué	Rondelle M20 ISO 7089 - 20 - 200 HV
P021	2	Laiton	Raccord pneumatique 30 bar G1/8
P022	4	Acier zingué	Rondelles plates M6 - 14
P023	4	Acier zingué	Vis ISO 4762 - M6 x 30 8.8
P024	6	Acier zingué	Rondelle M8 ISO 7089 - 8 - 300 HV
P025	3	Acier zingué	Rondelle M12 ISO 7089 - 12 - 140 HV
P026	4	Acier bruni	Vis ISO 4762 - M10 x 100 8.8
P027	1	Acier bruni	Rondelle plate M6 - 16
P028	6	Acier bruni	Vis ISO 4762 - M8 x 50 12.9
P029	4	Acier bruni	Vis ISO 4014 DIN 931 M20 x 70 10.9
P030	4	Acier bruni	Rondelle ressort M20 DIN 127 - A
P031	6	Acier bruni	Rondelle ressort M8 DIN 127 - A
P032	4	Acier bruni	Rondelle ressort M6 DIN 127 - A

N0./Num. —		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C			
Désignation/Bezeichnung Liste de pièces		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	08.08.2021	Echelle/Massstab —
		Contrôlé/ Geprüft	FCO	09.08.2021	Feuille/Blatt A4
		Révision/ Änderung	—	—	
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768–mK		Matière/Rohstoff —			
Hes·so VALAIS WALLIS		Trait. de surface	—	Page/Seite 2/3	
		Dimension - tol.	—		

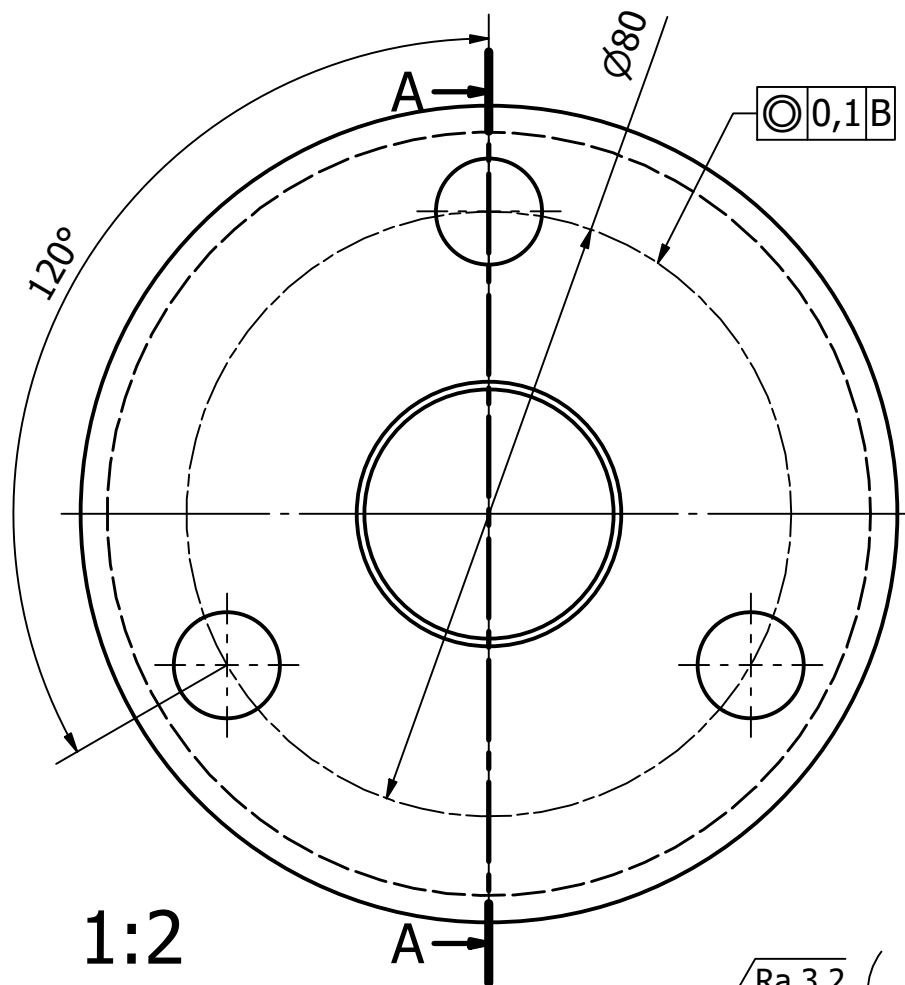
LISTE DE PIECES

NUMERO DE PIECE	QTE	MATIERE	DESCRIPTION
P033	4	Acier bruni	Rondelle ressort M10 DIN 127 - A
P034	3	Acier bruni	Vis à épaulement ISO 7379 M10 x 45 12.9
P035	3	Acier bruni	Rondelle ressort M12 DIN 127 - A
P036	1	Acier bruni	Vis à épaulement ISO 7379 M5 x 60 12.9
P039	1	-	Vérin hydropneumatique TOX Q-K 004.030.200.13

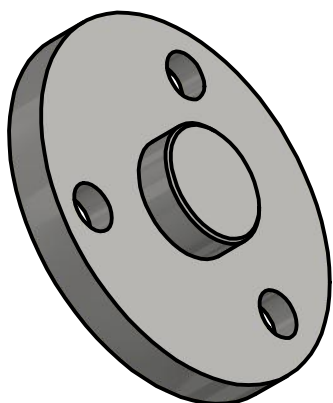
N0./Num. —		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C			
Désignation/Bezeichnung Liste de pièces		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	08.08.2021	Echelle/Massstab —
		Contrôlé/ Geprüft	FCO	09.08.2021	Feuille/Blatt A4
		Révision/ Änderung	—	—	
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768–mK		Matière/Rohstoff —			
	Trait. de surface	—			
	Dimension – tol.	—			
		Page/Seite 3/3			



N0./Num. P001		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Socle inférieur du portique		Dessiné/Gezeichnet Cyril Pitteloud	03.07.2021	Echelle/Massstab 1:2
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Contrôlé/Geprüft FCO	05.07.2021	Feuille/Blatt A3
Hes·so VALAIS WALLIS		Révision/Änderung -	-	Page/Seite 1/1
Trait. de surface Brunissage		Matière/Rohstoff Acier de construction		
Dimension - tol. Avant traitement				



1:2



0,1 B

Ø108

Ø101

0,05 A

Ra 0.8

A-A

4

11

3XØ14

Ra 0.8

0,05 A

Ø35 - 0,009(g6)
- 0,034(g6)

1X45°

B

A

Ra 0.8

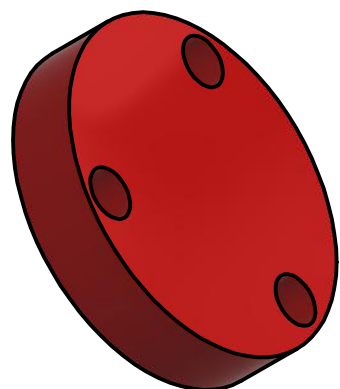
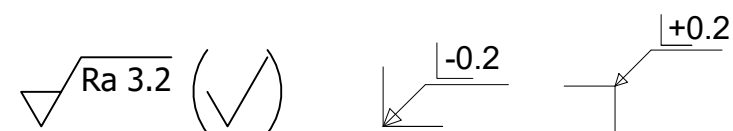
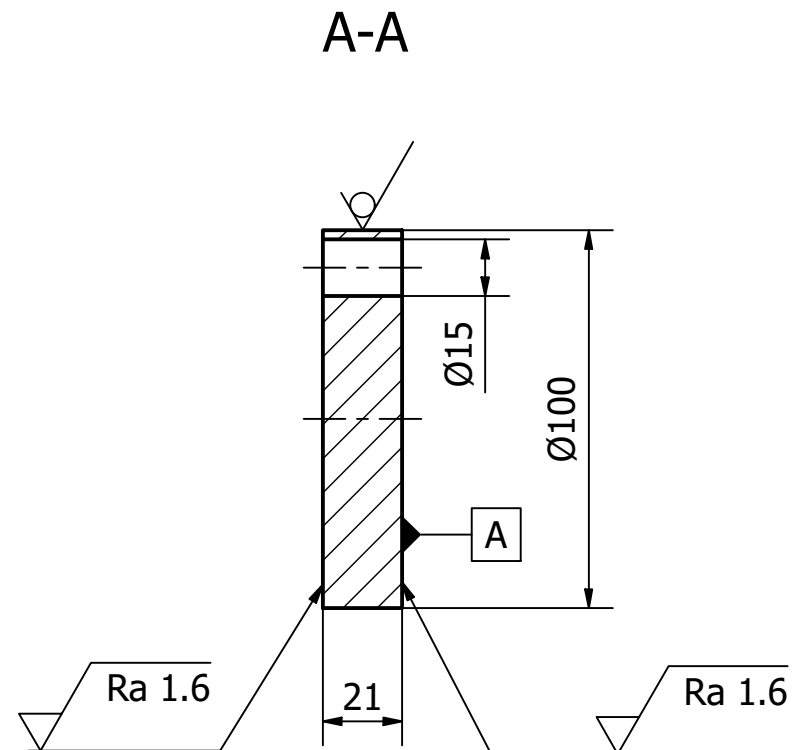
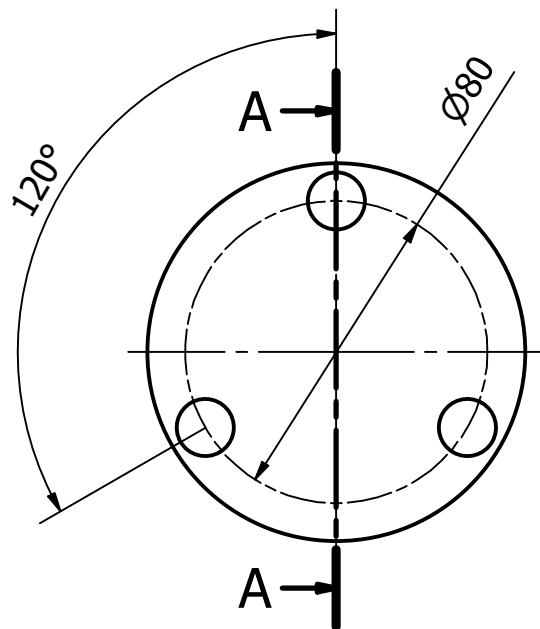
23


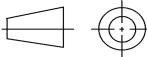
-0.2

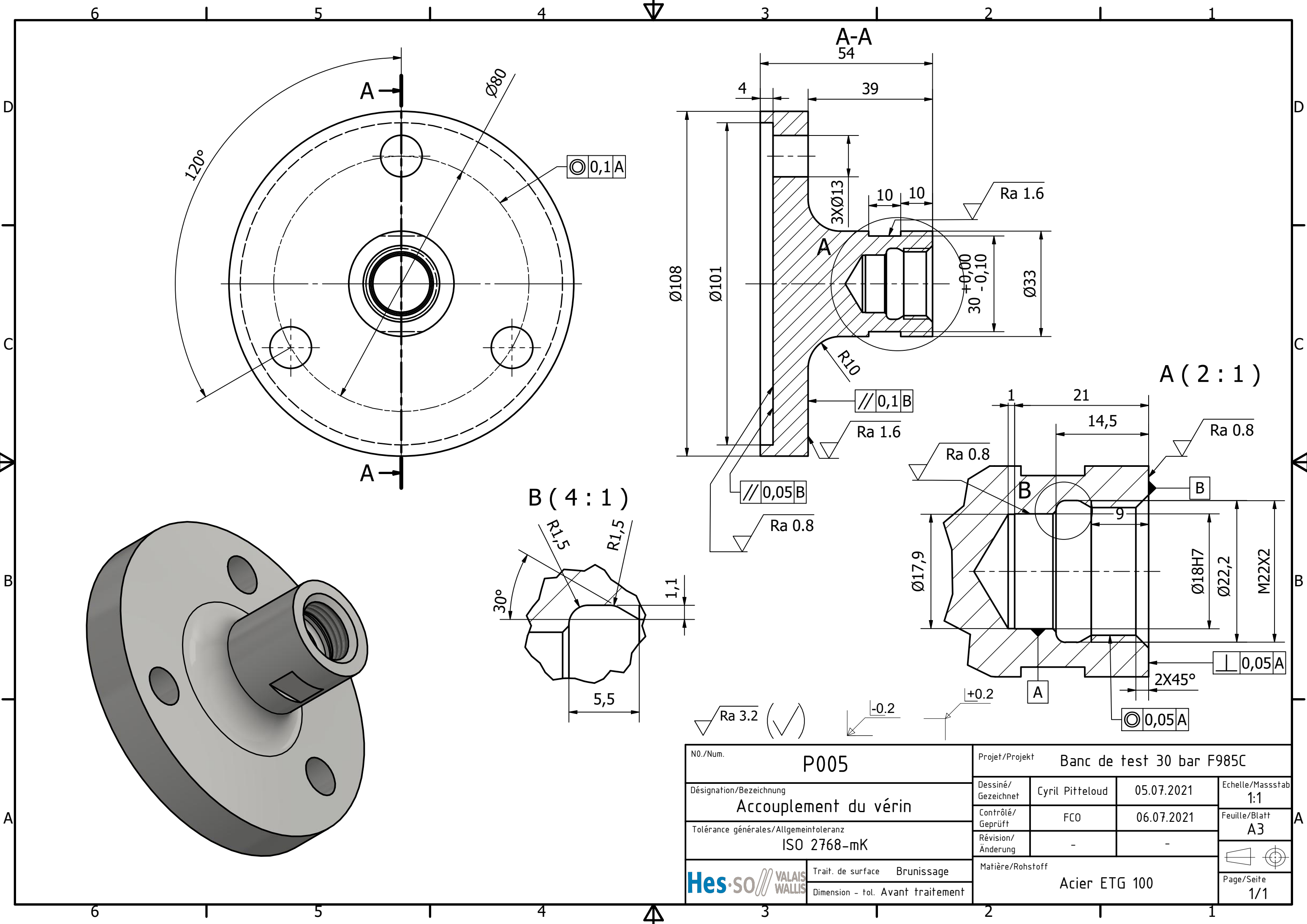
+0.2

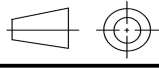

Ra 3.2 (✓)

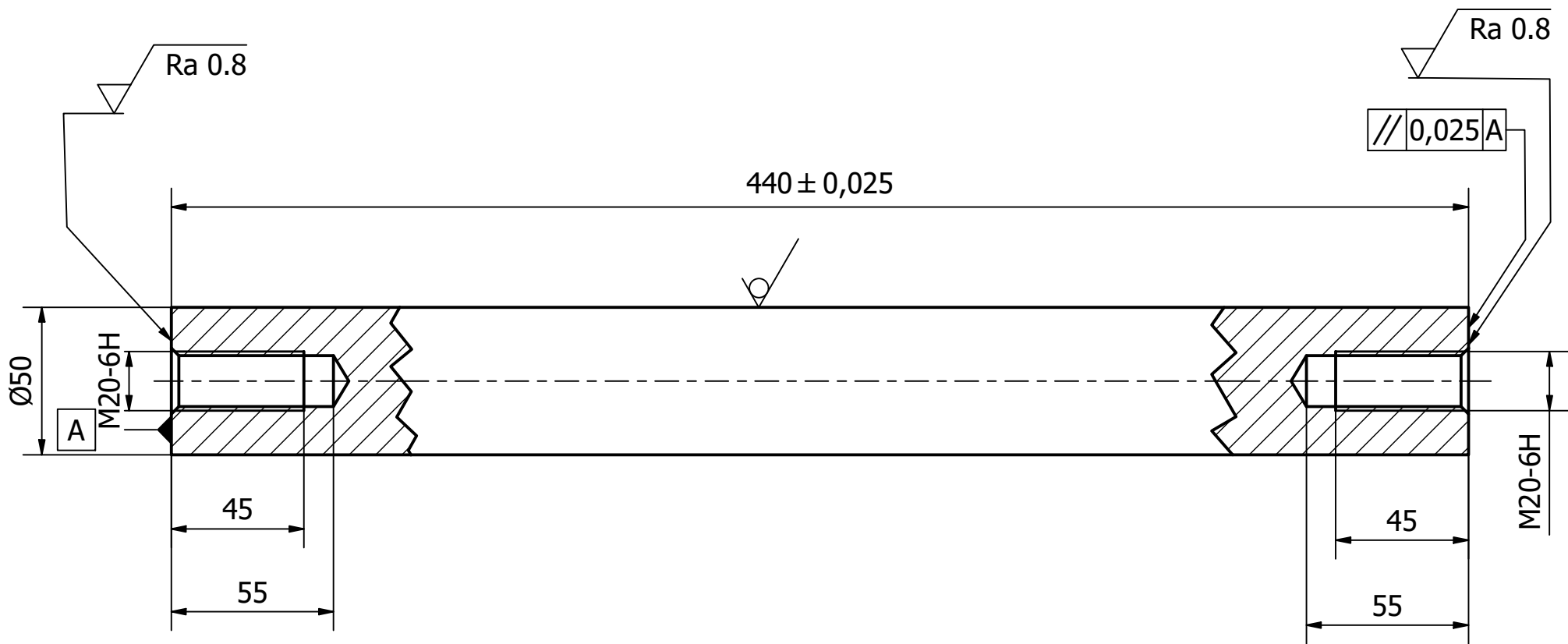
N0./Num. P003		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Socle inférieur ressort polymère		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	06.07.2021
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Contrôlé/ Geprüft	FCO	06.07.2021
		Révision/ Änderung	-	-
		Matière/Rohstoff Acier ETG 100		
Trait. de surface Brunissage Dimension - tol. Avant traitement		Echelle/Massstab 1:1 Feuille/Blatt A4 		
		Page/Seite 1/1		



N0./Num. P004		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Ressort amortisseur PU		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	07.07.2021
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Contrôlé/ Geprüft	FCO	09.07.2021
		Révision/ Änderung	-	-
		Matière/Rohstoff Polyuréthane 95 Shore		
Trait. de surface - Dimension - tol. -		Echelle/Massstab 1:2 Feuille/Blatt A4  Page/Seite 1/1		

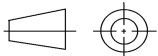



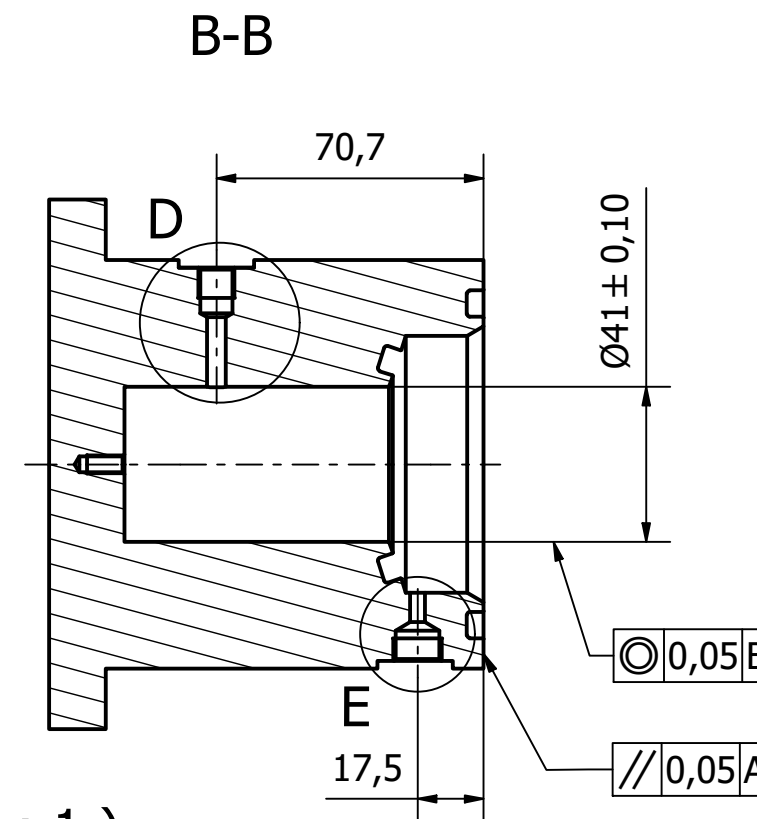
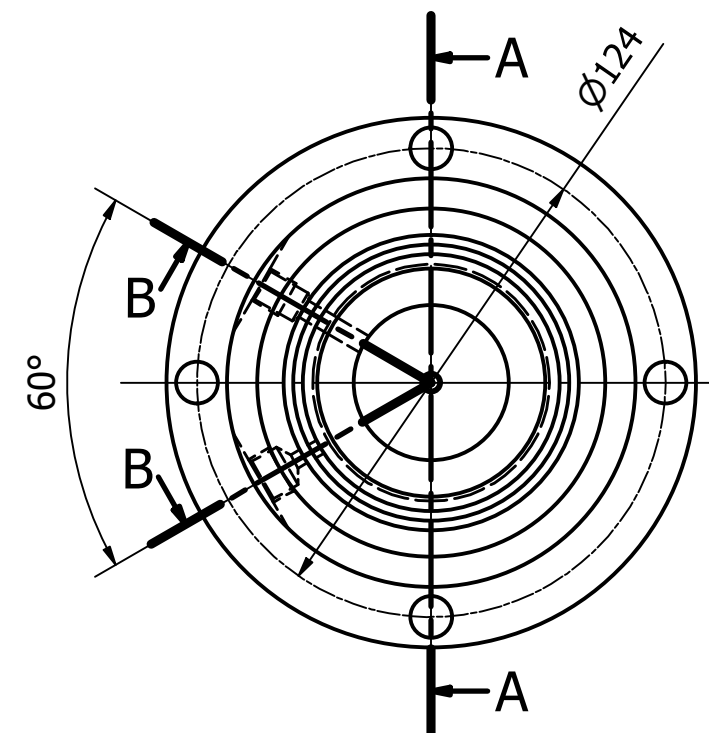
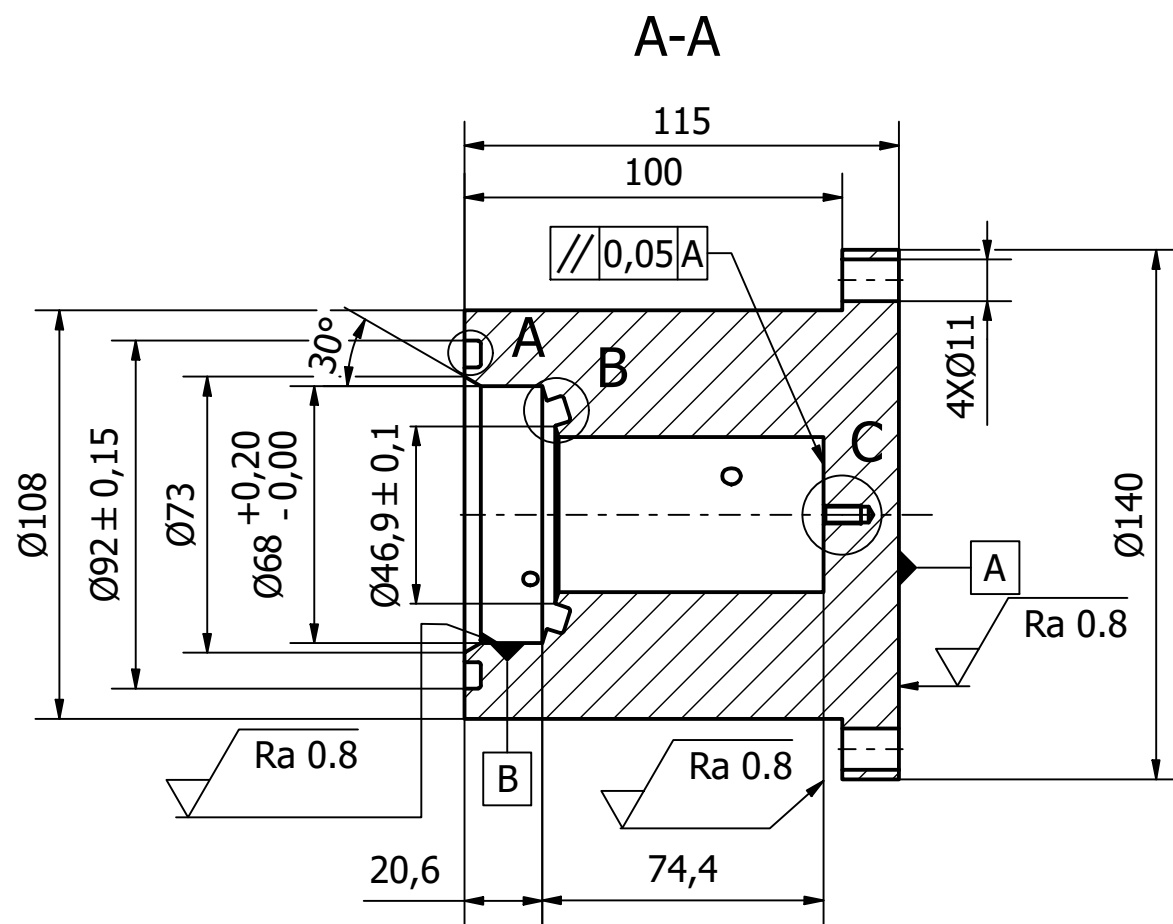
N0./Num.		P005				Projet/Projekt				Banc de test 30 bar F985C			
Désignation/Bezeichnung Accouplement du vérin						Dessiné/ Gezeichnet		Cyril Pitteloud		05.07.2021		Echelle/Massstab 1:1	
						Contrôlé/ Geprüft		FCO		06.07.2021		Feuille/Blatt A3	
						Révision/ Änderung		-		-			
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK						Matière/Rohstoff Acier ETG 100							
		Trait. de surface Brunissage											
		Dimension - tol. Avant traitement											
						Page/Seite 1/1							



