

# GMC-3024 : Ingénierie & Conception 3

## Projet 3 : Pompe sans frontières

### Tolérancement & Assemblage fonctionnel

Par

Alain Curodeau ing. Ph.D.



- **Contexte :**

Contrat de conception d'une pompe à eau manuelle, ciblée pour le marché international, plus particulièrement pour les pays en voie de développement.  
Quantité initiale à produire : 50 000 unités

- **Description :**

Conception d'une pompe manuelle fabriquée à partir du procédé de fabrication additive SLS incorporant des pièces industrielles standards. Le but est de fabriquer un prototype de pompe à eau fonctionnelle comportant un nombre minimum de pièces, et qui est facile à assembler.

- **Objectifs à atteindre**

- Appliquer correctement les principes de tolérancement dimensionnel et géométrique dans le contexte de fabrication additive,
- Contrôle qualité tolérancement géométrique,
- Conception pour l'assemblage,
- Conception durable,
- Fonctionnalité d'un système de pompage,
- Conception pour résister aux forces en jeu.

- **Équipes :**

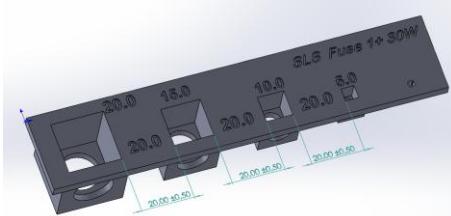
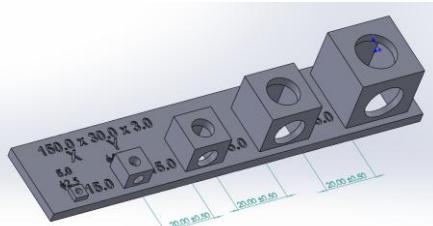
- Équipes de 4 étudiants

- **Cahier des charges :**

Concevoir et fabriquer une pompe fonctionnelle répondant au cahier des charges suivant :

- Procédé SLS : Deux enveloppes de matériaux sont prévues pour la fabrication des pièces en nylon 12:
  - Préférentiel axe Z:  $x=50 * y=50 * z=95 \text{ mm}$
  - ET Préférentiel axes X-Y :  $x=75 * y=150 * z=22 \text{ mm}$

\*\*Note : Les pièces aux dimensions excédant l'enveloppe prescrite ne seront pas fabriquées.
- Limite ultime  $S_u$  : Nylon 12 « tough » haute résistance
  - $S_{u\_XY} = 42 \text{ MPa} @ \varepsilon_{\text{rupture}} = 25\%$
  - $S_{u\_z} = \underline{\quad} \text{ MPa} @ \varepsilon_{\text{rupture}} = 15 \%$
  - (voir essai traction fichier excel)
- Module élastique :  $E = 1450 \text{ MPa}$
- Gabarit de dimensionnement pour établir les tolérances dimensionnelles réelles de la machine SLS



- Machine SLS max : 159.8 x 159.8 x 295.5 mm (2 lots de production pour les équipes)
- Viser une mise à l'échelle d'environ 1:3 ou 1:4 par rapport à une pompe réelle,
- Toutes les pièces doivent être identifiées avec votre numéro d'équipe, (voir règles de conception SLS)
 

\*\*Note : Dans le cas où une ou plusieurs pièces ne sont pas identifiées, il y aura une déduction au niveau de l'évaluation de la qualité assemblage/désassemblage.
- Conception pour nombre minimum de pièces,



- Qualité de l'assemblage
  - Pièces directement assemblables n'impliquant aucune finition et un minimum d'ajustement,
  - Pièces ne s'endommage pas à l'assemblage,
  - Pompe doit être dé-assemblable sans bris (pas de colle),
  - Faire un contrôle qualité sur la perpendicularité de l'alésage intérieur du cylindre de pompe vs axe du pivot du levier (voir procédure dans méthodologie)
- Assemblage/Désassemblage facile qui doit comprendre:
  - Au moins un encliquetage SLS (griffe-encoche flexible) « snap fit » obligatoire,
  - Au moins un joint à pression SLS (ajustement serré) « press fit », ou joint SLS fileté droit ou NPT obligatoire,  
\*\*Note : cocher l'option dessin de détails des filets pour impression conforme des filets.
  - Vis, boulon-écrou, anneau d'arrêt ou autres au choix,
  - Pas de colle, (sauf pour joint torique)
  - Pièces industrielles sélectionnées seulement(voir ANNEXE 2)

- Fonction mécanique
  - Mouvement fluide du mécanisme de pompage
  - Levier de pompage avec joint articulaire fait d'un goujon ALU7075, anneaux de rétention, dans alésage jeu glissant,
    - Prévoir pré-trou sur pièce SLS,
    - Percer avec foret 7/32 (0,219 po) (5,55 mm dia),
    - Finition alésoir 6.000/6.005, 6.050, 6.100 mm dia.,