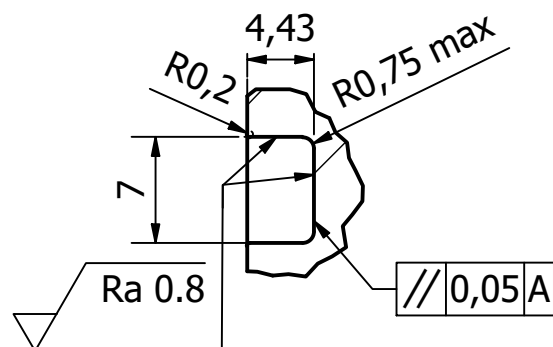
1:5



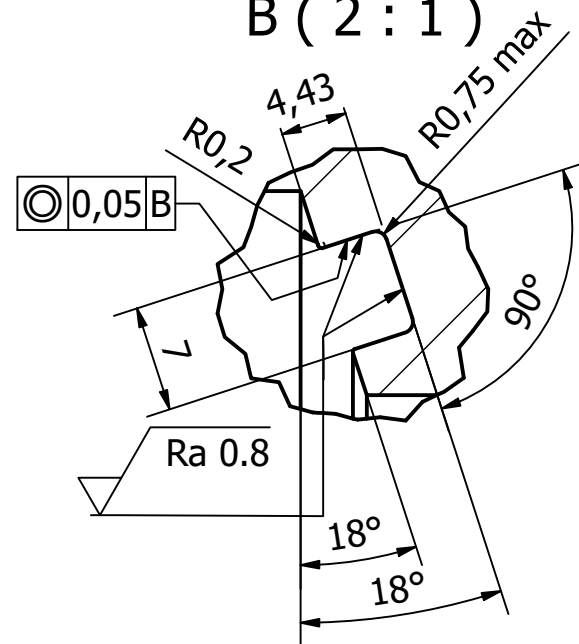
N0./Num.		P006				Projet/Projekt				Banc de test 30 bar F985C			
Désignation/Bezeichnung		Colonne du portique				Dessiné/ Gezeichnet		Cyril Pitteloud		04.07.2021		Echelle/Massstab	
						Contrôlé/ Geprüft		FCO		05.07.2021		Feuille/Blatt	
						Révision/ Änderung		-		-		A4	
Tolérance générales/Allgemeintoleranz		ISO 2768-mK				Matière/Rohstoff							
		Trait. de surface				Brunissage				Page/Seite			
		Dimension - tol. Avant traitement				Acier de construction				1/1			



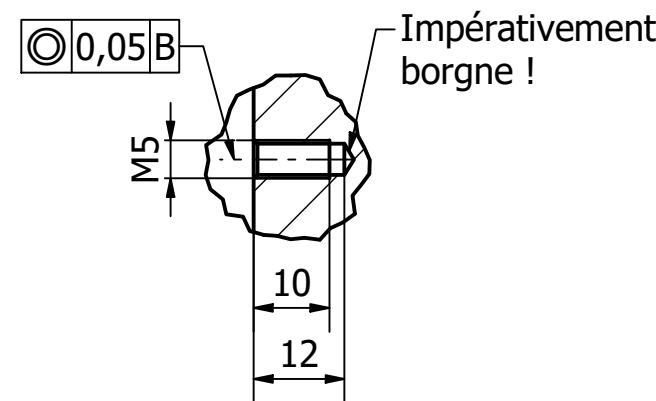
A (2 : 1)



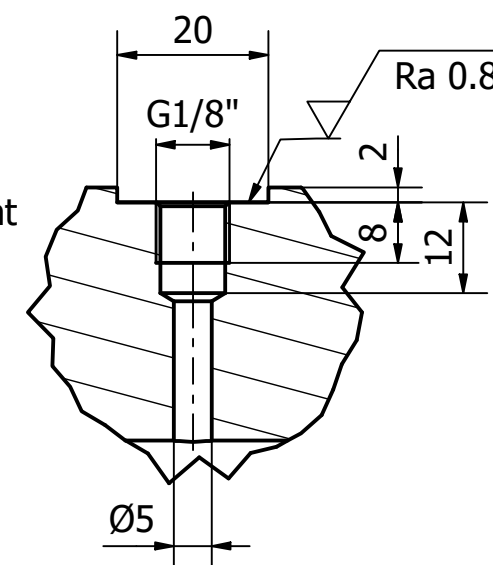
B (2 : 1)



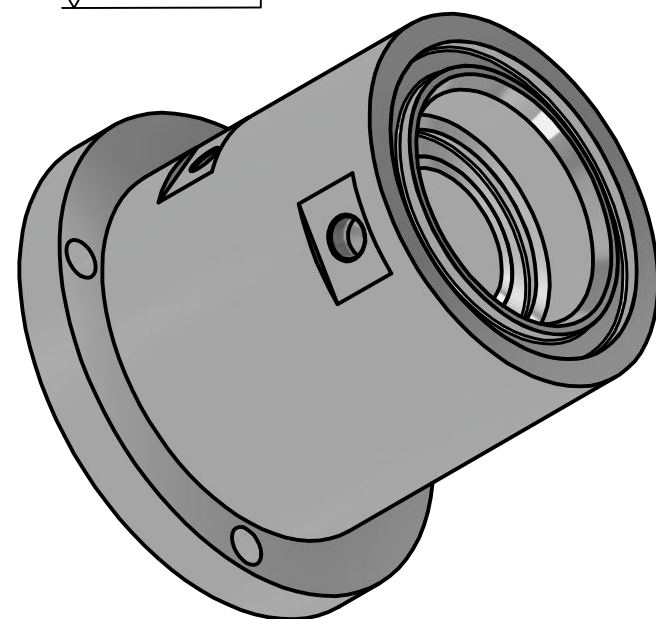
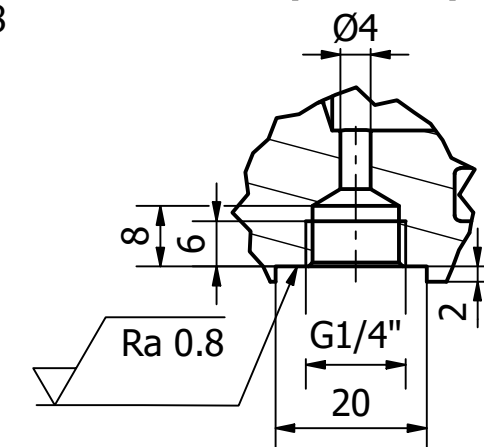
C (1 : 1)



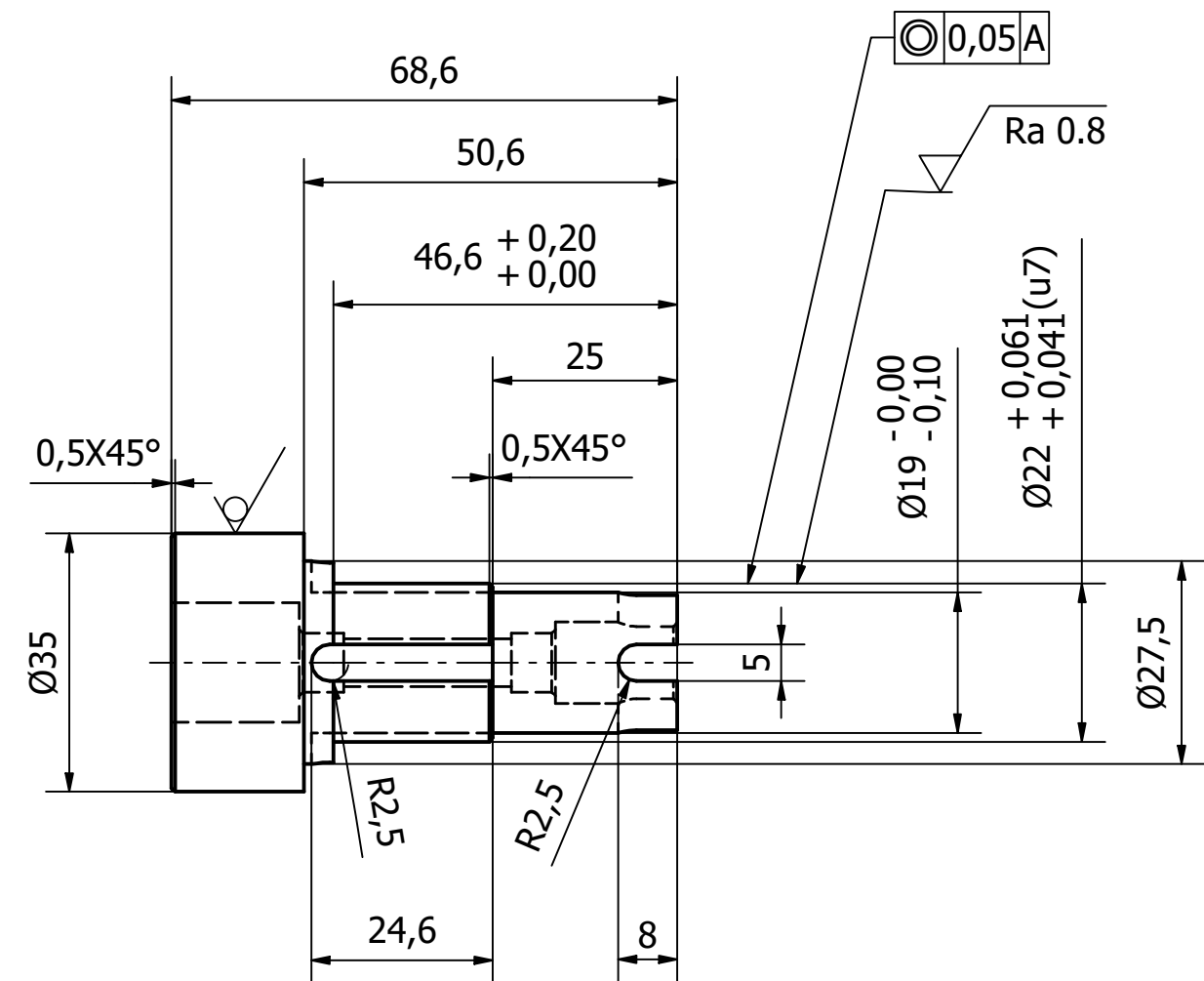
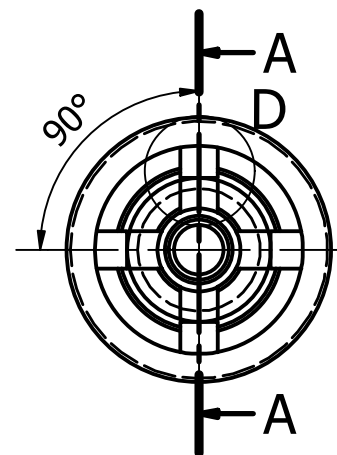
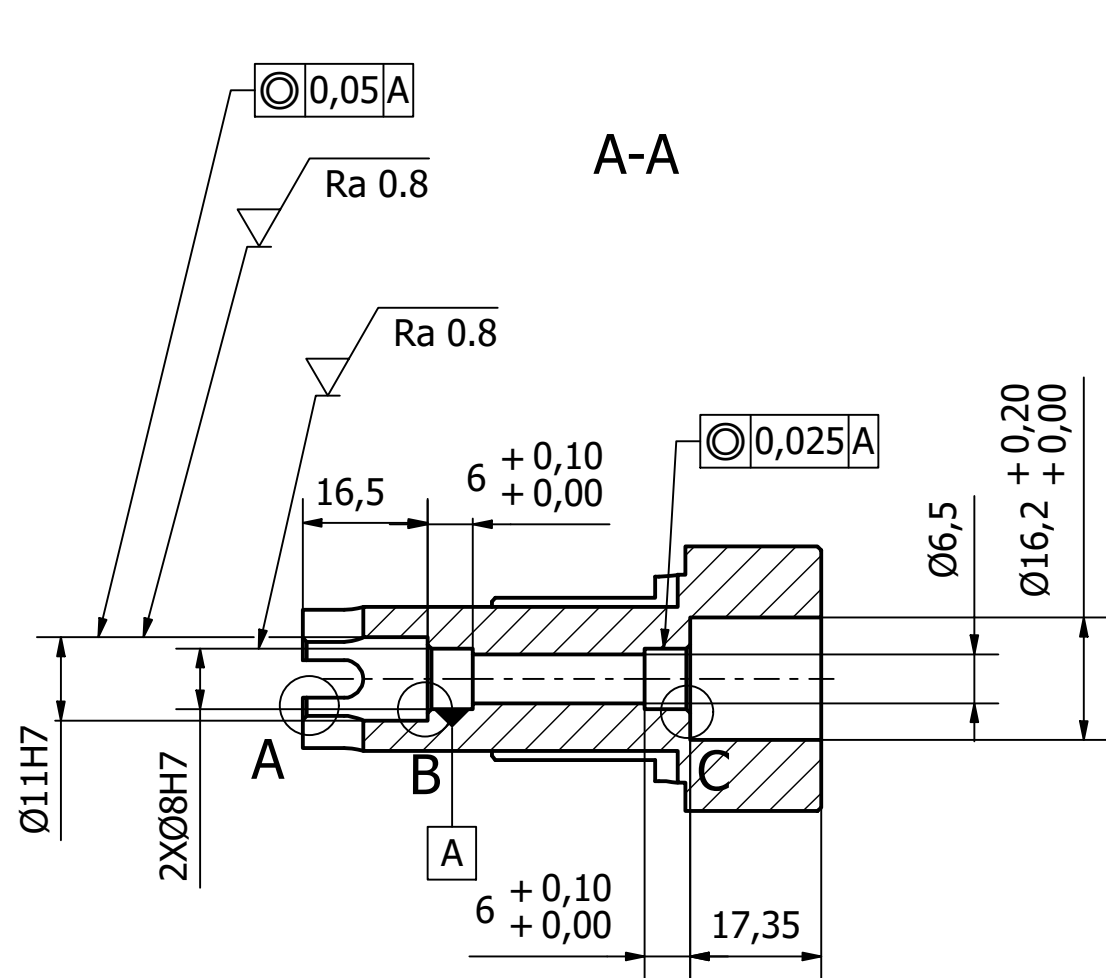
D (1 : 1)



E (1 : 1)



N0./Num. P008		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Cloche		Dessiné/Gezeichnet Cyril Pitteloud	04.07.2021	Echelle/Massstab 1:2
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Contrôlé/Geprüft FCO	05.07.2021	Feuille/Blatt A3
Hes·so VALAIS WALLIS		Révision/Änderung Cyril Pitteloud	07.08.2021	Page/Seite 1/1
Trait. de surface Titanox		Matière/Rohstoff Aluminium anticorodal		
Dimension - tol. Avant traitement				

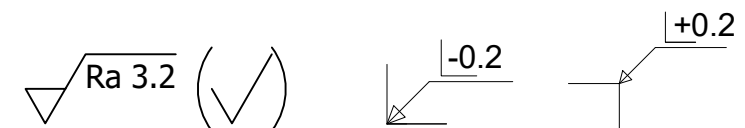
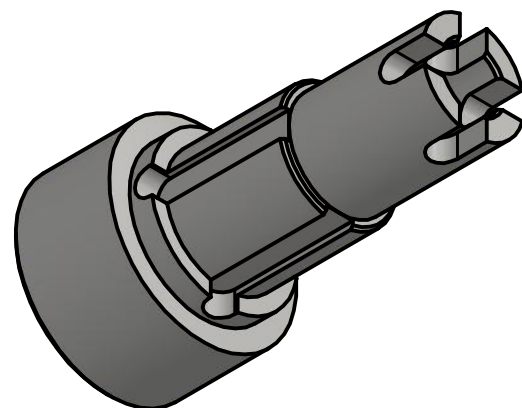
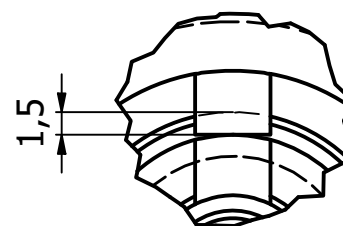
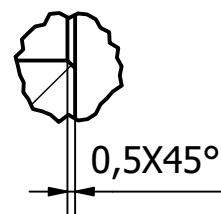
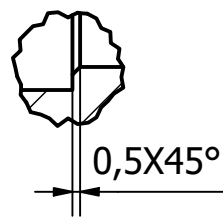
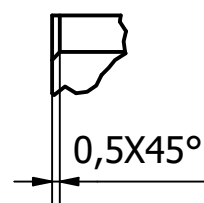


A (2 : 1)

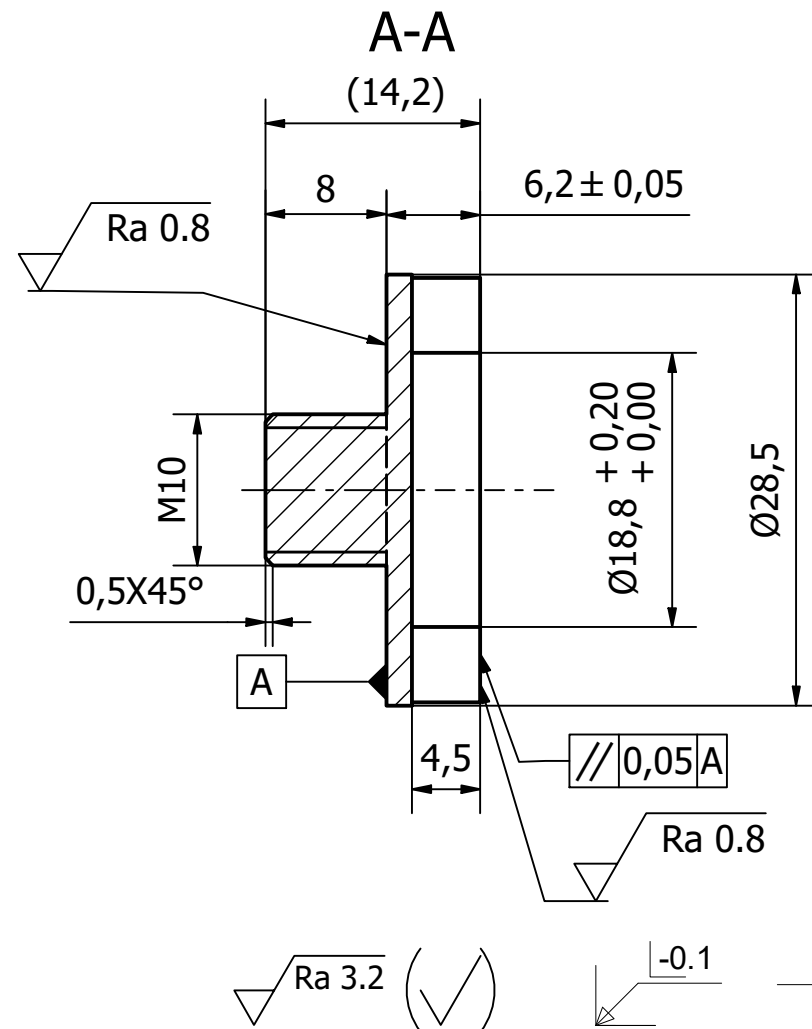
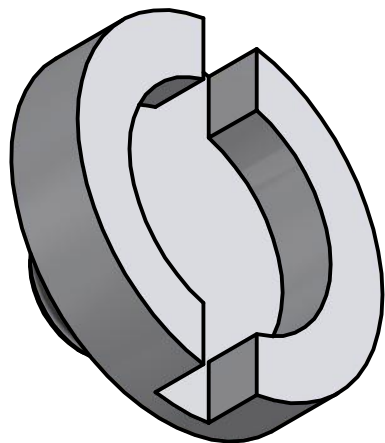
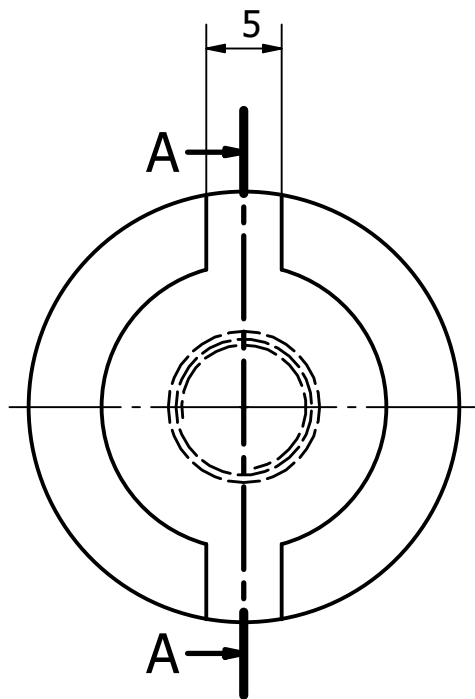
B (2 : 1)

C (2 : 1)

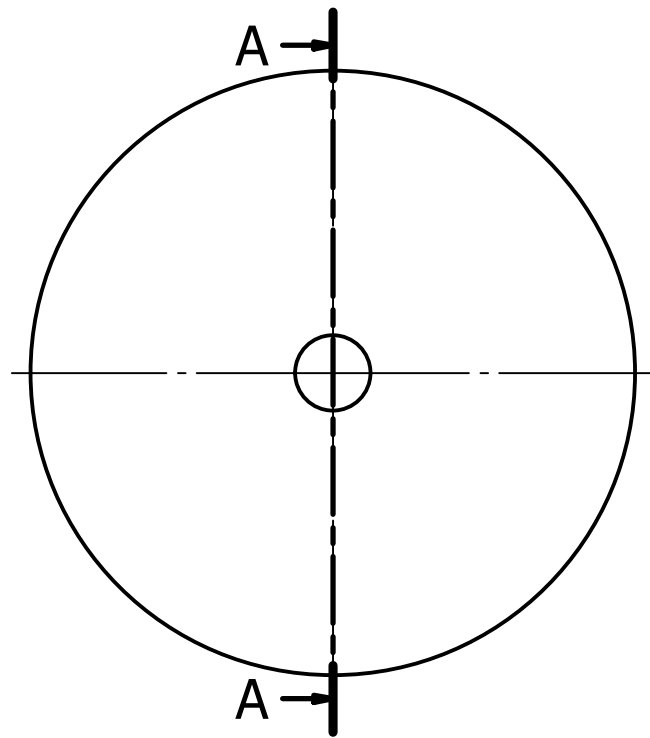
D (2 : 1)



N0./Num. P011		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Support circuit électronique		Dessiné/Gezeichnet	Cyril Pitteloud	07.07.2021
		Contrôlé/Geprüft	FCO	07.07.2021
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Révision/Änderung	Cyril Pitteloud	07.08.2021
		Matière/Rohstoff Acier inox		
Hes·so VALAIS WALLIS		Trait. de surface	-	-
		Dimension - tol.	-	-
				Echelle/Massstab 1:1
				Feuille/Blatt A3
				Page/Seite 1/1



N0./Num. P012		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Appui supérieur F985C		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	07.07.2021
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Contrôlé/ Geprüft	FCO	09.07.2021
		Révision/ Änderung	Cyril Pitteloud	07.08.2021
		Matière/Rohstoff PTFE		
Trait. de surface - Dimension - tol. -		Echelle/Massstab 2:1 Feuille/Blatt A4 Page/Seite 1/1		



Sans chanfrein !

// 0,05 A

Ra 0.8

Ra 0.8

Ø5

Ø40

▧ 0,05

A


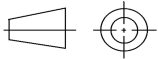
▧ 0,05

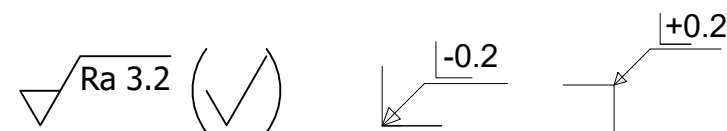
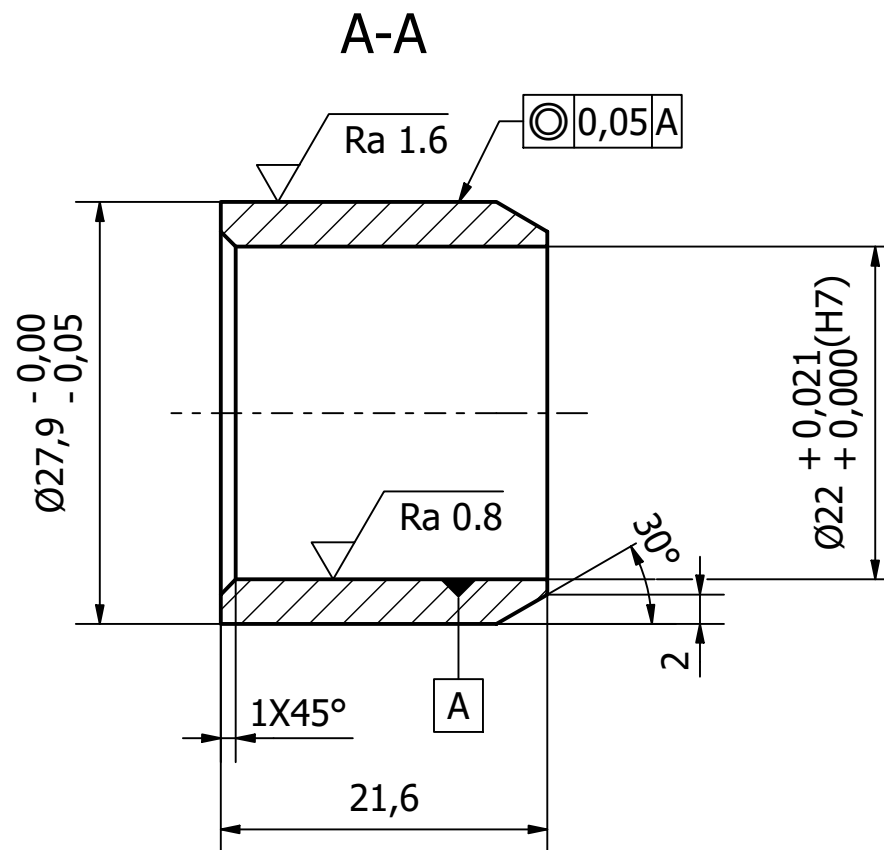
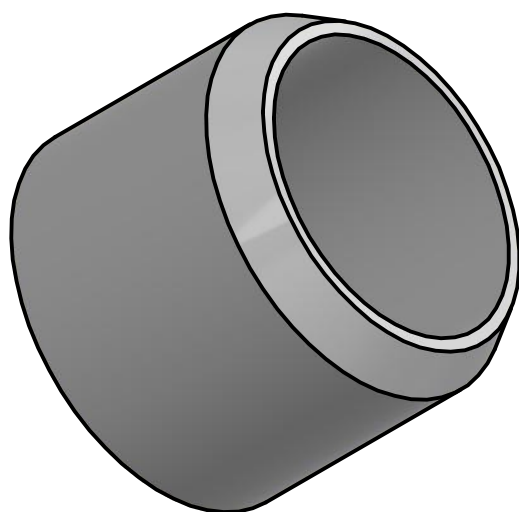
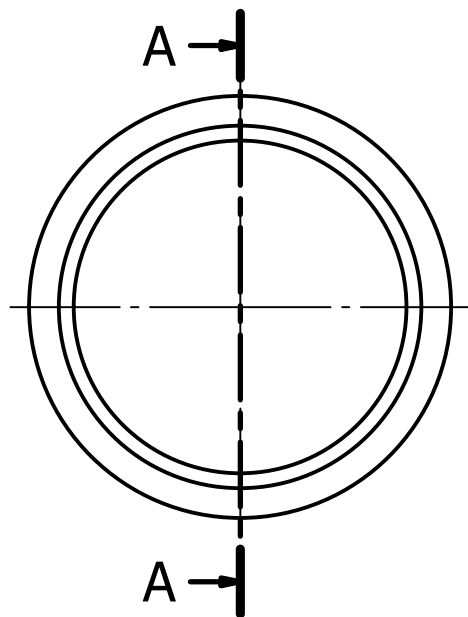
2

Ra 3.2 (✓)

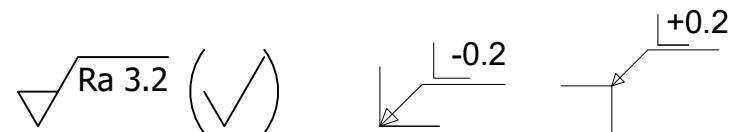
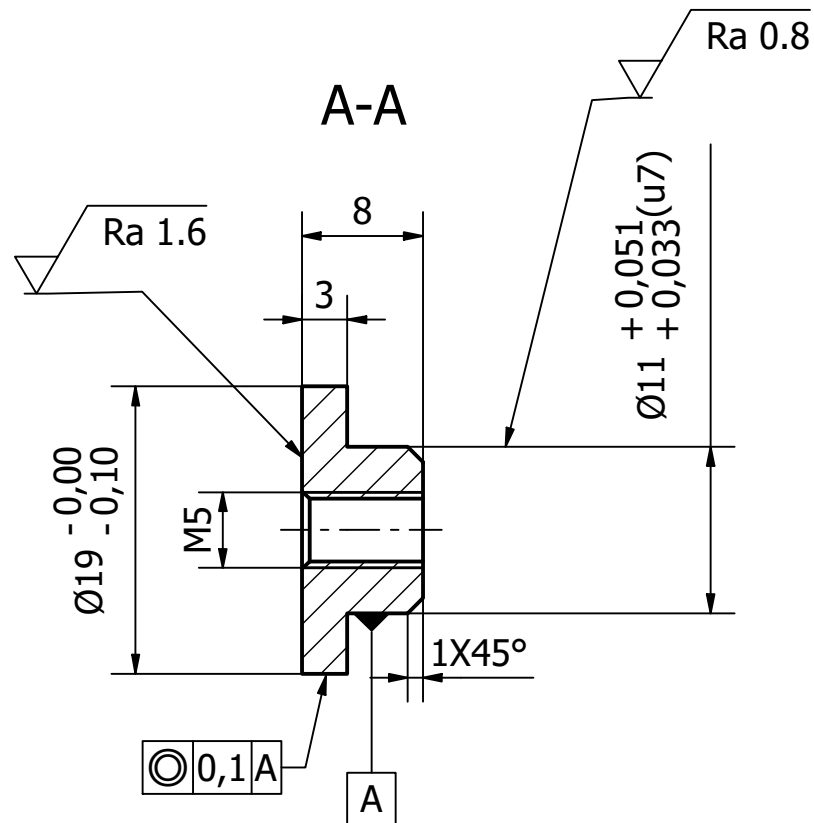
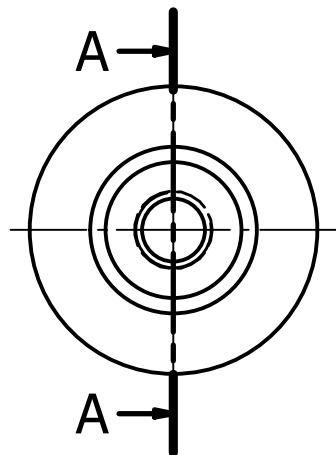
-0.1

+0.1

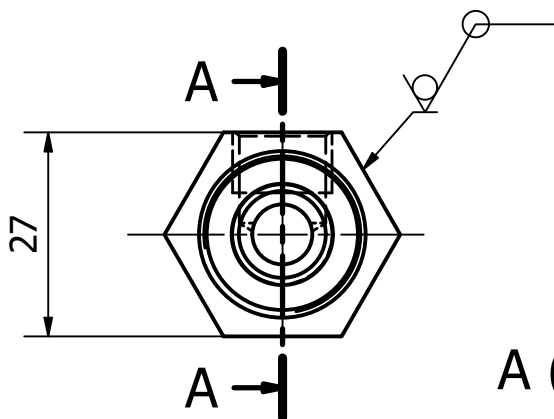
N0./Num. P014		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Assise du ressort		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	07.07.2021
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Contrôlé/ Geprüft	FCO	07.07.2021
		Révision/ Änderung	Cyril Pitteloud	07.08.2021
		Matière/Rohstoff Acier inox magnétique		
Trait. de surface - Dimension - tol. -		Echelle/Massstab 2:1 Feuille/Blatt A4  Page/Seite 1/1		



N0./Num. P015		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Douille support circuit électronique		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	07.07.2021
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Contrôlé/ Geprüft	FCO	09.07.2021
		Révision/ Änderung	-	-
		Matière/Rohstoff POM		
Trait. de surface - Dimension - tol. -		Echelle/Massstab 2:1 Feuille/Blatt A4 		
		Page/Seite 1/1		

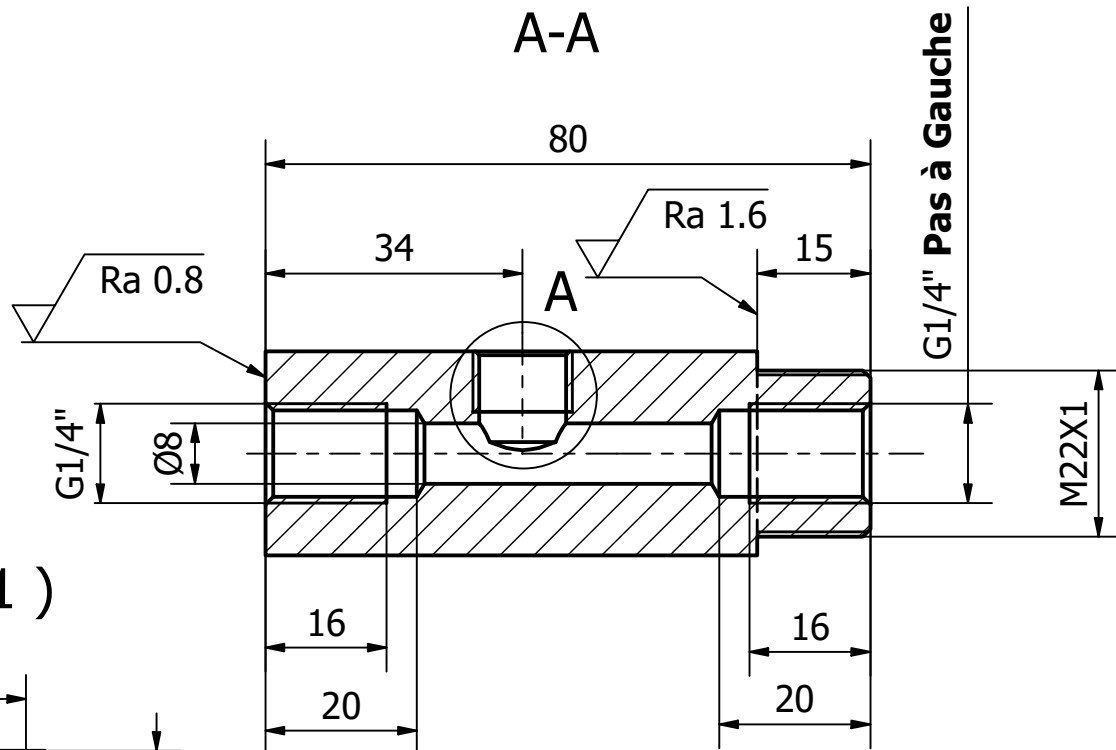
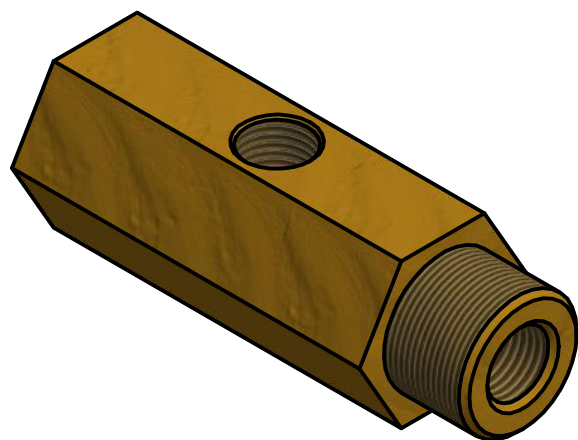
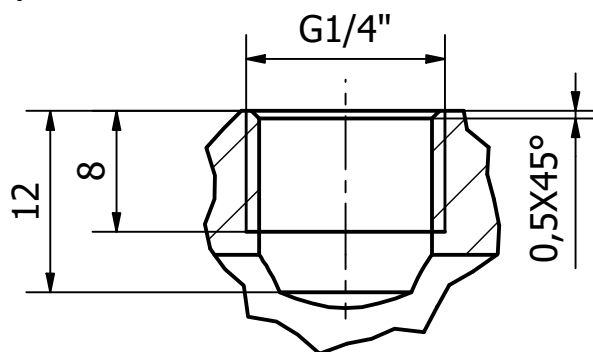


N0./Num. P019		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Appui circuit électronique		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	07.07.2021
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Contrôlé/ Geprüft	FCO	09.07.2021
		Révision/ Änderung	-	-
		Matière/Rohstoff POM		
Trait. de surface - Dimension - tol. -		Echelle/Massstab 2:1 Feuille/Blatt A4 		
		Page/Seite 1/1		



27

A (2 : 1)



A-A

80

34

Ra 1.6

15

G1/4" Pas à Gauche

M22X1

Ra 0.8

G1/4"

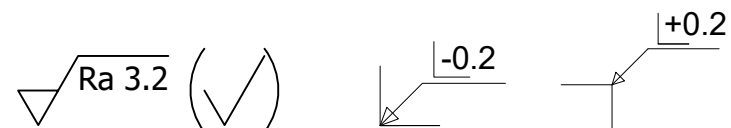
Ø8

16

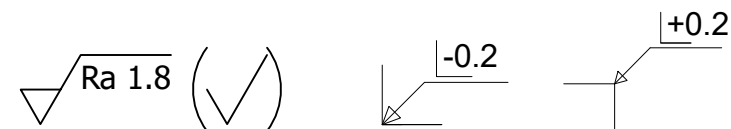
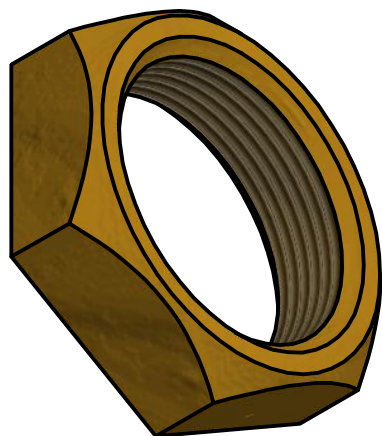
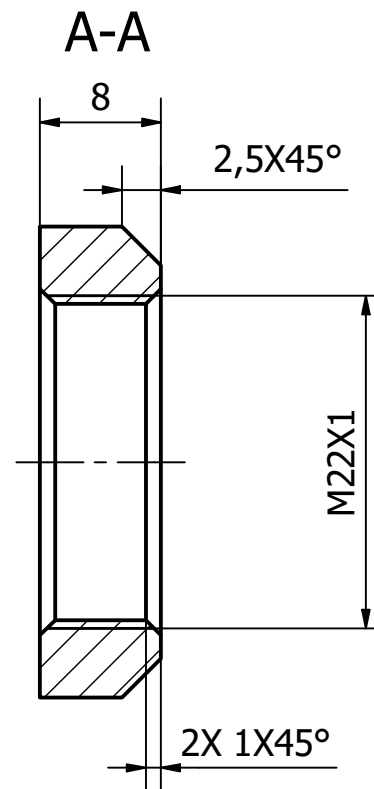
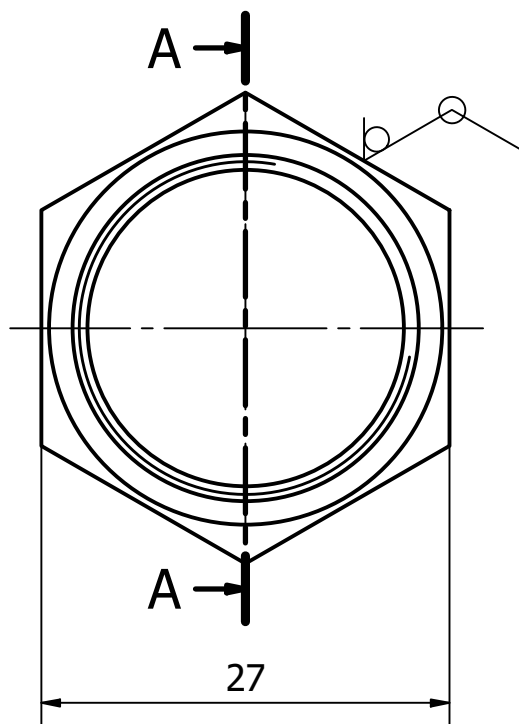
20


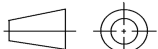
16

20



N0./Num. P037		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Passe-cloison 30 bar		Dessiné/ Gezeichnet Cyril Pitteloud	08.07.2021	Echelle/Massstab 1:1
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Contrôlé/ Geprüft FCO	09.07.2021	Feuille/Blatt A4
		Révision/ Änderung -	-	
Trait. de surface - Dimension - tol. -		Matière/Rohstoff Laiton		Page/Seite 1/1



N0./Num. P038		Projet/Projekt Banc de test 30 bar F985C		
Désignation/Bezeichnung Ecrou passe-cloison 30 bar		Dessiné/ Gezeichnet	Cyril Pitteloud	08.07.2021
Tolérance générales/Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Contrôlé/ Geprüft	FCO	09.07.2021
		Révision/ Änderung	-	-
		Matière/Rohstoff Laiton		
Trait. de surface - Dimension - tol. -		Echelle/Massstab 2:1 Feuille/Blatt A4  Page/Seite 1/1		

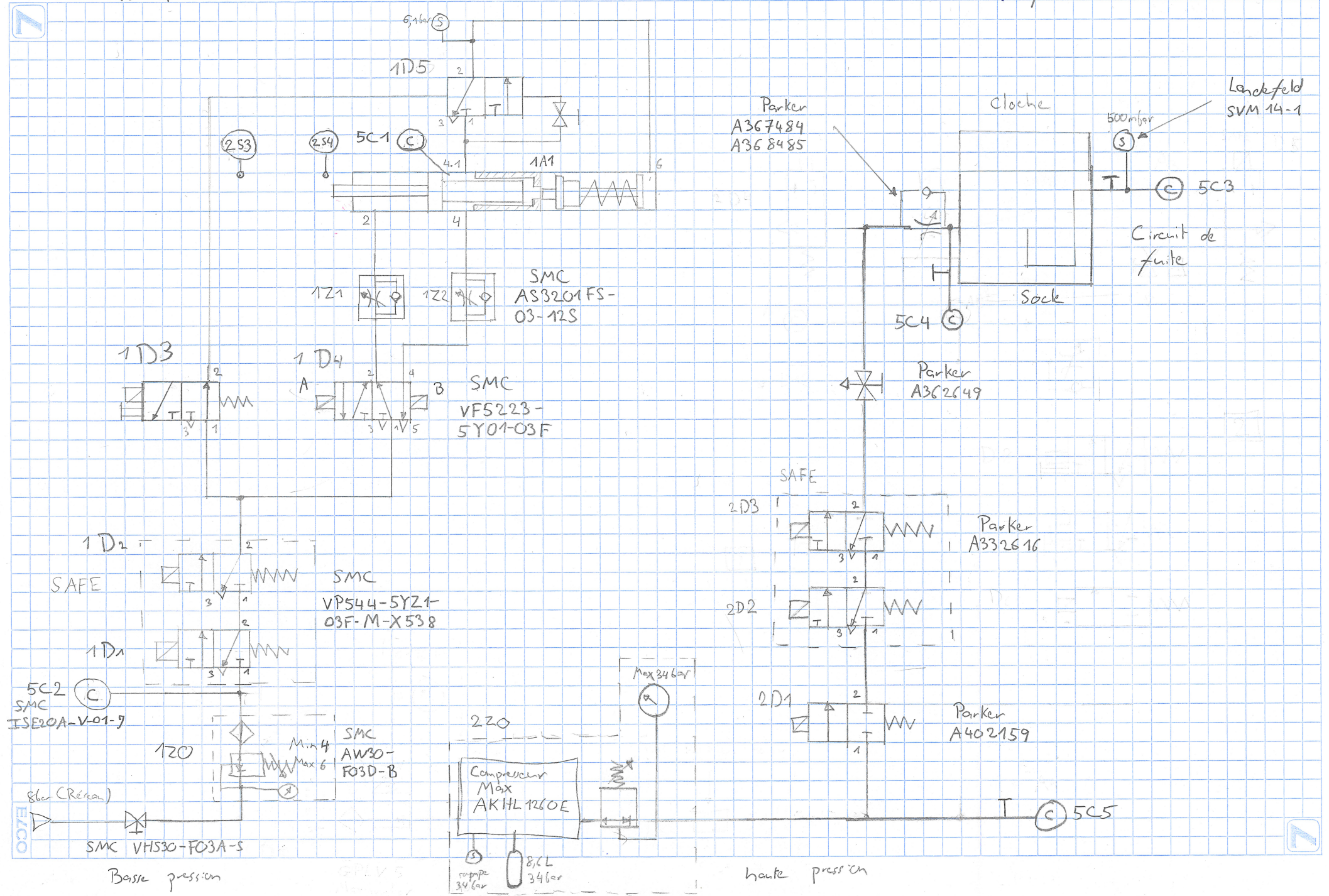
Annexe 6

Schémas pneumatiques

V. 1.4

18.08.21

Cyril P. Helaud

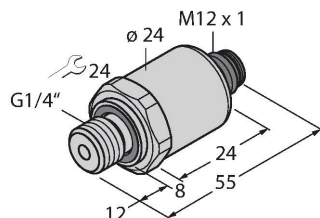


Annexe 7

Datasheet capteur de pression 40 bar

PT40R-1004-I2-H1141

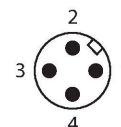
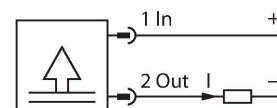
Transmetteur de pression – avec sortie de courant (2 fils)



Caractéristiques

- Capteur céramique
- Construction compacte et robuste
- Caractéristiques CEM excellentes
- plage de pression 0 ... 40 bar rel.
- 7...33 VDC
- sortie analogique 4...20 mA
- Raccordement au processus G1/4", filetage extérieur (DIN 3852-E)
- Appareil avec connecteur, M12 × 1

Schéma de raccordement



Principe de fonctionnement

Les capteurs de pression de la série PT...-1000 fonctionnent avec une cellule de mesure en céramique dans différentes plages de pression de maximum -1...60 bar dans la technique à 2, 3 ou même 4 conducteurs. En fonction de la variante de détecteur, le signal transformé est disponible comme sortie analogique (4...20 mA, 0...10 V, 0...5 V, 1...6 V, ratiométrique) ou comme paramètre de service numérique IO-Link. Les variantes de détecteur IO-Link sont également dotées de deux sorties de commutation configurables indépendamment les unes des autres. Outre les variantes standard, il existe des capteurs spéciaux pour la zone ATEX ou pour les applications à oxygène. Une multitude de raccordements au processus et de connexions électriques offre une grande flexibilité dans les domaines d'application les plus divers.

Données techniques

Type	PT40R-1004-I2-H1141
N° d'identification	6836500
Température du milieu	-40...+125 °C
Plage de pression:	
Pression relative bar	0...40 bar rel.
	0...580.15 psi
	0...4 MPa
Surpression admissible	≤ 120 bar
Pression d'éclatement	≥ 120 bar
Temps de réponse	< 2 ms, typ. 1 ms
Stabilité à long terme	± 0.25 % FS, suivant IEC EN 60770-1
Alimentation	
Tension de service	7...33 VDC
courant absorbé	≤ 23 mA
Protection contre les courts-circuits/inversions de polarité	oui / oui
Classe de protection	III
Sortie 1	Sortie analogique
Fonction de sortie	Sortie analogique courant
Sortie analogique	
Sortie de courant	4...20 mA
Charge	≤ (tension d'alimentation - 7) / 20 kΩ
Résolution	<± 0.1 % FS
Précision LHR	± 0.3 % FS BSL
Matériau de boîtier	acier inoxydable/plastique, 1.4404 (AISI 316L) / polyacrylamide 50 % GF UL 94 V-0
Raccord de processus	G 1/4" filetage extérieur

Données techniques

Matériau raccordement de pression	acier inoxydable 1.4404 (AISI 316L)
Matériau capteur de pression	céramique Al_2O_3
Matériau joint d'étanchéité	FPM spez.
Clé raccordement de la pression/écrou de serrage	24
Couple de serrage max. de l'écrou de boîtier	20 Nm
Raccordement électrique	Connecteur, M12 × 1
Mode de protection	IP67
Température ambiante	-30...+85 °C
Température de stockage	-50...+100 °C
Résistance aux chocs	100 g, 11 ms, courbe demi-sinusoïdal, tous les 6 sens, chute libre de 1 m sur béton (6x) , suivant IEC 68-2-27
Résistance aux vibrations	20 g, 15...2 000 Hz, 15...25 Hz avec une amplitude de +/- 15 mm, 1 octave/minute dans les 3 directions, 50 charges permanentes
Homologations	UL
Conditions de référence suivant CEI 61298-1	
température	15...+25 °C
Pression d'air	860...1060 hPa abs.
humidité de l'air	45...75 % rel.
Energie auxiliaire	24 VDC
Comportement de température	
MTTF	1189 Années suivant SN 29500 (Ed. 99) 40 °C
Fait partie de la livraison	Joint profilé spécial en FKM (1 pièce)

Données techniques

Type	PT40R-1004-I2-H1141
N° d'identification	6836500
Plage de pression:	
Pression relative bar	0...40 bar rel.
	0...580.15 psi
	0...4 MPa
Surpression admissible	≤ 120 bar
Pression d'éclatement	≥ 120 bar
Temps de réponse	< 2 ms, typ. 1 ms
Stabilité à long terme	0.25 % FS, suivant IEC EN 60770-1
Alimentation	
Tension de service	7...33 VDC
courant absorbé	≤ 23 mA

Données techniques

Protection contre les courts-circuits/inversions de polarité	oui / oui
Mode et classe de protection	IP67 / III
Tension d'isolement	750 VDC
Sorties	
Sortie 1	Sortie analogique
Fonction de sortie	Sortie analogique courant
Sortie analogique	
Sortie de courant	4...20 mA
Charge	≤ (tension d'alimentation -7) / 20 kΩ
Résolution	<± 0.1 % FS
Précision LHR	± 0.3 % FS BSL
Comportement de température	
Température du milieu	-40...+125 °C
Coefficient de température	± 0.2 % de la valeur finale / 10 K
Conditions ambiantes	
Température ambiante	-30...+85 °C
Température de stockage	-50...+100 °C
Résistance aux vibrations	20 g, 15...2 000 Hz, 15...25 Hz avec une amplitude de +/- 15 mm, 1 octave/mi-nute dans les 3 directions, 50 charges permanentes, suivant IEC 68-2-6
Résistance aux chocs	100 g, 11 ms, courbe demi-sinusoidal, tous les 6 sens, chute libre de 1 m sur béton (6x) , suivant IEC 68-2-27
Boîtier	
Matériau de boîtier	acier inoxydable/plastique, 1.4404 (AISI 316L) / polyacrylamide 50 % GF UL 94 V-0
Matériau raccordement de pression	acier inoxydable 1.4404 (AISI 316L)
Matériau capteur de pression	céramique Al ₂ O ₃
Matériau joint d'étanchéité	FPM spez.
Raccord de processus	G 1/4" filetage extérieur
Clé raccordement de la pression/écrou de serrage	24
Raccordement électrique	Connecteur, M12 × 1
Couple de serrage max. de l'écrou de boîtier	20 Nm
Conditions de référence suivant CEI 61298-1	
température	15...+25 °C
Pression d'air	860...1060 hPa abs.
humidité de l'air	45...75 % rel.
Energie auxiliaire	24 VDC
Homologations	UL

Données techniques

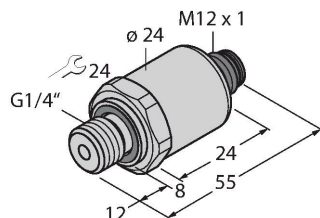
MTTF	1189 Années suivant SN 29500 (Ed. 99) 40 °C
Fait partie de la livraison	Joint profilé spécial en FKM (1 pièce)

Annexe 8

Datasheet capteur de pression
250 mbar

PT0.25R-1004-I2-H1141

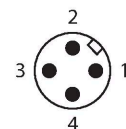
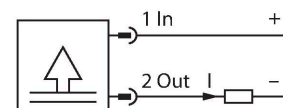
Transmetteur de pression – avec sortie de courant (2 fils)



Caractéristiques

- Capteur céramique
- Construction compacte et robuste
- Caractéristiques CEM excellentes
- plage de pression 0 ... 0.25 bar rel.
- 7...33 VDC
- sortie analogique 4...20 mA
- Raccordement au processus G1/4", filetage extérieur (DIN 3852-E)
- Appareil avec connecteur, M12 × 1

Schéma de raccordement



Données techniques

Type	PT0.25R-1004-I2-H1141
N° d'identification	100002000
Température du milieu	-40...+125 °C
Plage de pression:	
Pression relative bar	0...0.25 bar rel.
	0...3.63 psi
	0...0.025 MPa
Surpression admissible	≤ 3 bar
Pression d'éclatement	≥ 3 bar
Temps de réponse	< 2 ms, typ. 1 ms
Stabilité à long terme	± 0.25 % FS, suivant IEC EN 60770-1
Alimentation	
Tension de service	7...33 VDC
courant absorbé	≤ 23 mA
Protection contre les courts-circuits/inversions de polarité	oui / oui
Classe de protection	III
Sortie 1	Sortie analogique
Fonction de sortie	Sortie analogique courant
Sortie analogique	
Sortie de courant	4...20 mA
Charge	≤ (tension d'alimentation - 7) / 20 kΩ
Résolution	<± 0.1 % FS
Précision LHR	± 1.2 % FS BSL
Matériau de boîtier	acier inoxydable/plastique, 1.4404 (AISI 316L) / polyacrylamide 50 % GF UL 94 V-0
Raccord de processus	G 1/4" filetage extérieur

Principe de fonctionnement

Les capteurs de pression de la série PT...-1000 fonctionnent avec une cellule de mesure en céramique dans différentes plages de pression de maximum -1...60 bar dans la technique à 2, 3 ou même 4 conducteurs. En fonction de la variante de détecteur, le signal transformé est disponible comme sortie analogique (4...20 mA, 0...10 V, 0...5 V, 1...6 V, ratiométrique) ou comme paramètre de service numérique IO-Link. Les variantes de détecteur IO-Link sont également dotées de deux sorties de commutation configurables indépendamment les unes des autres. Outre les variantes standard, il existe des capteurs spéciaux pour la zone ATEX ou pour les applications à oxygène. Une multitude de raccords au processus et de connexions électriques offre une grande flexibilité dans les domaines d'application les plus divers.

Données techniques

Matériau raccordement de pression	acier inoxydable 1.4404 (AISI 316L)
Matériau capteur de pression	céramique Al_2O_3
Matériau joint d'étanchéité	FPM spez.
Clé raccordement de la pression/écrou de serrage	24
Couple de serrage max. de l'écrou de boîtier	20 Nm
Raccordement électrique	Connecteur, M12 × 1
Mode de protection	IP67
Température ambiante	-30...+85 °C
Température de stockage	-50...+100 °C
Résistance aux chocs	100 g, 11 ms, courbe demi-sinusoïdal, tous les 6 sens, chute libre de 1 m sur béton (6x) , suivant IEC 68-2-27
Résistance aux vibrations	20 g, 15...2 000 Hz, 15...25 Hz avec une amplitude de +/- 15 mm, 1 octave/minute dans les 3 directions, 50 charges permanentes
Homologations	UL
Conditions de référence suivant CEI 61298-1	
température	15...+25 °C
Pression d'air	860...1060 hPa abs.
humidité de l'air	45...75 % rel.
Energie auxiliaire	24 VDC
Comportement de température	
MTTF	1189 Années suivant SN 29500 (Ed. 99) 40 °C
Fait partie de la livraison	Joint profilé spécial en FKM (1 pièce)

Données techniques

Type	PT0.25R-1004-I2-H1141
N° d'identification	100002000
Plage de pression:	
Pression relative bar	0...0.25 bar rel.
	0...3.63 psi
	0...0.025 MPa
Surpression admissible	≤ 3 bar
Pression d'éclatement	≥ 3 bar
Temps de réponse	< 2 ms, typ. 1 ms
Stabilité à long terme	0.25 % FS, suivant IEC EN 60770-1
Alimentation	
Tension de service	7...33 VDC
courant absorbé	≤ 23 mA

Données techniques

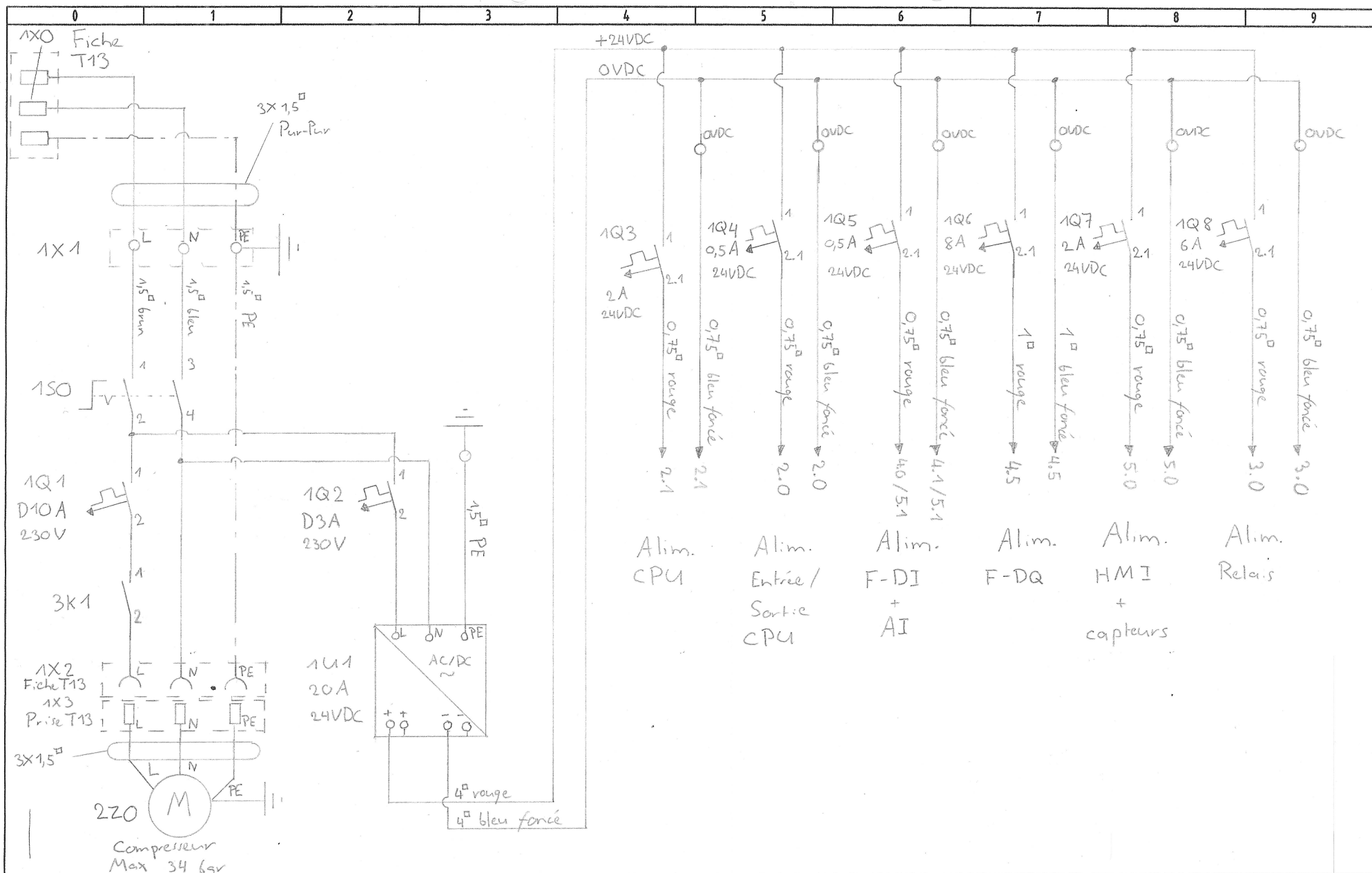
Protection contre les courts-circuits/inversions de polarité	oui / oui
Mode et classe de protection	IP67 / III
Tension d'isolement	750 VDC
Sorties	
Sortie 1	Sortie analogique
Fonction de sortie	Sortie analogique courant
Sortie analogique	
Sortie de courant	4...20 mA
Charge	≤ (tension d'alimentation -7) / 20 kΩ
Résolution	<± 0.1 % FS
Précision LHR	± 1.2 % FS BSL
Comportement de température	
Température du milieu	-40...+125 °C
Coefficient de température	± 0.2 % de la valeur finale / 10 K
Conditions ambiantes	
Température ambiante	-30...+85 °C
Température de stockage	-50...+100 °C
Résistance aux vibrations	20 g, 15...2 000 Hz, 15...25 Hz avec une amplitude de +/- 15 mm, 1 octave/mi-nute dans les 3 directions, 50 charges permanentes, suivant IEC 68-2-6
Résistance aux chocs	100 g, 11 ms, courbe demi-sinusoidal, tous les 6 sens, chute libre de 1 m sur béton (6x) , suivant IEC 68-2-27
Boîtier	
Matériau de boîtier	acier inoxydable/plastique, 1.4404 (AISI 316L) / polyacrylamide 50 % GF UL 94 V-0
Matériau raccordement de pression	acier inoxydable 1.4404 (AISI 316L)
Matériau capteur de pression	céramique Al ₂ O ₃
Matériau joint d'étanchéité	FPM spez.
Raccord de processus	G 1/4" filetage extérieur
Clé raccordement de la pression/écrou de serrage	24
Raccordement électrique	Connecteur, M12 × 1
Couple de serrage max. de l'écrou de boîtier	20 Nm
Conditions de référence suivant CEI 61298-1	
température	15...+25 °C
Pression d'air	860...1060 hPa abs.
humidité de l'air	45...75 % rel.
Energie auxiliaire	24 VDC
Homologations	UL

Données techniques

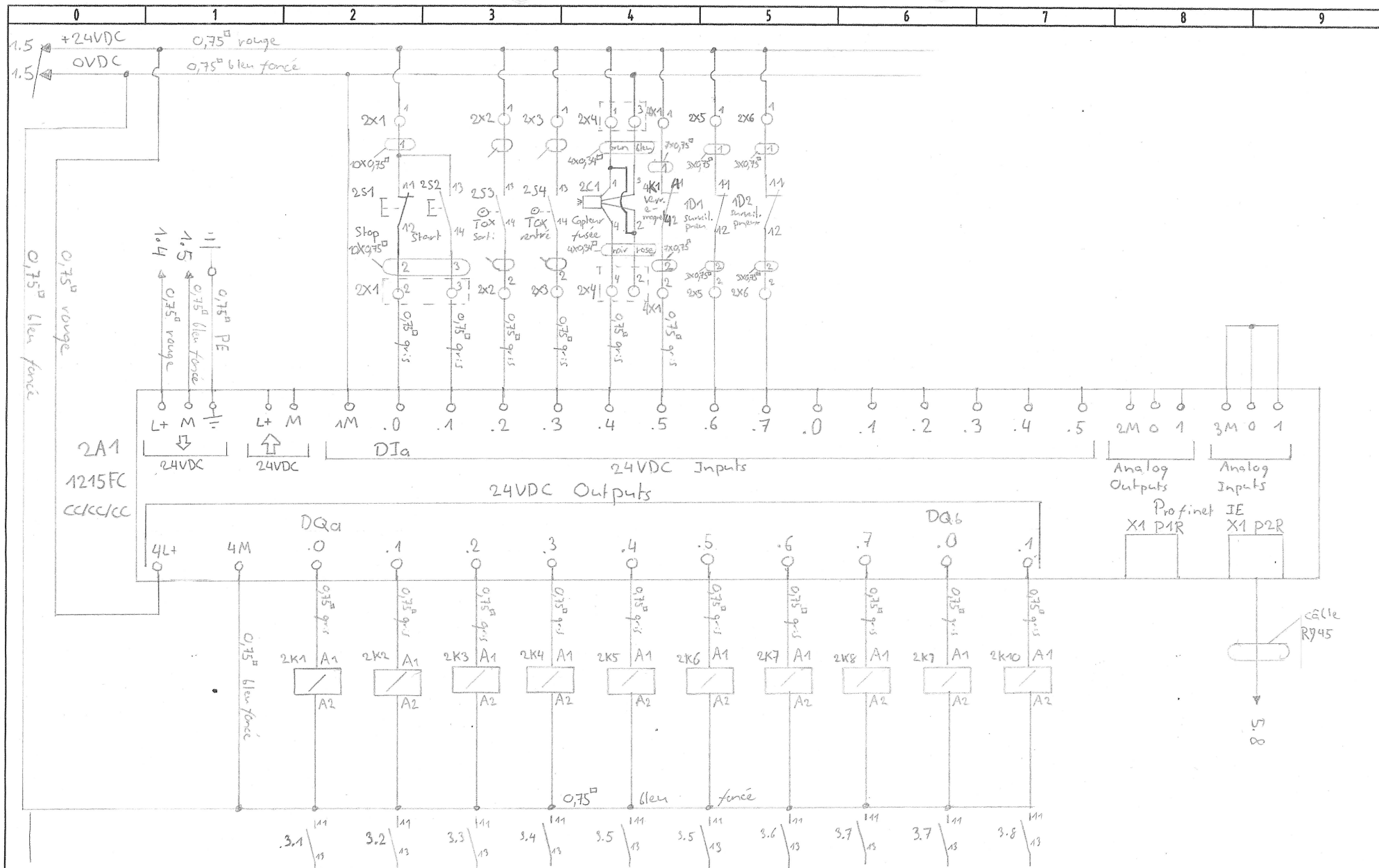
MTTF	1189 Années suivant SN 29500 (Ed. 99) 40 °C
Fait partie de la livraison	Joint profilé spécial en FKM (1 pièce)

Annexe 9

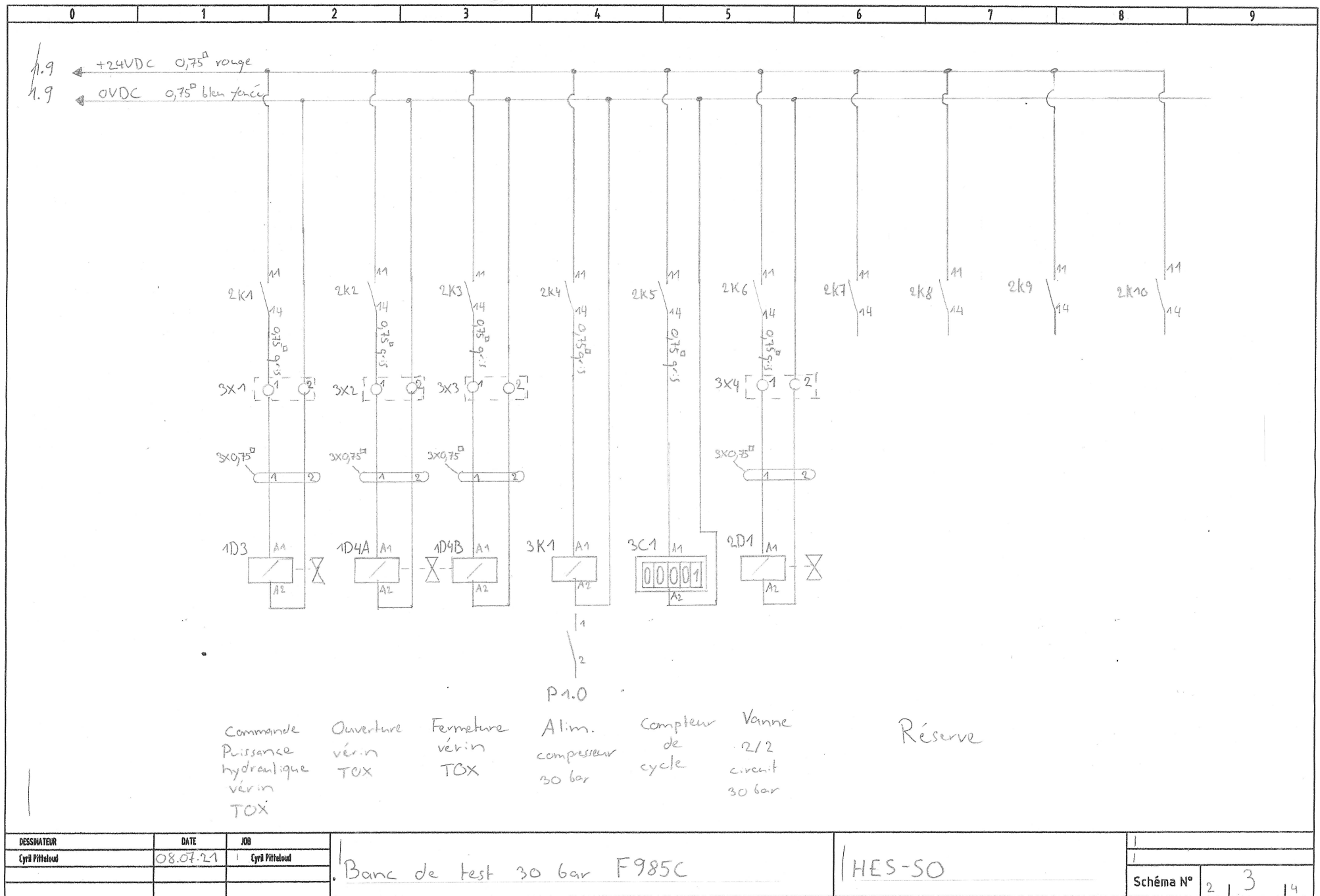
Schémas électriques

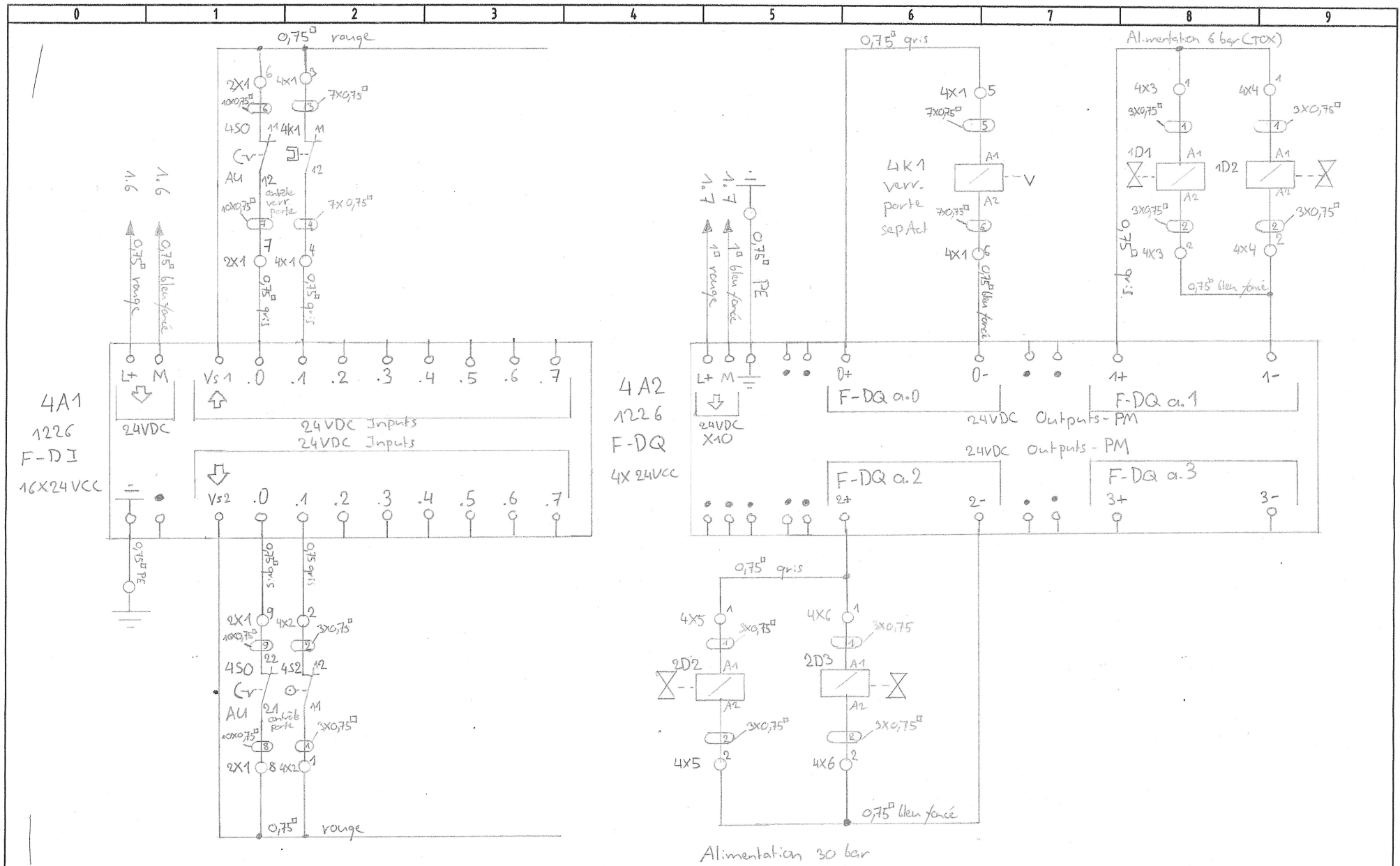


DESSINATEUR	DATE	JOB		
Cyril Pitheloud	08.07.24	Cyril Pitheloud	Banc de test 30 bar F985C	
			HES-SO	
			Schéma N°	1 2



DESSINATEUR	DATE	JOB			
Cyril Pitheloud	08.07.21	Cyril Pitheloud	Banc de test 30 bar F985C		HES-SO
					Schéma N° 1 2 3



























































DESSINATEUR	DATE	JOB
Cyril Pitheloud	08.07.21	Cyril Pitheloud

Banc de test 30 bar F985C

HES-SO	Schéma N°	3 4 15
--------	-----------	------------

Annexe 10

Programme de l'automate

Totally Integrated Automation Portal			
Table de variables standard [112]			
Variables API			
Icon	Nom	Type de données	Adresse
	AlarmWord1	Word	%MW1000
	AlarmWord1_bit_0	Bool	%M1001.0
	Compresseur_30bar_Oe	Bool	%Q0.3
	Compresseur_30bar_Oe_Pa_Bp	Bool	%M200.3
	Cycle_Auto	Bool	%M0.0
	Cycle_Compt_incr	Bool	%Q0.4
	Cycle_Défaut_Fuite	Bool	%M400.1
	Cycle_Start_Bp	Bool	%I0.1
	Cycle_Stop_Bp	Bool	%I0.0
	Distrib_1_6bar_Ouvert_Fc	Bool	%I0.6
	Distrib_2_6bar_Ouvert_Fc	Bool	%I0.7
	Porte_Verr_Fc	Bool	%I0.5
	Presse_Fer_Fc	Bool	%I0.2
	Presse_Fermer_Oe	Bool	%Q0.2
	Presse_Fermer_Oe_Pa_Bp	Bool	%M200.2
	Presse_HP_Oe_Pa_Bp	Bool	%M200.6
	Presse_Hydr_Oe	Bool	%Q0.0
	Presse_Hydr_Oe_Pa_Bp	Bool	%M200.0
	Presse_Ouv_Fc	Bool	%I0.3
	Presse_Ouvrir_Libération	Bool	%M400.0
	Presse_Ouvrir_Oe	Bool	%Q0.1
	Presse_P_Air_6bar_Mes	Int	%IW130
	Presse_P_Air_6bar_Mes_bar	Real	%MD104
	Presse_P_Air_6bar_Mes_Norm	Real	%MD100
	Presse_P_Alim_30bar_Mes	Int	%IW136
	Presse_P_Alim_30bar_Mes_bar	Real	%MD136
	Presse_P_Alim_30bar_Mes_Norm	Real	%MD132
	Presse_P_Cloche_Contr_OK	Bool	%M150.2
	Presse_P_Cloche_liber_Ouvr	Bool	%M150.0
	Presse_P_Cloche_Mes	Int	%IW134
	Presse_P_Cloche_Mes_bar	Real	%MD128
	Presse_P_Cloche_Mes_Norm	Real	%MD124
	Presse_P_Fuite_Mes	Int	%IW132
	Presse_P_Fuite_Mes_mbar	Real	%MD120
	Presse_P_Fuite_Mes_Norm	Real	%MD116
	Presse_P_Fuite_OK	Bool	%M150.3
	Presse_P_Hydr_Mes	Int	%IW128
	Presse_P_Hydr_Mes_bar	Real	%MD112
	Presse_P_Hydr_Mes_Norm	Real	%MD108
	Presse_P_Hydr_Pverr_OK	Bool	%M150.1
	Presse_Pièce_Fc	Bool	%I0.4
	Presse_Van_2/2_30bar_Oe	Bool	%Q0.5
	Presse_Van_2/2_30bar_Oe_Pa_Bp	Bool	%M200.4
	Quittance_Gen_Pa_Bp	Bool	%M400.2
	Safe_Alim_6bar_ordre_Ouv	Bool	%Q17.1
	Safe_Alim_30bar_ordre_Ouv	Bool	%Q17.2
	Safe_AU_Canal1	Bool	%I8.0
	Safe_AU_Canal2	Bool	%I9.0
	Safe_porte_Ordre_dev	Bool	%Q17.0
	Safe_porte_Ordre_dev_M	Bool	%M500.1
	Safe_porte_ouv_FC	Bool	%I9.1
	Safe_porte_verr_FC	Bool	%I8.1
	Safe_Rdy_to_operate	Bool	%M500.4
	Safe_Rdy_to_operate_Temp	Bool	%M500.5
	Step_0	Bool	%M300.0
	Step_0_Trg_Set	Bool	%M305.0
	Step_1	Bool	%M300.1
	Step_2	Bool	%M300.2
	Step_3	Bool	%M300.3

Totally Integrated Automation Portal								
<div>Sommaire</div> <table><tr><td>Main [OB1]</td><td>2 - 1</td></tr><tr><td>Sequence [FB2]</td><td>3 - 1</td></tr><tr><td>Main_Safety_RTG1 [FB1]</td><td>4 - 1</td></tr></table>			Main [OB1]	2 - 1	Sequence [FB2]	3 - 1	Main_Safety_RTG1 [FB1]	4 - 1
Main [OB1]	2 - 1							
Sequence [FB2]	3 - 1							
Main_Safety_RTG1 [FB1]	4 - 1							

Main [OB1]

Main Propriétés							
Général							
Nom	Main	Numéro	1	Type	OB	Langage	LOG
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre	"Main Program Sweep (Cycle)"	Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Nom	Type de données	Valeur par déf.
▼ Input		
Initial_Call	Bool	
Remanence	Bool	
Temp		
▼ Constant		
Cte27648	Word	27648
Cte0_Int	Word	0
Cte10_R	Real	10.0
Cte0_R	Real	0.0
Cte250_R	Real	250.0
Cte40_R	Real	40.0
Cte400_R	Real	400.0

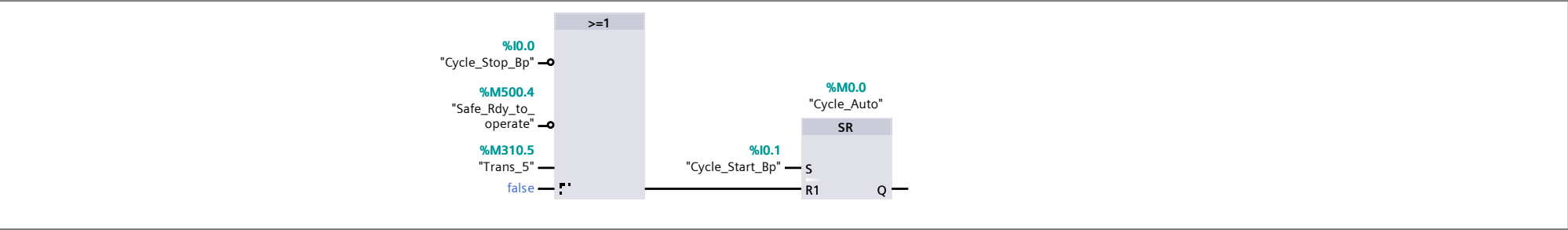
Réseau 1 : Appel séquence



Réseau 2 : Appel FB Alarmes



Réseau 3 : Start cycle

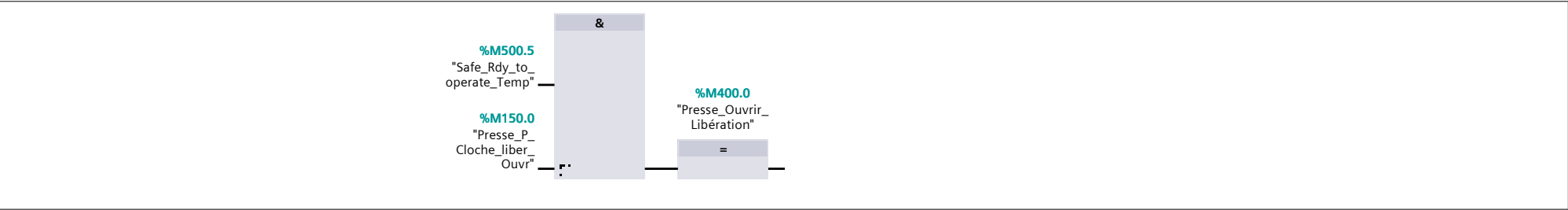


Réseau 4 : Memorisation défaut/Fuite

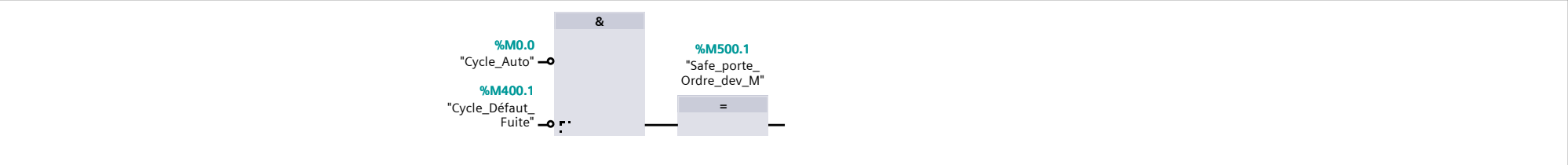


Réseau 5 : Gestion des arrêt d'urgence sous pression

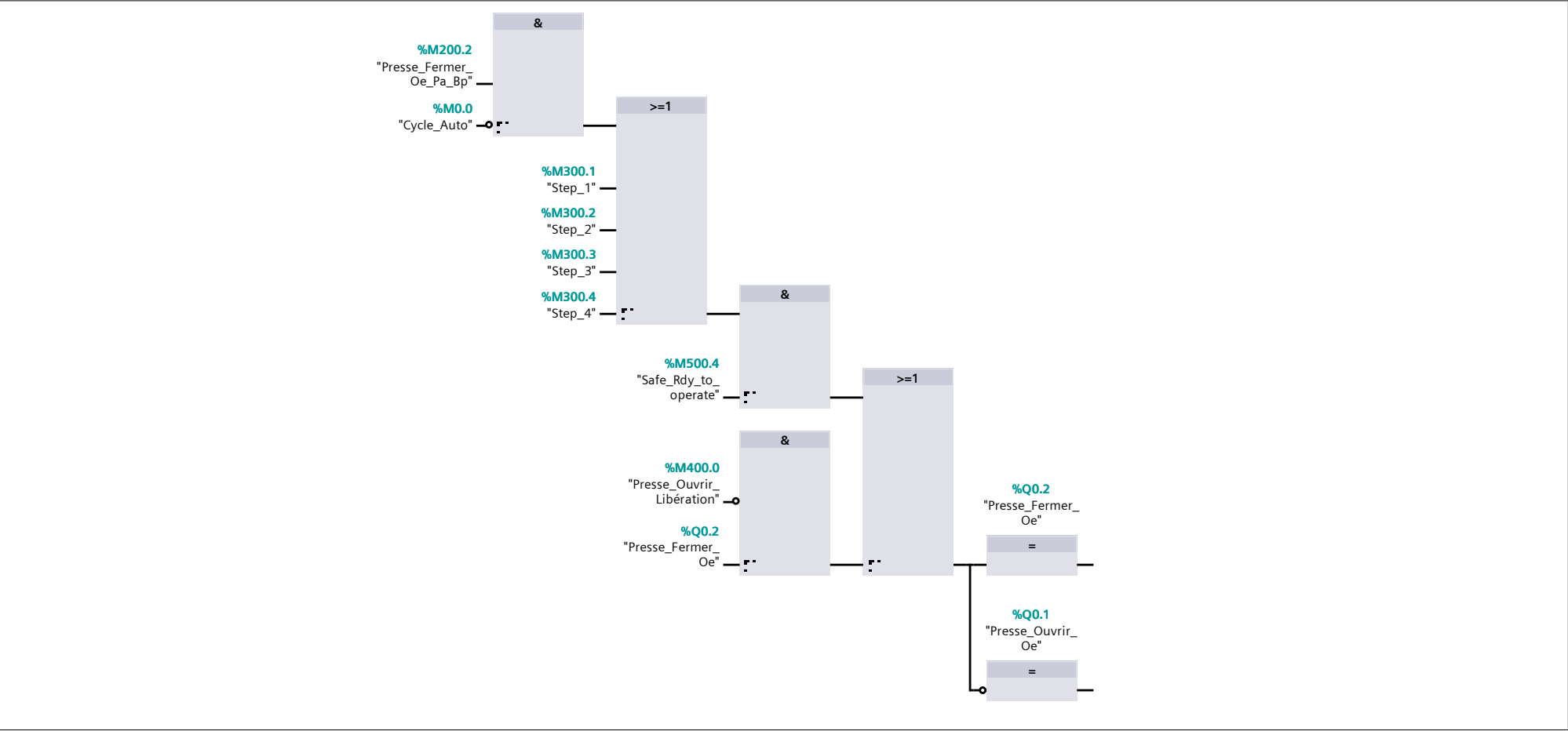
Libération d'ouverture



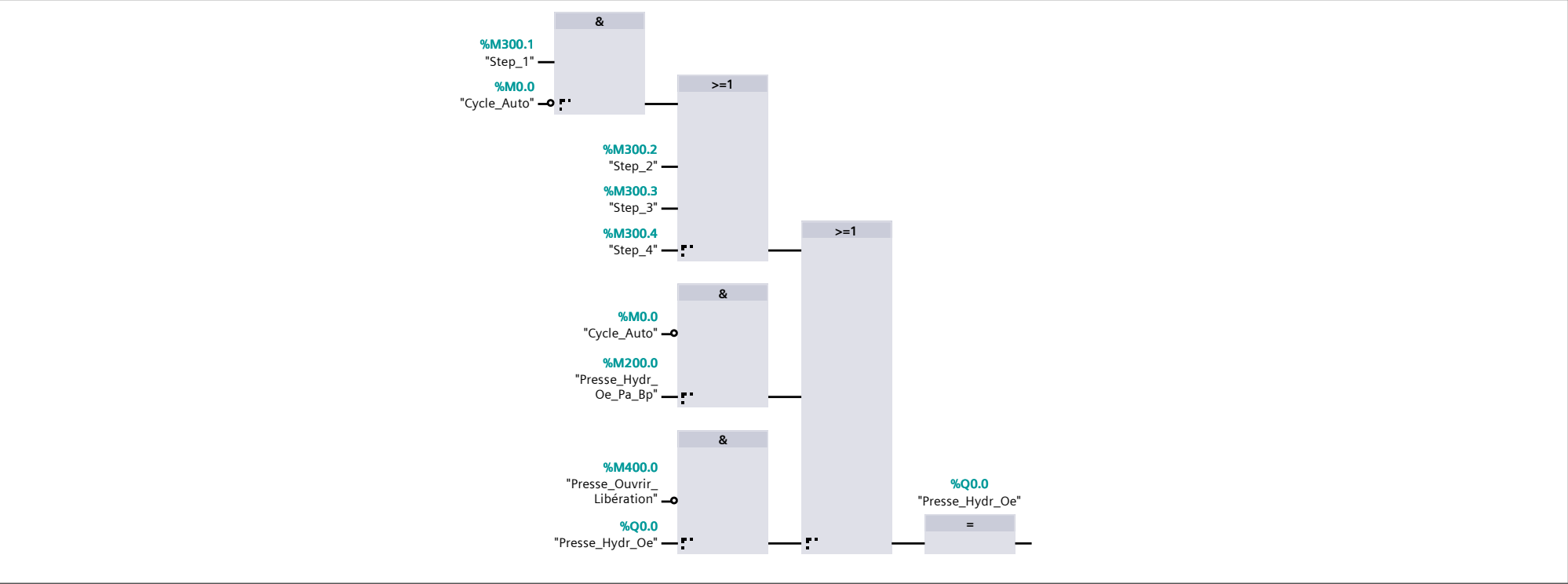
Réseau 6 : Verrouillage porte



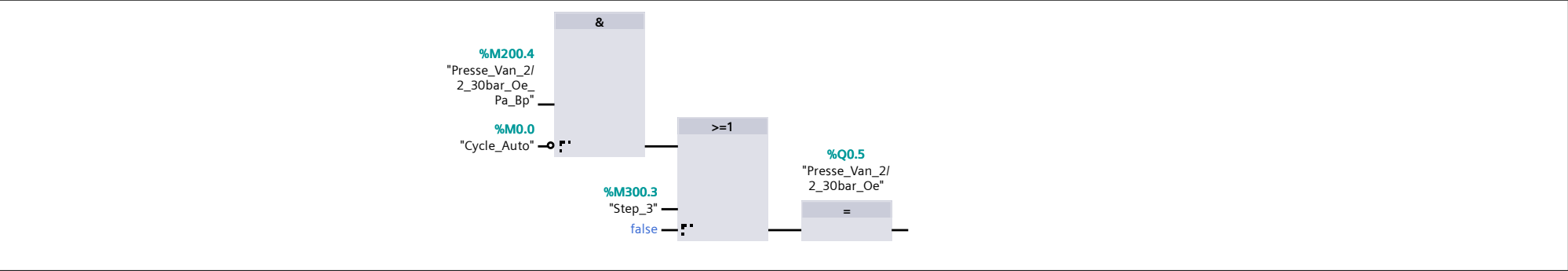
Réseau 7 : Électrovanne de fermeture de la presse



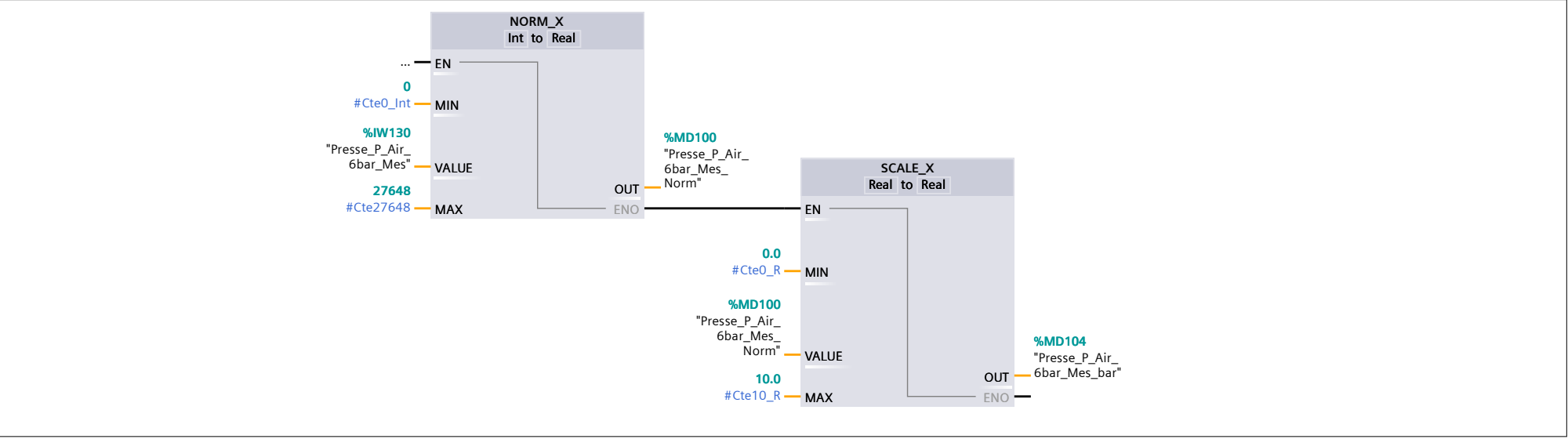
Réseau 8 : Électrovanne de commande de puissance hydraulique de la presse



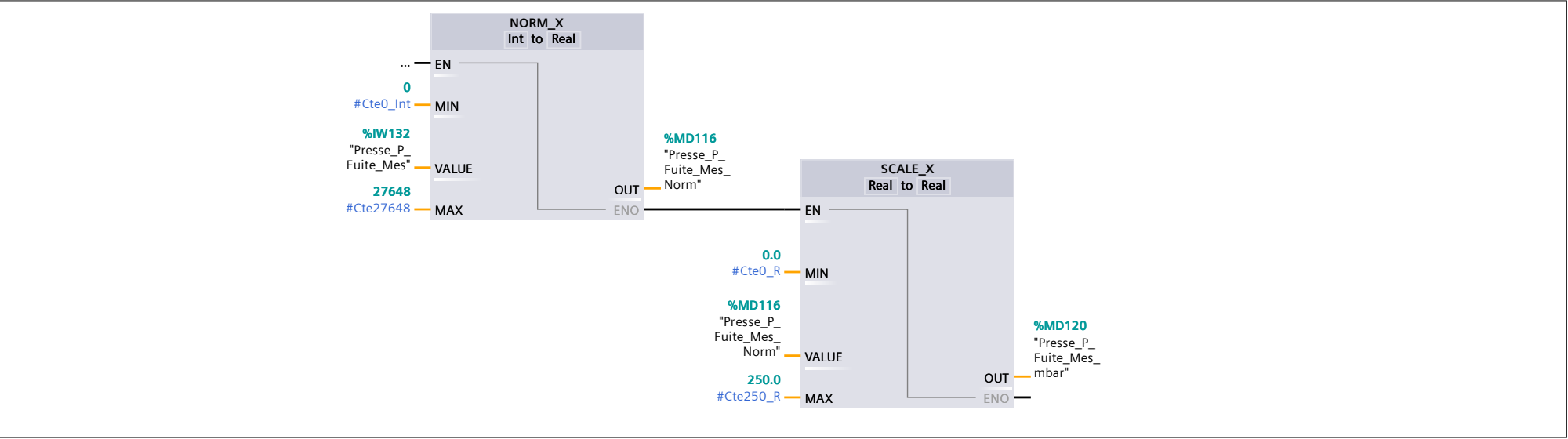
Réseau 9 : Électrovanne de commande vanne 2/2 HP



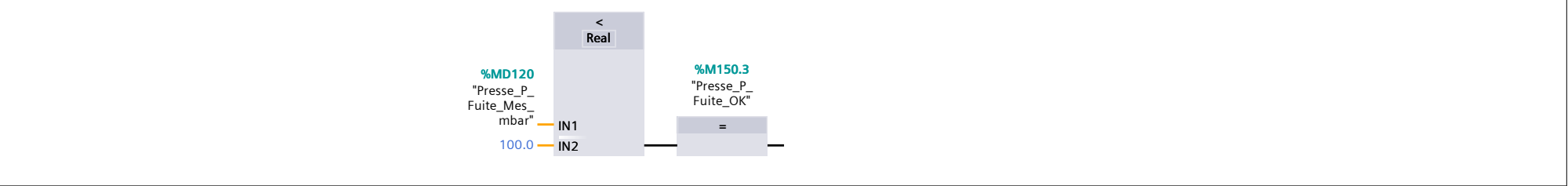
Réseau 10 : Conversion pression 6 bar



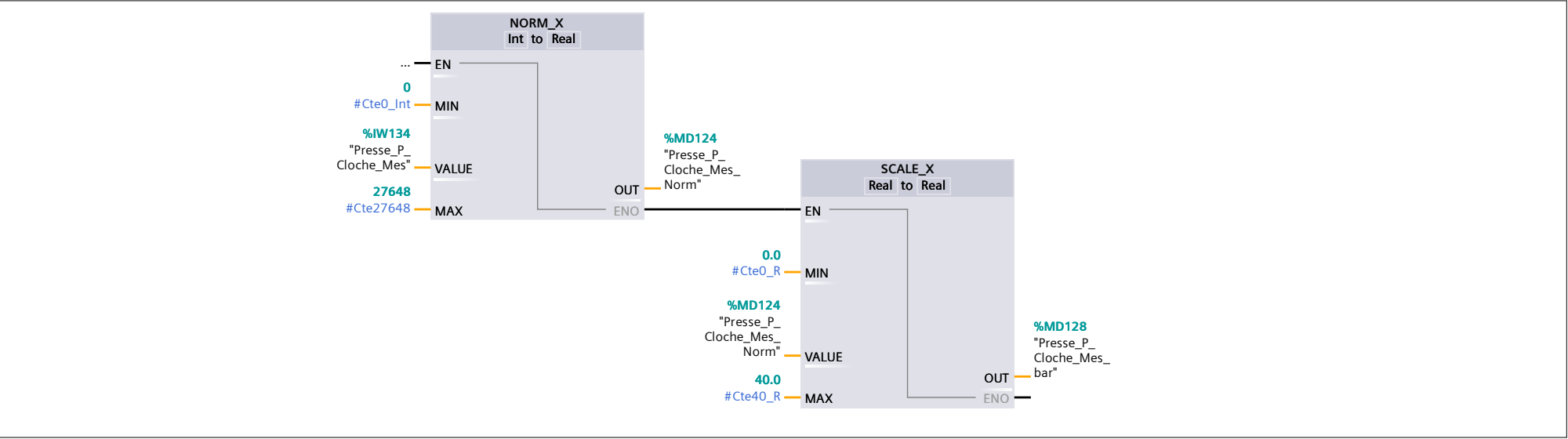
Réseau 11 : Conversion pression fuite



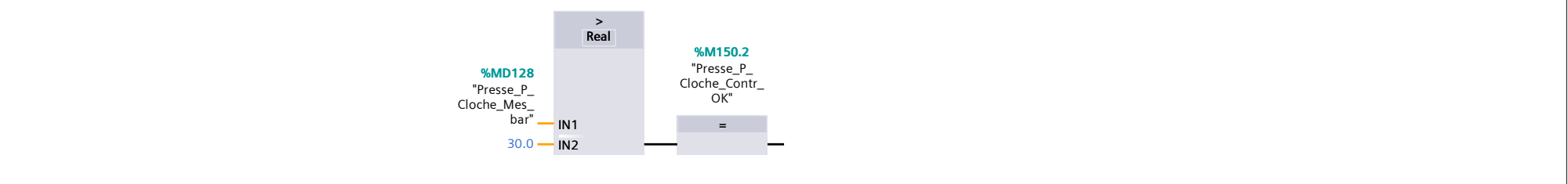
Réseau 12 : Détection pression fuite



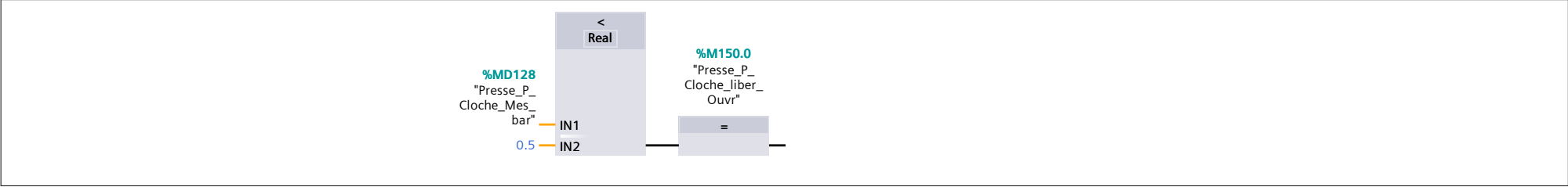
Réseau 13 : Conversion pression cloche



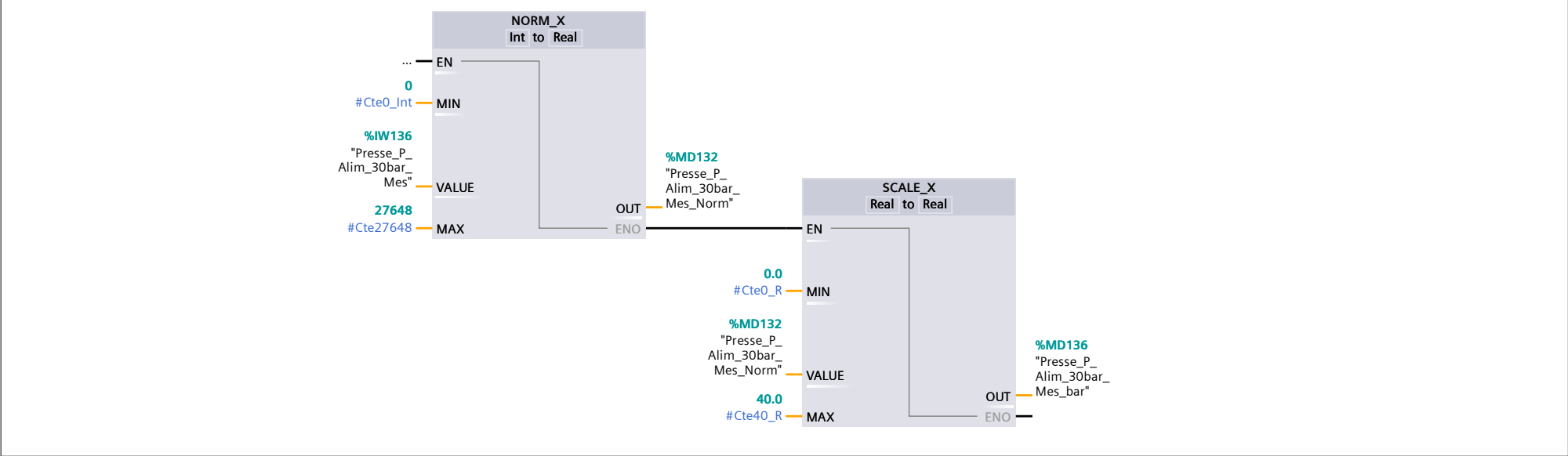
Réseau 14 : Détection pression cloche >30 bar



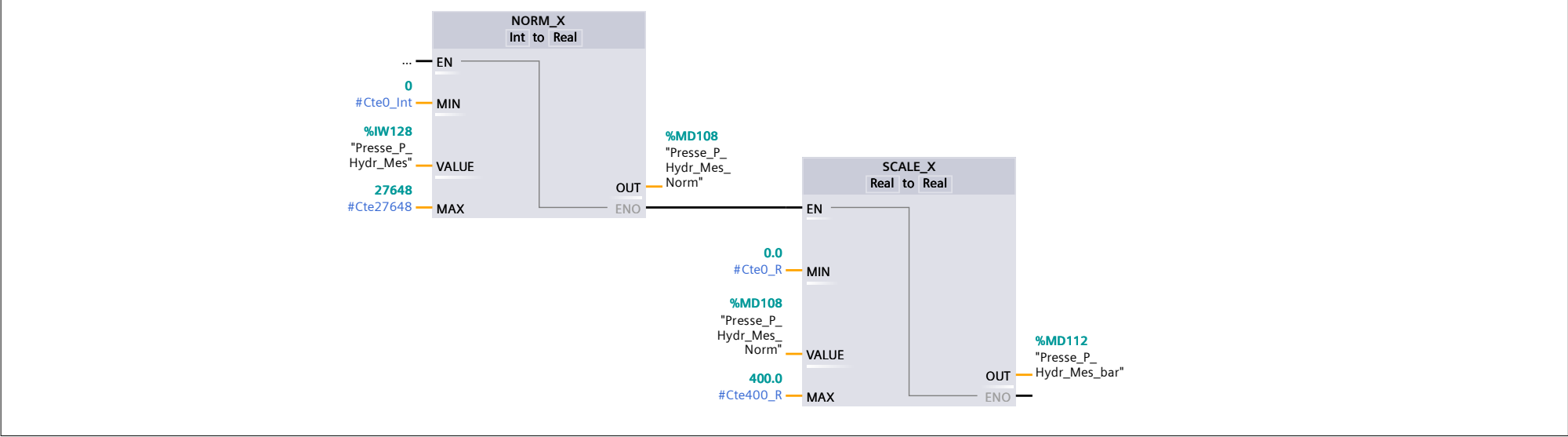
Réseau 15 : Détection pression cloche <0,5 bar



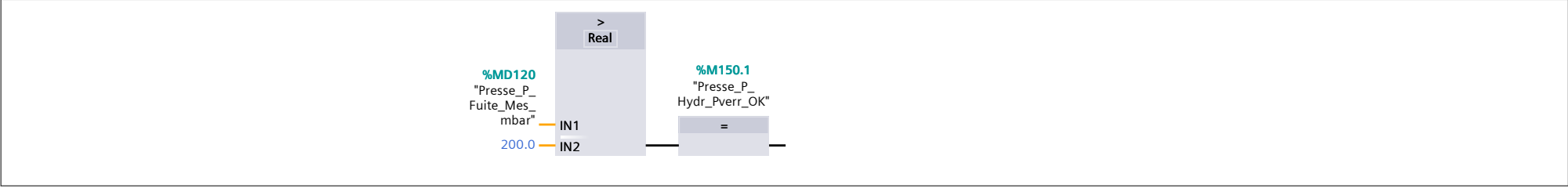
Réseau 16 : Conversion pression 30 bar alim



Réseau 17 : Conversion pression hydraulique



Réseau 18 : Détection pression hydraulique de verrouillage

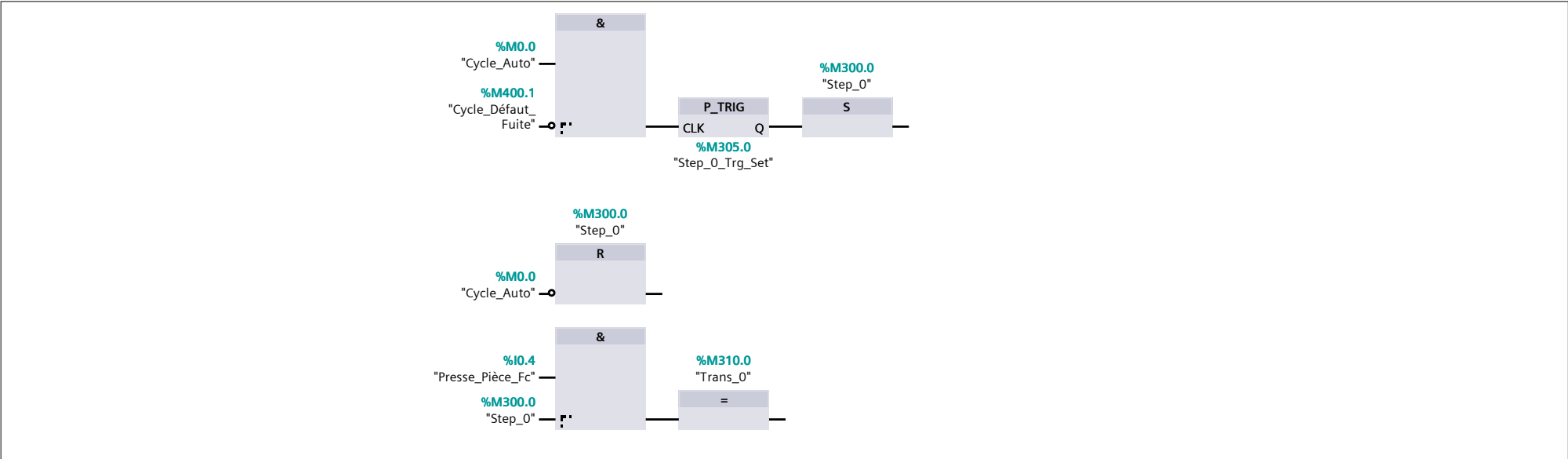


Sequence [FB2]

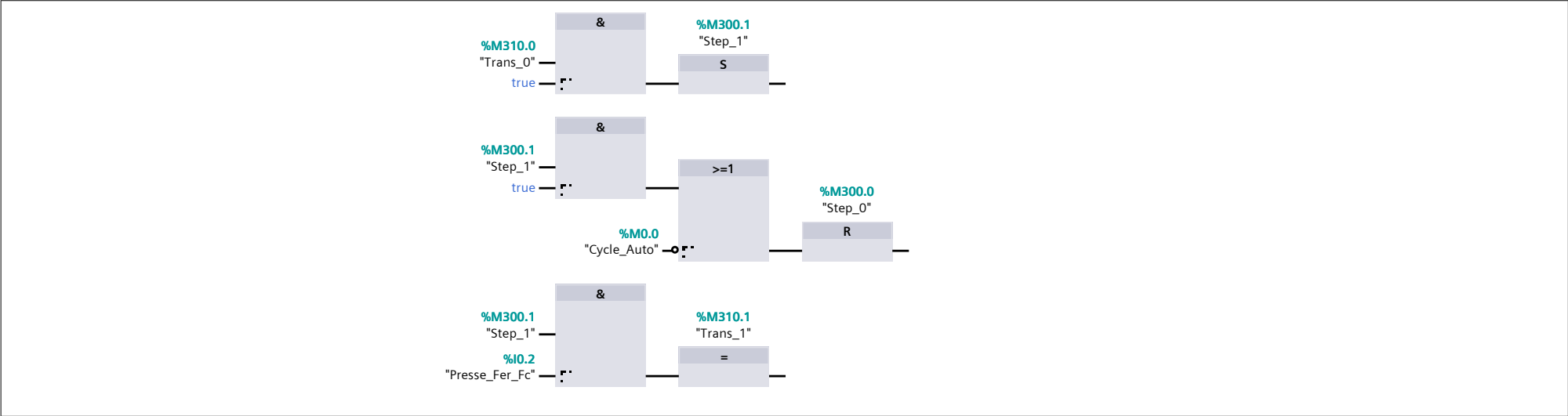
Sequence Propriétés							
Général							
Nom	Sequence	Numéro	2	Type	FB	Langage	LOG
Numérotation	Automatique						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Nom	Type de données	Valeur par déf.	Rémanence
Input			
Output			
InOut			
Static			
Temp			
Constant			

Réseau 1 : Initialisation

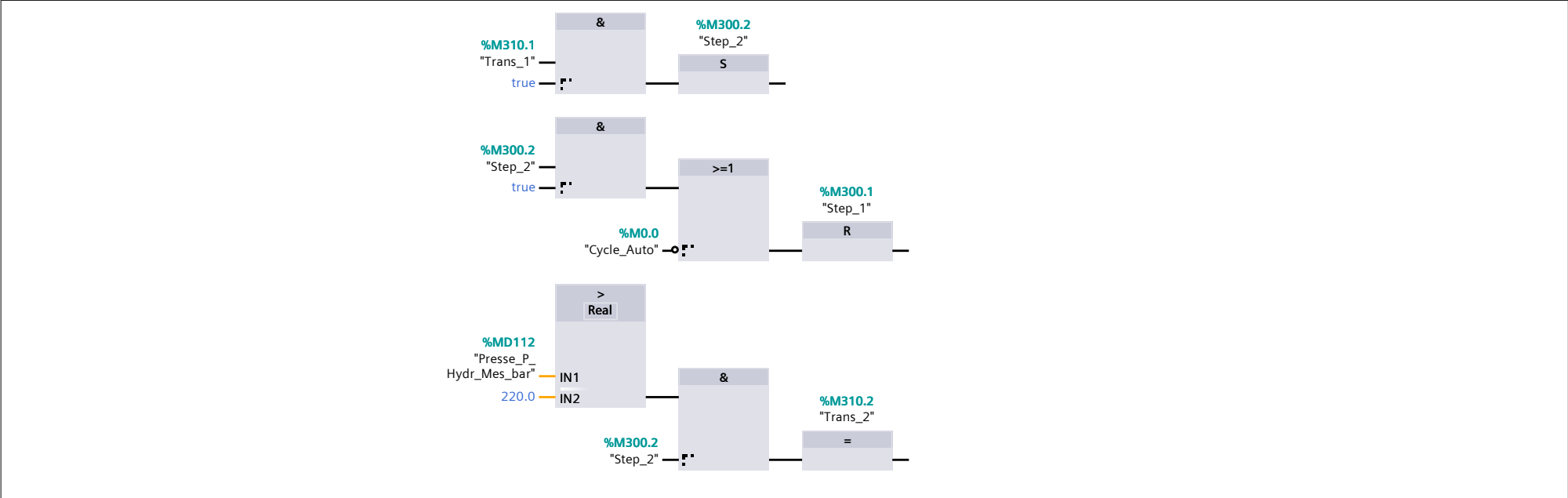


Réseau 2 : Step 1 : Fermer presse

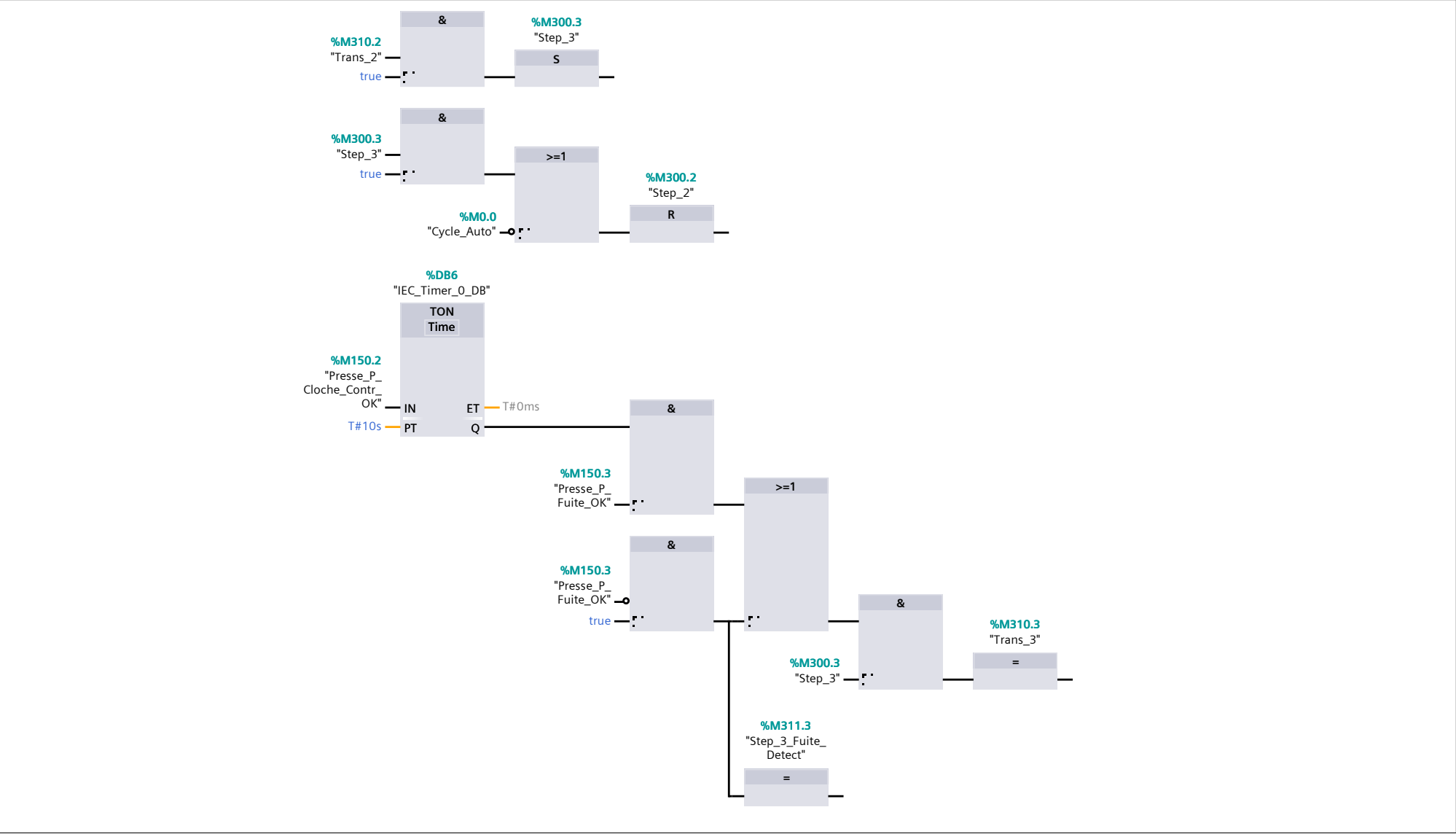


Réseau 3 : Step 2 : Pression hydraulique

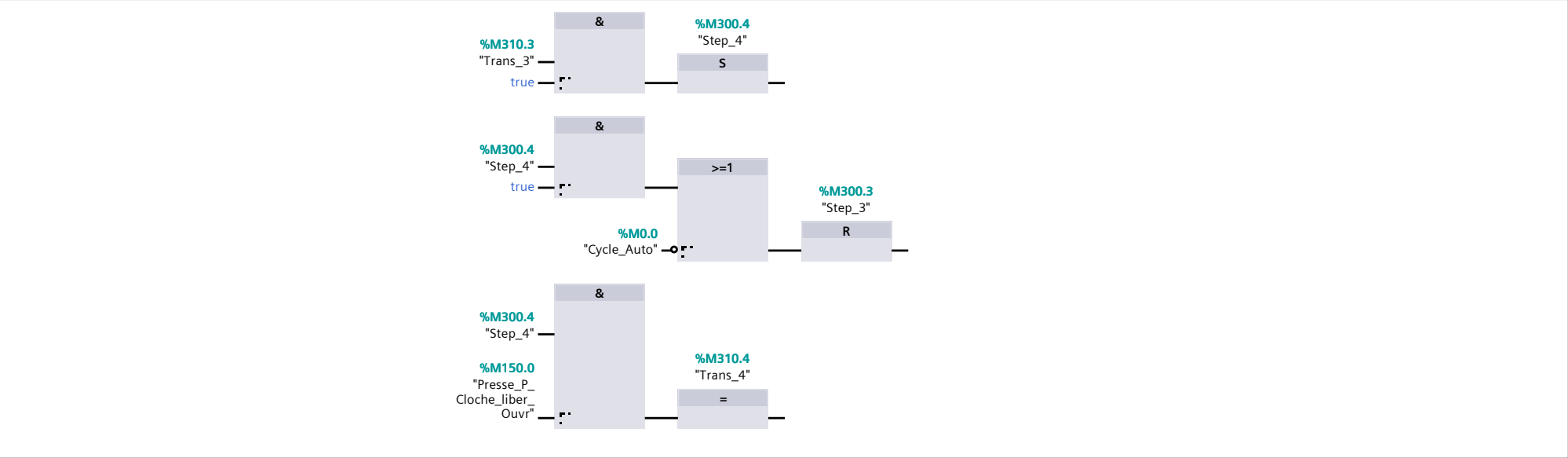
(Memoire capteur)



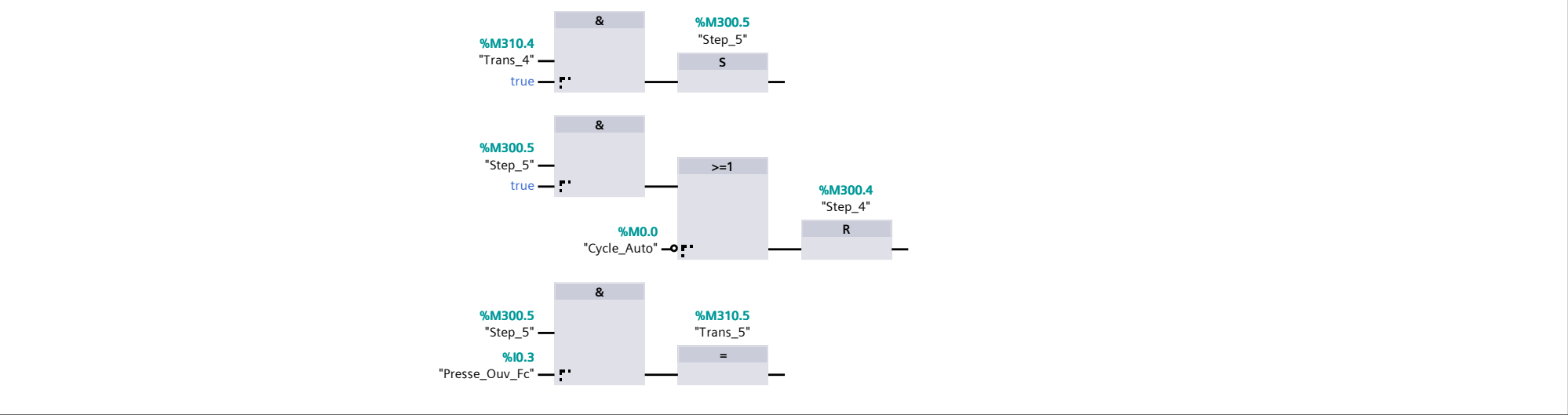
Réseau 4 : Step 3 : Enclenchement vanne 2/2 HP



Réseau 5 : Step 4 : Purge HP



Réseau 6 : Step 5 : Ouverture presse et relache hydraulique



Réseau 7 : Reset final fin sequence

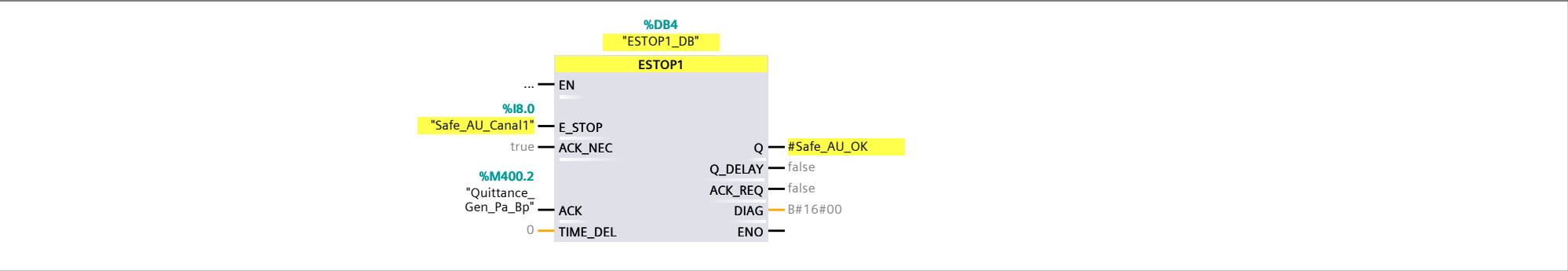
Main_Safety_RTG1 [FB1]

Main_Safety_RTG1 Propriétés							
Général							
Nom	Main_Safety_RTG1	Numéro	1	Type	FB	Langage	FBD
Numérotation	Manuel						
Information							
Titre		Auteur		Commentaire		Famille	
Version	0.1	ID utilisateur					

Nom	Type de données	Valeur par déf.	Rémanence
Input			
Output			
InOut			
▼ Static			
Safe_Porte_Rdy	Bool	false	Non rémanent
Safe_AU_OK	Bool	false	Non rémanent
Safe_Rdy_to_operate	Bool	false	Non rémanent
Safe_Rdy_to_operate_Temp	Bool	false	Non rémanent
Temp			
Constant			

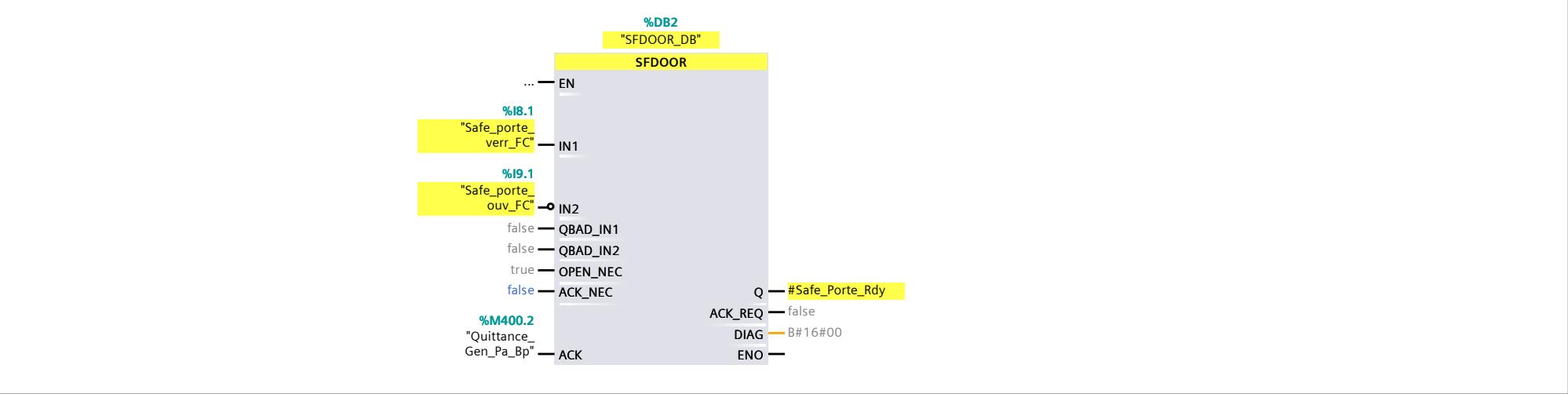
Réseau 1 :

Circuit AU



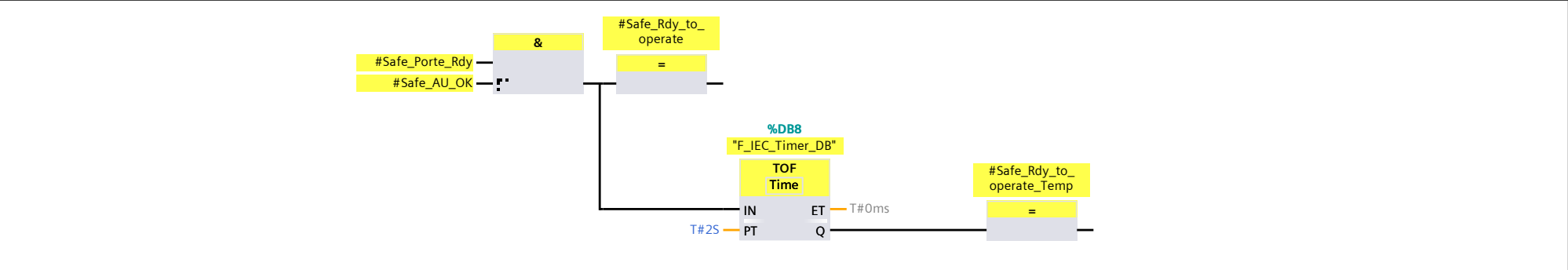
Réseau 2 :

Surveillance porte



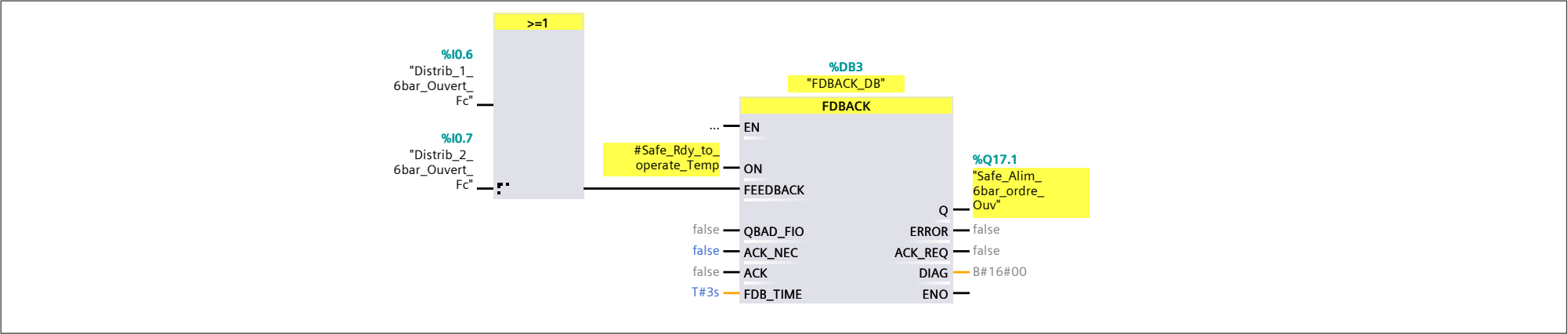
Réseau 3 : Ensemble de la sécurité OK

Logique commande vannes



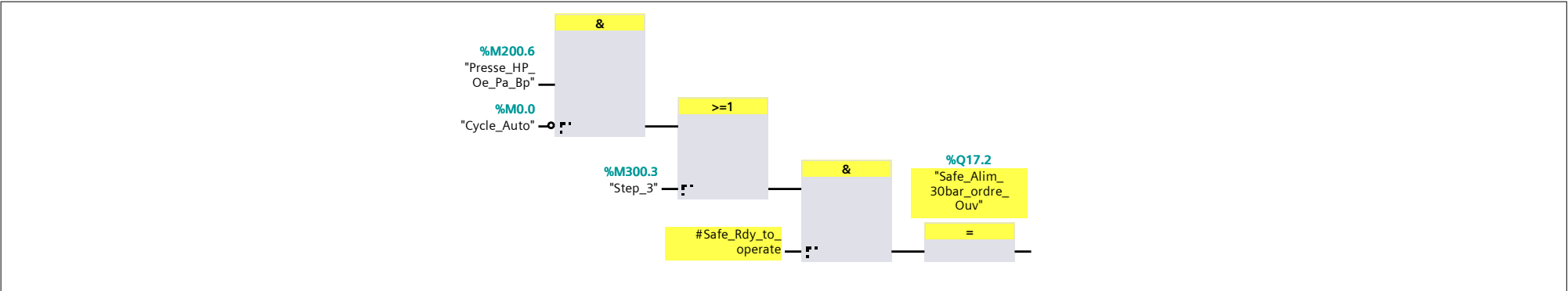
Réseau 4 :

Commande vanne 6 bars (Réfléchier Et ou Ou feedback)



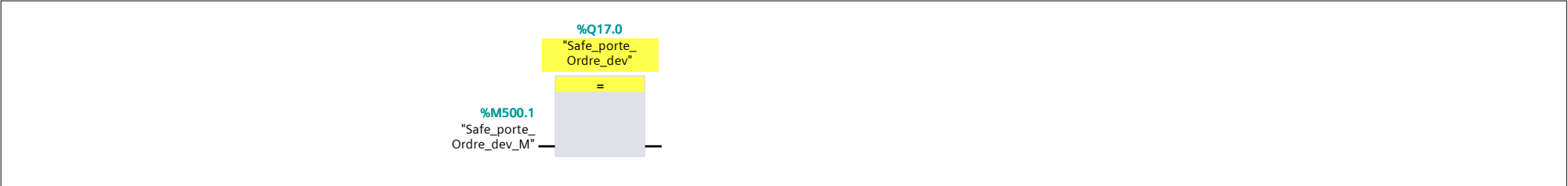
Réseau 5 : Eléctrovannes d'alimentation du 30 bar

Commande vanne 30 bars

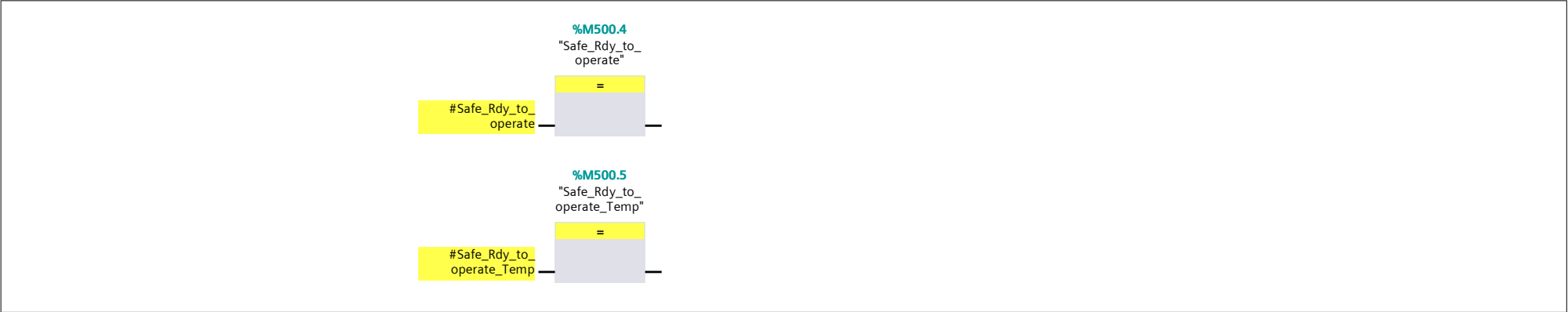


Réseau 6 : Bobine de déverrouillage de la porte

Test

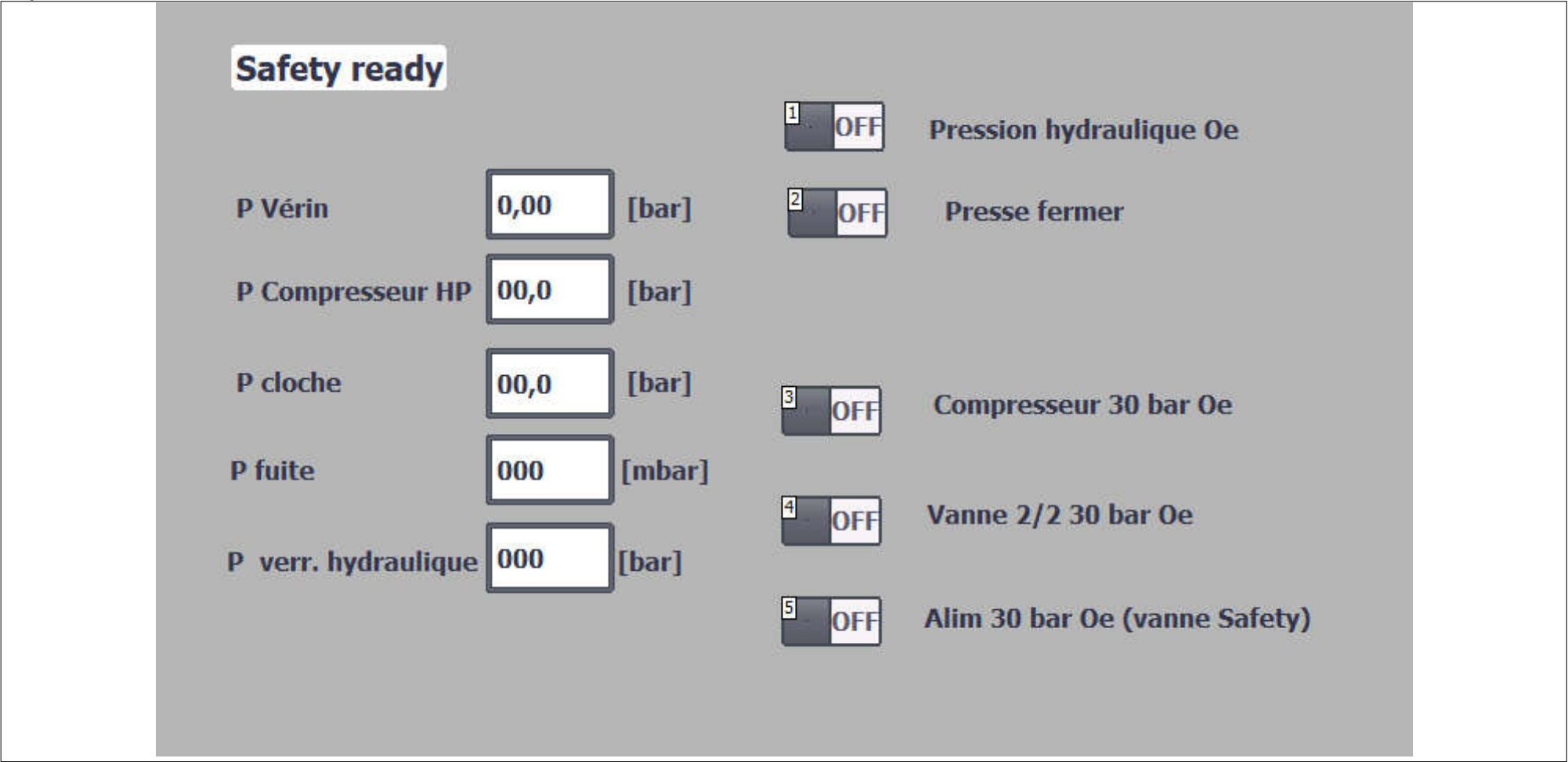


Réseau 7 : Signale sécurité OK



Vue_1

Copie d'écran de Vue_1



Nom	Vue_1	Couleur d'arrière-plan	181; 182; 181	Couleur grille	0; 0; 0
Numéro	1	Modèle		Texte d'aide	

Commutateur_2

Type	Commutateur	Nom	Commutateur_2	Coordonnée X	400
Coordonnée Y	63	Largeur	64	Hauteur	32
Plan	0 - Plan_0	Mode	Commutateur		
Dynamisations\Affectation de la variable					
Nom d'attribut	Valeur de process	Variable	Presse_Hydr_Oe_Pa_Bp		

Champ de texte_2

Type	Champ de texte	Nom	Champ de texte_2	Coordonnée X	489
Coordonnée Y	69	Largeur	202	Hauteur	23
Plan	0 - Plan_0	Police	Tahoma, 16px, style=Bold	Texte	Pression hydraulique Oe

Commutateur_4

Type	Commutateur	Nom	Commutateur_4	Coordonnée X	402
Coordonnée Y	118	Largeur	64	Hauteur	32
Plan	0 - Plan_0	Mode	Commutateur		
Dynamisations\Affectation de la variable					
Nom d'attribut	Valeur de process	Variable	Presse_Fermer_Oe_Pa_Bp		

Champ de texte_4

Type	Champ de texte	Nom	Champ de texte_4	Coordonnée X	499
Coordonnée Y	121	Largeur	119	Hauteur	23
Plan	0 - Plan_0	Police	Tahoma, 16px, style=Bold	Texte	Presse fermer

Commutateur_5

Type	Commutateur	Nom	Commutateur_5	Coordonnée X	398
Coordonnée Y	244	Largeur	64	Hauteur	32
Plan	0 - Plan_0	Mode	Commutateur		
Dynamisations\Affectation de la variable					
Nom d'attribut	Valeur de process	Variable	Compresseur_30bar_Oe_Pa_Bp		

Champ de texte_5

Type	Champ de texte	Nom	Champ de texte_5	Coordonnée X	492
Coordonnée Y	244	Largeur	195	Hauteur	23
Plan	0 - Plan_0	Police	Tahoma, 16px, style=Bold	Texte	Compresseur 30 bar Oe

Commutateur_6

Type	Commutateur	Nom	Commutateur_6	Coordonnée X	398
Coordonnée Y	314	Largeur	64	Hauteur	32
Plan	0 - Plan_0	Mode	Commutateur		
Dynamisations\Affectation de la variable					
Nom d'attribut	Valeur de process	Variable	Presse_Van_2/2_30bar_Oe_Pa_Bp		

Totally Integrated Automation Portal

Présence pièce

Fermeture presse

Verrrouillage hydr.

Mise en pression cloche

Purge cloche

Ouverture presse

P Vérin

P Compresseur HP

P cloche

P fuite

P verr. hydraulique

0,00

00,0

00,0

000

000

[bar]

[bar]

[bar]

[mbar]

[bar]

Pièce

Safety ready

Nom	Vue_2	Couleur d'arrière-plan	181; 182; 181	Couleur grille	0; 0; 0
Numéro	2	Modèle		Texte d'aide	

Rectangle_1

Type	Rectangle	Nom	Rectangle_1	Coordonnée X	75
Coordonnée Y	40	Largeur	62	Hauteur	41
Plan	1 - Plan_1	Couleur d'arrière-plan	222; 219; 222	Couleur bordure	24; 28; 49
Dynamisations\Représentation					
Variable - Cycle	Step_0 -	Type de données	Plage	Plage	0..0
Couleur d'avant-plan	24; 28; 49	Couleur d'arrière-plan	217; 217; 217	Clignotement	Non
Plage	1..1	Couleur d'avant-plan	24; 28; 49	Couleur d'arrière-plan	0; 255; 0
Clignotement	Non				

Rectangle_2

Type	Rectangle	Nom	Rectangle_2	Coordonnée X	75
Coordonnée Y	113	Largeur	62	Hauteur	41
Plan	1 - Plan_1	Couleur d'arrière-plan	222; 219; 222	Couleur bordure	24; 28; 49
Dynamisations\Représentation					
Variable - Cycle	Step_1 -	Type de données	Plage	Plage	0..0
Couleur d'avant-plan	24; 28; 49	Couleur d'arrière-plan	217; 217; 217	Clignotement	Non
Plage	1..1	Couleur d'avant-plan	24; 28; 49	Couleur d'arrière-plan	0; 255; 0
Clignotement	Non				

Rectangle_3

Type	Rectangle	Nom	Rectangle_3	Coordonnée X	75
Coordonnée Y	179	Largeur	62	Hauteur	41
Plan	1 - Plan_1	Couleur d'arrière-plan	222; 219; 222	Couleur bordure	24; 28; 49
Dynamisations\Représentation					
Variable - Cycle	Step_2 -	Type de données	Plage	Plage	0..0
Couleur d'avant-plan	24; 28; 49	Couleur d'arrière-plan	217; 217; 217	Clignotement	Non
Plage	1..1	Couleur d'avant-plan	24; 28; 49	Couleur d'arrière-plan	0; 255; 0
Clignotement	Non				

Rectangle_4

Type	Rectangle	Nom	Rectangle_4	Coordonnée X	75
Coordonnée Y	250	Largeur	62	Hauteur	41
Plan	1 - Plan_1	Couleur d'arrière-plan	222; 219; 222	Couleur bordure	24; 28; 49
Dynamisations\Représentation					
Variable - Cycle	Step_3 -	Type de données	Plage	Plage	0..0
Couleur d'avant-plan	24; 28; 49	Couleur d'arrière-plan	217; 217; 217	Clignotement	Non
Plage	1..1	Couleur d'avant-plan	24; 28; 49	Couleur d'arrière-plan	0; 255; 0
Clignotement	Non				

Rectangle_5

Type	Rectangle	Nom	Rectangle_5	Coordonnée X	75
Coordonnée Y	316	Largeur	62	Hauteur	41
Plan	1 - Plan_1	Couleur d'arrière-plan	222; 219; 222	Couleur bordure	24; 28; 49

Annexe 11

Liste de matériel

Liste des achats V1.4

Disponible chez Nammo
Estimation

	Composant	Fournisseur	N° d'article	Nombre	Offre				Commande					Livraison	
					N° offre	Délais	Prix unitaire	TVA (7,7%)	Total	Validé par	le	Commandé par	le	Livraison prévue	Reçu le
Électrique	Interrupteur principale EATON montage frontale	EM	420 003 877	1		1 jour	40,30	3,10	43,40	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Disjoncteur D 3A Hager 230V	EM	806 814 054	1		2 semaines	7,00	0,54	7,54	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	25.06.2021
	Disjoncteur D 10A Hager 230V	EM	806 818 054	1		1 jour	14,50	1,12	15,62	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Câble PUR-PUR 3x1,5 avec fiche T12 5m	EM	119 080 069	1		1 jour	10,50	0,81	11,31	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Prise,inc.T13,Feller,blanc	EM	663 023 000	1		1 jour	9,10	0,70	9,80	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Élément de base - CB 1/6-2/4 PT-BE	EM	543 993 310	6		1 semaine	7,50	0,58	48,47	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	18.06.2021	21.06.2021
	Disjoncteur thermomagnétique - CB TM1 2A SFB P	EM	543 924 220	2		1 semaine	22,90	1,76	49,33	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	18.06.2021	21.06.2021
	Disjoncteur thermomagnétique - CB TM1 0.5A SFB P	EM	543 924 020	2		1 semaine	22,90	1,76	49,33	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	12.07.2021	16.07.2021
	Disjoncteur thermomagnétique - CB TM1 8A SFB P	EM	543 924 720	1		1 semaine	22,90	1,76	24,66	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	05.07.2021	08.07.2021
	Disjoncteur thermomagnétique - CB TM1 6A SFB P	EM	543 924 620	1		1 semaine	22,90	1,76	24,66	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	21.06.2021	25.06.2021
	Disjoncteur thermomagnétique - CB TM1 1A SFB P	EM	543 924 120	1		1 semaine	22,90	1,76	24,66	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	21.06.2021	25.06.2021
	Pont pour Disjoncteur Phoenix contact rouge	Distrelec	3 030 271	2		1 semaine	3,85	0,30	8,29	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Borne PT 4-TWIN BU	EM	158 430 355	1		1 semaine	1,10	0,08	1,18	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	18.06.2021	21.06.2021
	Flasque d'extrémité - D-PT 4-TWIN	EM	158 830 335	1		1 semaine	0,50	0,04	0,54	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	18.06.2021	18.06.2021
	Pont réducteur - RB ST (2,5/4)-1,5/S	Distrelec	300-58-869	1		1 semaine	0,49	0,04	0,53	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	24.06.2021	25.06.2021
	Pont pour borne Phoenix contact 3,5 mm 10 pôles bleu	Distrelec	300-58-621	1		1 semaine	5,60	0,43	6,03	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Porte-repère pour barrettes de raccordement - KLM 3 -	EM	173 300 199	10		1 semaine	0,50	0,04	5,39	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	18.06.2021	21.06.2021
	Module à relais - PLC-RPT- 24DC/21	EM	505 611 714	10		1 semaine	9,50	0,73	102,32	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	18.06.2021	21.06.2021
	Repérage ZB - ZB 6:UNBEDRUCKT pour relais	Distrelec	148-28-966	3		1 semaine	0,75	0,06	2,42	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Pont sans fin - FBST 500-PLC BU - pour module relais	EM	158 939 655	1		1 semaine	10,75	0,83	11,58	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	18.06.2021	21.06.2021
	Pont sans fin - FBST 500-PLC - pour module relais rouge	EM	158 939 625	1		1 semaine	10,75	0,83	11,58	Florian	12.07.2021	Margelisch	12.07.2021	13.07.2021	16.07.2021
	Toron PE 6mm2 3m	EM	113 104 150	1			15,00	1,16	16,16	Florian	12.07.2021	Margelisch	12.07.2021	13.07.2021	16.07.2021
	Blocs de jonction simple - PT 1,5/S-TWIN	EM	158 110 035	60		1 semaine	1,10	0,08	71,08	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	18.06.2021	21.06.2021
	Blocs de jonction simple - PT 1,5/S-TWIN BU	EM	158 110 055	13		1 semaine	1,10	0,08	15,40	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	18.06.2021	21.06.2021
	Blocs de jonction simple - PT 1,5/S-TWIN OG	EM	3 208 157	50		1 semaine	1,30	0,10	70,01	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	19.07.2021	16.07.2021
	Bloc de jonctionPE - PT 1,5/S-TWIN-PE	EM	158 110 065	30		1 semaine	3,90	0,30	126,01	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Flasque d'extrémité - D-PT 1,5/S-TWIN	EM	158 810 035	25		1 semaine	0,50	0,04	13,46	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Séparateur - ATP-ST-TWIN	EM	158 127 135	25		1 semaine	0,56	0,04	15,08	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Repérage ZB - ZB 3,5:UNBEDRUCKT (Etiquettes)	EM	158 954 015	20		1 semaine	0,74	0,06	15,94	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Butée - CLIPFIX 35	EM	158 910 515	25		1 semaine	0,70	0,05	18,85	Florian	14.06.2021	Margelisch	17.06.2021	21.06.2021	18.06.2021
	Borne de terre Woertz 35 mm2	EM	158 180 797	1		1 semaine	7,40	0,57	7,97	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Alimentation 24 VDC 20A Puls	Distrelec	301-09-854	1		1 jour	172,60	13,29	185,89	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	24.06.2021	25.06.2021
	Boîtier app.gris I-I vide M22-I3 Eaton IP66	EM	286 503 537	1		1 jour	20,50	1,58	22,08	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Cont.pouss.inc."I" 1F Eaton M22-D-G-X1/K10 RMQ-Titan (ON)	EM	468 201 057	1		1 jour	14,80	1,14	15,94	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Cont.pouss.inc."O" 1O Eaton M22-D-R-X0/K01 RMQ-Titan (OFF)	EM	468 801 727	1		1 jour	14,80	1,14	15,94	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Bouton d'arrêt d'urgence d=30 non lumineux, déverrouillage	EM	4 015 081 942 527	1		2 semaines	31,20	2,40	33,60	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	02.07.2021
	Contact Bouton d'arrêt d'urgence NO	EM	468 900 057	1		1 jour	4,14	0,32	4,46	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Contact + socle Bouton d'arrêt d'urgence NO	EM	468 900 087	1		1 semaine	7,14	0,55	7,69	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Plaque "Not-Aus" 33x50mm française jaune Eaton	EM	468 996 337	1		1 jour	4,20	0,32	4,52	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Capteur à réflexion diffuse 200mm PNP E3FB-DP12 2M	Distrelec	300-69-195	1		1 semaine	86,70	6,68	93,38	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	24.06.2021	25.06.2021
	Support de montage adapté pour Capteurs séries E3FB	Distrelec	300-69-186	1		1 semaine	8,75	0,67	9,42	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Câble RJ 45 pour port Ethernet HMI (5m) cat 6	Distrelec	301-25-118	1		1 semaine	9,30	0,72	10,02	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Compéteurs d'impulsions 48 x 24 mm, Kübler sans réinitialisation	Distrelec	136-61-977	1		1 semaine	31,80	2,45	34,25	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Contacteur LP1-3L 1F 24VDC K09 SE	EM	514 100 072	1		1 jour	29,80	2,29	32,09	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Fin de course, Piston rond, Plastique, 2NO, Action lente, Eaton	Distrelec	301-28-479	1		1 semaine	28,11	2,16	30,27	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Capteur, 0 ... 40bar, 4...20 mA, Turk G1/4	Parker	6 836 500	1	VO104025-1	3 semaines	110,70	8,52	119,22	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	05.07.2021	05.07.2021
	Capteur, 0 ... 40bar, 4...20 mA, G1/4 RS	RS	175-4997	1		1 semaine	173,70	13,37	187,07	Florian	14.06.2021	Nammo	17.06.2021	24.06.2021	24.06.2021
	Prise pour câble M12 4 pôles avec 5m	Parker	6 625 014	3	VO104025-1	1 semaine	11,52	0,89	37,22	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	05.07.2021	05.07.2021
	Capteur de pression, 0 ... 250 mbar, 4...20 mA, (G1/4) Turk	Parker	100 000 405	1	VO104025-1	3 semaines	110,70	8,52	119,22	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	05.07.2021	05.07.2021
	CPU 1215 FC DC/DC/DC	Siemens	6ES7215-1AF40-0XB0	1	10338534	2 semaines	610,85	47,04	657,89	Florian	07.06.2021	HES-SO	10.06.2021	15.06.2021	18.06.2021
	Entrée TOR de sécurité S7-1200 16 x 24 V CC	Siemens	6ES7226-6BA32-0XB0	1	10338534	3 jours	132,15	10,18	142,33	Florian	07.06.2021	HES-SO	10.06.2021	25.06.2021	25.06.2021
	Sortie TOR de sécurité S7-1200 4 x 24 V CC 2A	Siemens	6ES7226-6DA32-0XB0	1	10338534	3 jours	132,15	10,18	142,33	Florian	07.06.2021	HES-SO	10.06.2021	25.06.2021	25.06.2021
	Entrée analogique S7-1200 8 AI 12 bits + signe	Siemens	6ES7231-4HF32-0XB0	1	10338534	3 jours	267,55	20,60	288,15	Florian	07.06.2021	HES-SO	10.06.2021	15.06.2021	18.06.2021

SIMATIC HMI KTP700 Basic Panel (écran tactile)	Siemens	6AV2123-2GB03-0AX0	1	10338534	3 jours	471,90	36,34	508,24	Florian	07.06.2021	HES-SO	10.06.2021	15.06.2021	18.06.2021
Interrupteur de position de sécurité à interverrouillage	Siemens	3SE5322-OSD21	1	10338534	3 jours	140,94	10,85	151,79	Florian	07.06.2021	HES-SO	10.06.2021	18.06.2021	25.06.2021
Détrompeur standard pour interrupteur de position de sécurité	Siemens	3SE5000-OAV01	1	10338534	4 jours	3,73	0,29	4,02	Florian	07.06.2021	HES-SO	10.06.2021	28.06.2021	02.07.2021
Licence Safety	Siemens	6ES7833-1FA16-0YH5	1	10340253	3 jours	399,81	30,79	430,60	Florian	02.07.2021	HES-SO	02.07.2021	06.07.2021	07.07.2021
Ruban adhésif P-touch, Polyester, 6mm x 8m, Blanc, Brother	Distrelec	180-14-623	1		1 semaine	11,40	0,88	12,28	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
Ruban adhésif P-touch, Polyester, 3.5mm x 8m, Blanc, Brother	Distrelec	110-60-260	1		1 semaine	9,40	0,72	10,12	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	24.06.2021	25.06.2021
Embase de collier de câble 5.5mm Blanc Polyamide UE=100pce	Distrelec	300-75-290	1		1 semaine	8,00	0,62	8,62	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
Canal à câbles 49X73 mm UE=2m	EM	128 177 242	3		1 semaine	33,30	2,56	107,59	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Ecrou M5 en plastique UE=100pce	SFS	150 704	1		1 semaine	28,65	2,21	30,86	Florian	16.06.2021	Nammo	17.06.2021	24.06.2021	25.06.2021
Vis M5 en plastique UE=100 pce	SFS	123 335	1		1 semaine	25,74	1,98	27,72	Florian	16.06.2021	Nammo	17.06.2021	24.06.2021	25.06.2021
Rondelle M5 plastique UE=100 pce	SFS	132 973	1		1 jour	16,59	1,28	17,87	Florian	28.06.2021	Nammo	28.06.2021	29.06.2021	01.07.2021
Rivet pop pour canaux à câbles (serrage de 2,5 à 4,5 mm) UE=100pce	SFS	454 452	1			16,48	1,27	17,75	Florian	16.06.2021				
Rail pour éléments électriques 35 mm (fente largeur5mm) UE=2m	EM	168 302 224	1		1 semaine	29,40	2,26	31,66	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Coffret Atlantic 600x800x300	EM	834 300 231	1		1 semaine	311,00	23,95	334,95	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	30.06.2021	02.07.2021
Plaque pleine 600x800	EM	834 360 141	1		1 semaine	93,40	7,19	100,59	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	30.06.2021	02.07.2021
Kit de fixation murale	EM	834 900 011	1		1 semaine	26,05	2,01	28,06	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Toron rouge 0,75mm2 UE=100m	EM	113 003 506	1		1 semaine	15,75	1,21	16,96	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Toron bleu foncé 0,75mm2 UE=100m	EM	113 003 502	1		1 semaine	15,75	1,21	16,96	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Toron vert/jaune 0,75mm2 UE=100m	EM	113 003 550	1		1 semaine	15,75	1,21	16,96	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Toron gris 0,75mm2 UE=100m	EM	113 003 509	1		1 semaine	15,75	1,21	16,96	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Toron orange 0,75mm2 UE=100m	EM	113 003 507	1		1 semaine	15,75	1,21	16,96	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Câble 10x0,75mm2 diam ext 9,8mm 5m	EM	114 006 025	1		1 semaine	13,75	1,06	14,81	Florian	21.06.2021	Margelisch	21.06.2021	22.06.2021	21.06.2021
Câble 3x0,75mm2 diam ext 6,3mm 50m	EM	117 505 393	1		1 semaine	32,00	2,46	34,46	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Câble 7x0,75mm2 diam ext 7,5mm 5m	Margelisch électricité	114 005 725	1				0,00	0,00	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Presse-étoupe polyamid.M20x1,5 5-12mm Plica-Tec K gris-clair	EM	121 760 503	35		1 semaine	0,90	0,07	33,93	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Contre-écrou 6pans polyst.M20 gris-clair sans halogène	EM	126 364 500	50		1 semaine	0,11	0,01	5,92	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Bouchon fermeture KS M20 gris IP68	EM	126 222 510	15		1 semaine	0,11	0,01	1,78	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Câbles 2X4mm2 rouge et bleu 5m	EM	107 630 202	1		1 semaine	17,40	1,34	18,74	Florian	21.06.2021	Margelisch	21.06.2021	22.06.2021	21.06.2021
Toron rouge 1mm2 2m	Margelisch électricité		1		1 semaine		0,00	0,00	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Toron bleu foncé 1mm2 2m	Margelisch électricité		1		1 semaine		0,00	0,00	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Toron brun 1,5mm2 5m	Margelisch électricité		1		1 semaine		0,00	0,00	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Toron bleu 1,5mm2 10m	Margelisch électricité		1		1 semaine		0,00	0,00	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Toron PE 1,5mm2 5m	Margelisch électricité		1		1 semaine		0,00	0,00	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
Embout 0,75 mm2 UE=100pce	EM	156 435 109	3		1 jour	2,98	0,23	9,63	Florian	21.06.2021	Margelisch	21.06.2021	22.06.2021	21.06.2021
Embout 0,75 mm2 double UE=100pce	EM		2		1 jour	5,00	0,39	10,77	Florian	30.06.2021	Margelisch	30.06.2021	31.06.2021	02.07.2021
Connecteur femelle à angle droit M12 4 pôles	Distrelec	144-57-099	2		3 jours	6,87	0,53	14,80	Florian	30.06.2021	Nammo	02.07.2021	04.07.2021	05.07.2021
Total								5 073,92						
Estimation								5 200,00						
Delta								126,08						

Pneumatique	Vérin hydraupneumatique TOX	TOX	Q-K 004.030.200.13	1	CH216214898	2 semaines	4923,00	379,07	5 302,07	Florian	07.06.2021	Nammo	08.06.2021	30.06.2021	29.06.2021
	Compresseur MAX (30 à 34 bar)	AR Fixations Sàrl	MAX.AK-HL1260E	1	2021100059	1 semaine	1350,00	103,95	1 453,95	Florian	11.06.2021	Nammo	18.06.2021	24.06.2021	24.06.2021
	Tuyau 10m 6,4mm (40bar)	AR Fixations Sàrl	MAX.KH6X30	1	2021100059	1 semaine	175,00	13,48	188,48	Florian	11.06.2021	Nammo	18.06.2021	24.06.2021	24.06.2021
	Raccord mâle pour tuyau (G1/4)	AR Fixations Sàrl	PR-MAX TT05425	1	2021100059	1 semaine	102,70	7,91	110,61	Florian	11.06.2021	Nammo	18.06.2021	24.06.2021	24.06.2021
	Traversée de cloison Festo 12 mm	Distrelec	301-69-491	1		1 semaine	12,00	0,92	12,92	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	24.06.2021	25.06.2021
	Introduction d'air avec distributeur de sécurité	SMC	AC30-KIZ058	1	100701807	6 jours	614,67	0,00	614,67	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021	29.06.2021	30.06.2021
	Electrodistributeur 5/2 bistable 24 VDC	SMC	VF5223-5Y01-03F	1	100701807	1 semaine	137,80	0,00	137,80	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021	28.06.2021	28.06.2021
	Limiteur de débit à l'échappement	SMC	AS3201FS-03-12S	2	100701807	3 jours	20,91	0,00	41,82	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021	24.06.2021	28.06.2021
	Connecteur électrique pour electrovanne mod 3000/5000	SMC	X32	4	100701807	1 semaine	4,85	0,00	19,40	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021	28.06.2021	28.06.2021
	Silencieux G3/8	SMC	AN30-03	4	100701807	1 semaine	8,53	0,00	34,12	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021	28.06.2021	28.06.2021
	Raccord G3/8 tuyau 12 mm diam	SMC	KQ2H12-03AS	5	100701807	1 semaine	3,12	0,00	15,60	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021	28.06.2021	28.06.2021
	Tuyau 12 mm bleu (20m)	SMC	T1209BU-20	1	100701807	3 jours	69,45	0,00	69,45	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021	24.06.2021	28.06.2021
	Réduction enfichable 12mm à 6mm	Distrelec	301-06-490	1		1 semaine	2,25	0,17	2,42	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Bouchon d'obturation 12mm	SMC	KQ2P-12	10		1 semaine	1,00	0,00	10,00	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021	28.06.2021	28.06.2021
	T male 2 raccord rapide	SMC	KQ2Y12-03AS	5		1 semaine	7,85	0,00	39,25	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021	28.06.2021	28.06.2021
	Raccord rapide coudé 12mm	SMC	KQ2L12-03AS	5		1 semaine	5,20	0,00	26,00	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021	28.06.2021	28.06.2021
	Port et emballage SMC	SMC		1	100701807		18,80	0,00	18,80	Florian	16.06.2021	Nammo	21.06.2021		
	Raccord (connection G1/8") 6mm	Distrelec	I10-30-132	3		1 semaine	1,42	0,11	4,59	Florian	16.06.2021	Nammo	18.06.2021	21.06.2021	21.06.2021
	Distributeur 3/2 40 bar monostable fermé au repos G1/4	Bachofen	A332616	2	VO103994-4	4 semaines	637,00	49,05	1 372,10	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	12.07.2021	14.07.2021
	Connecteur électrique pour vanne 3/2	Bachofen	A147001	2	VO103994-4	1 semaine	4,30	0,33	9,26	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	15.06.2021	16.06.2021
	PARKER LUCIFER Vanne magnétique G1/4	Bachofen	A402159	1	VO103994-4	1 semaine	189,50	14,59	204,09	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	15.06.2021	16.06.2021
	LEGRIS Robinet droit 3/2 à purge vanne de purge	Bachofen	A362649	1	VO103994-4	1 semaine	30,40	2,34	32,74	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	15.06.2021	16.06.2021
	LEGRIS Tube polyamide (PA) semi-rigide diam 4mm UE=25m	Bachofen	A363828	1	VO103994-4	1 semaine	19,15	1,47	20,62	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	15.06.2021	16.06.2021
	LEGRIS Piquage droit diam 4 G1/8	Bachofen	A361088	20	VO103994-4	1 semaine	2,75	0,21	59,24	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	15.06.2021	16.06.2021
	LEGRIS Té au centre ø 4 mm, mâle R1/8", laiton	Bachofen	A361325	3	VO103994-4	2 semaines	7,55	0,58	24,39	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	15.06.2021	16.06.2021
	LEGRIS Réduction mâle G1/4", femelle G1/8", laiton nickelé, NBR	Bachofen	A362223	22	VO103994-4	1 semaine	2,00	0,15	47,39	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	15.06.2021	16.06.2021
	LEGRIS Régleur en ligne bidirectionnel fem. G1/4, inox 316L, FKM	Bachofen	A368485	1	VO103994-4	1 semaine	175,75	13,53	189,28	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	15.06.2021	16.06.2021
	LEGRIS Equerre orientable ø 4 mm, G1/4", laiton, NBR	Bachofen	A362292	2	VO103994-4	2 semaines	8,00	0,62	17,23	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	15.06.2021	16.06.2021
	LEGRIS Té en bout ø 4 mm, mâle R1/8", laiton	Bachofen	A361188	2	VO103994-4	2 semaines	7,55	0,58	16,26	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	12.07.2021	22.07.2021
	Soupape anti-retour	Bachofen	A367484	1	VO103994-4	1 semaine	82,30	6,34	88,64	Florian	14.06.2021	Nammo	14.06.2021	12.07.2021	16.06.2021
	LEGRIS Mamelon double	Bachofen	A363211	5	VO104170-1	1 semaine	1,25	0,10	6,73	Florian	17.06.2021	Nammo	21.06.2021	24.06.2021	24.06.2021
	LEGRIS Té égal	Bachofen	A363304	3	VO104170-1	1 semaine	3,70	0,28	11,95	Florian	17.06.2021	Nammo	21.06.2021	24.06.2021	24.06.2021
	Gewindestopfen Rundkopf	Bachofen	A420594	6	VO104170-1	1 semaine	1,30	0,10	8,40	Florian	17.06.2021	Nammo	21.06.2021	24.06.2021	24.06.2021
	LEGRIS Nourrice de distribution en croix	Bachofen	A366376	1	VO104170-1	1 semaine	7,20	0,55	7,75	Florian	17.06.2021	Nammo	21.06.2021	24.06.2021	24.06.2021
	Supplément petit quantité + livraison	Bachofen		1	VO104170-1	1 semaine	40,00	3,08	43,08	Florian	17.06.2021	Nammo	21.06.2021		
	Legris mamelons double G1/4"	Bachofen	A363221	2		1 jour	20,00	1,54	43,08	Florian	15.06.2021	Nammo	15.06.2021	16.06.2021	16.06.2021
	Legris Té égal R1/4"	Bachofen	A363344	2		1 jour	20,00	1,54	43,08	Florian	15.06.2021	Nammo	15.06.2021	16.06.2021	16.06.2021
	Soupape surpression G1/4" 0,5-1 bar (verkauf@landefeld.de)	www.landefeld.de	SVM 14-1	1		1 semaine	8,39	0,65	9,04	Florian	17.06.2021	Nammo	21.06.2021	28.06.2021	23.06.2021
	Transport depuis l'Allemagne (12,5 euro, soupape 7,68 euro)	landefeld		1			13,66	1,05	14,71	Florian	17.06.2021	Nammo	21.06.2021		
	Coffret Atlantic 600x400x250	EM	834 300 061	1		1 semaine	167,60	12,91	180,51	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	25.06.2021
	Plaque perforée 600x400	EM	834 351 081	1		1 semaine	48,70	3,75	52,45	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	02.07.2021
	Kit de fixation murale	EM	834 900 011	1		1 semaine	26,05	2,01	28,06	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Ecrou M4 pour plaque perforée	EM	834 900 201	15		1 semaine	0,30	0,02	4,85	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Ecrou M6 pour plaque perforée	EM	834 900 221	15		1 semaine	1,20	0,09	19,39	Florian	16.06.2021	Margelisch	17.06.2021	24.06.2021	18.06.2021
	Entretreise M4X25	SFS	331840	10		1 semaine	1,00	0,08	10,77	Florian	21.07.2021	Nammo	21.07.2021	24.06.2021	05.08.2021
Total									10 667,04						
Estimation									8 330,00						
Delta									-2 337,04						

mécanique	Taraud M22X2mm	DC Threading	101 887	1		1 semaine	120,00	9,24	129,24	Florian	16.06.2021	Nammo	20.06.2021	23.06.2021	23.06.2021
	Taraud G1/4 pas à gauche (30 bar)	DC Threading	101 854	1		1 semaine	77,00	5,93	82,93	Florian	16.06.2021	Nammo	20.06.2021	23.06.2021	23.06.2021
	Mèche 11,6mm HSS	SFS	215547	1		1 semaine	29,78	2,29	32,07	Florian	16.06.2021	Nammo	17.06.2021	24.06.2021	25.06.2021
	Ressort PU diamètre 100mm 95 shore l=250mm	Ramseier Normalien	0575 3 100 0250	1		1 semaine	300,00	23,10	323,10	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	05.07.2021	14.07.2021
	Ressort pour charge forte 16x25mm	Ramseier Normalien	9-1004-26	2		1 semaine	3,30	0,25	7,11	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	05.07.2021	14.07.2021
	Vis M20X70 10.9 ISO 4014 DIN 931	SFS	331825	4		1 jour	0,00	0,00	0,00	Florian	30.06.2021	Nammo	30.06.2021	01.07.2021	01.07.2021
	Rondelle M20 diam 37mm s=3mm 200HV	SFS	282763	10		1 semaine	0,40	0,03	4,30	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	05.07.2021	07.07.2021
	Rondelle grover M20 diam 16,8mm s=4mm			4				0,00	0,00						
	Vis M10 épaulement diam 12mm long. 45mm f9	SFS	153101	6		1 semaine	5,70	0,44	36,83	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	05.07.2021	07.07.2021
	Rondelle M12 diam 24mm s=2,5mm	SFS	112012	3				0,00	0,00						
	Rondelle grover M12 diam 21,1mm s=2,5mm			3				0,00	0,00						
	Vis M8 (TOX) 12.9	SFS	117516	6		1 semaine	0,24	0,02	1,52	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	05.07.2021	07.07.2021
	Rondelle M8 diam 16mm s=1,6mm 300HV	Bossard	3484543	100		1 semaine	0,12	0,01	12,71	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	05.07.2021	05.07.2021
	Rondelle grover M8 diam 7,4mm s=2mm			6				0,00	0,00						
	Vis M5 épaulement diam 6mm Long 60mm f9	Bossard	3645988	2		1 semaine	4,60	0,35	9,91	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	05.07.2021	05.07.2021
	Rondelle M6 diam 16mm s=1,2mm			1				0,00	0,00						
	Vis M6X30mm			4				0,00	0,00						
	Rondelle M6 diam 12mm s=1,6mm			4				0,00	0,00						
	Rondelle grovet M6 diam 5,9mm s=1,6mm			4				0,00	0,00						
	Vis M10 fixation table			4				0,00	0,00						
	Rondelle Grover			4				0,00	0,00						
	Rondelle			4				0,00	0,00						
	Palier Igus iglidur® P210, palier cylindrique E10	Igus	P210SM-0608-06	6		2 semaines	3,05	0,23	19,71	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	16.09.2021	21.07.2021
	Petit Joint O-ring diam. 46,99 mm cordon 5,33mm revêtu PTFE	Angst+Pfister	11.4501.5320	6		2 semaines	11,80	0,91	76,25	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	16.09.2021	
	Grand Joint O-ring diam. 81,92 mm cordon 5,33mm revêtu PTFE	Angst+Pfister	11.4501.5333	10		2 semaines	11,14	0,86	119,98	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	14.07.2022	15.07.2021
	Grand Joint O-ring diam. 81,92 mm cordon 5,33mm	Angst+Pfister	11.4049.5333	5		2 jours	9,05	0,70	48,73	Florian	12.07.2021	Nammo	12.07.2021	15.07.2021	15.07.2021
	Jet rond Teflon diam. 30mm long. 0,2m	Angst+Pfister	01.1015.0030	1		1 semaine	22,00	1,69	23,69	Florian	02.07.2021	Nammo	02.07.2021	09.02.2021	07.07.2021
	Jet rond T POM diam. 28mm long. 22mm			2				0,00	0,00						
	Jet rond T POM diam. 19mm long. 9mm			2				0,00	0,00						
	Jet rond T Acier diam. 40mm long. 3mm			2				0,00	0,00						
	Usinage chez Bulloni	Bulloni		1		1 semaine	3400,00	261,80	3 661,80	Florian	07.07.2021	Nammo	07.07.2021	13.07.2021	15.07.2021
Total									843						
Estimation															
Delta															
Réserve															
Total ensemble du projet															
Estimation totale															
Delta															