- Résistance aux forces en jeu
  - Ne s'endommage pas en fonctionnement

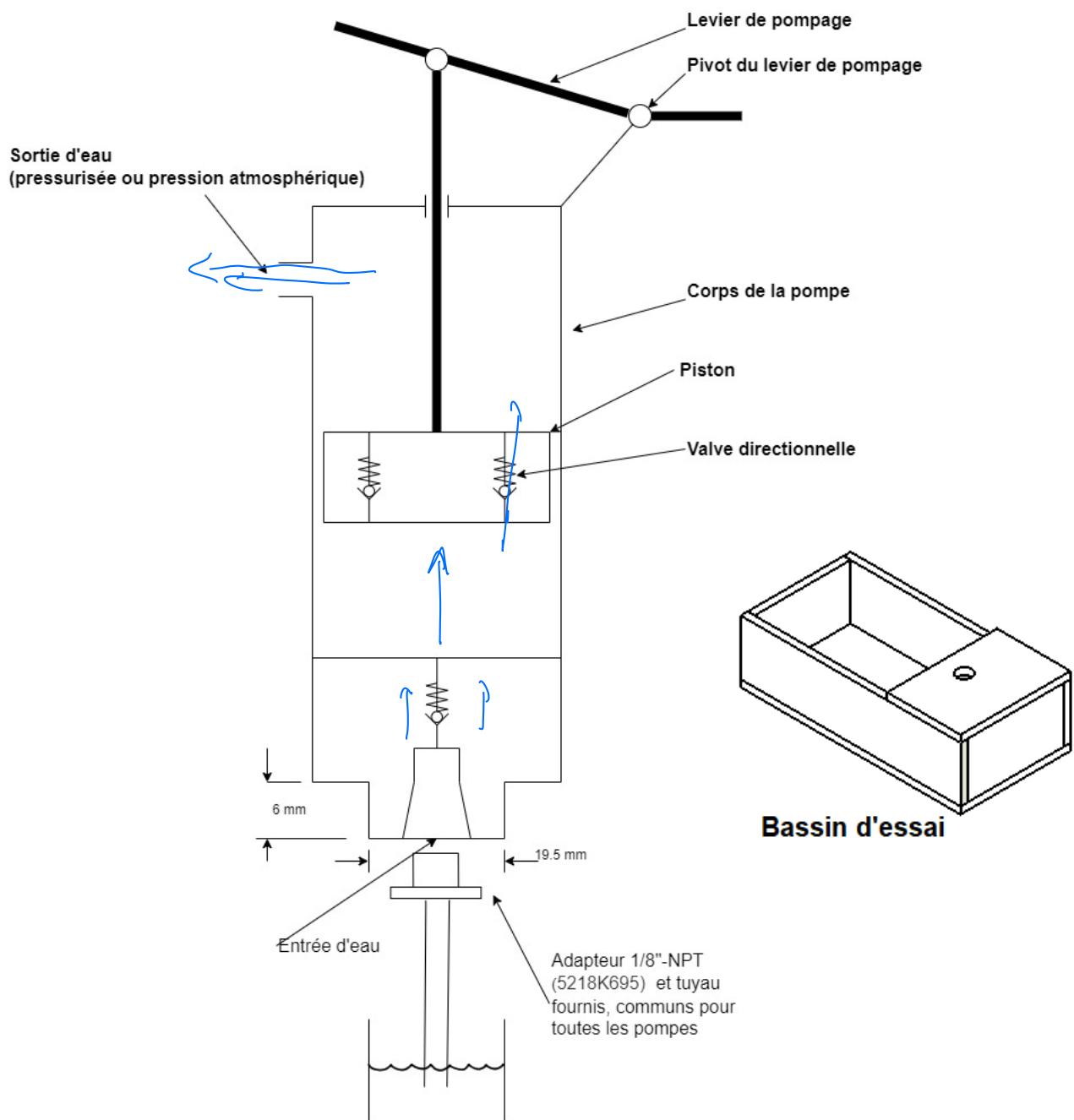
- Fonctionnalité du pompage
  - Rapidité de l'amorçage de la pompe (départ à sec),
  - Pompe à pression préférée,
  - Pompe  $P_{atm}$  considérée de second niveau,
  - Optimisation du débit [ml ] / 10 courses de levier,
  - Un joint d'étanchéité obligatoire,
  - Aléser le cylindre de pompe par tournage (atelier),
    - Laisser surépaisseur de 0,5 mm à l'intérieur du cylindre,
    - Spécifier le diamètre final désiré xx.xx au machiniste.
  - Prise d'eau : Prévoir un épaulement 19.5 mm dia x 6 mm prof. à la base de la pompe avec pré-trou ayant le diamètre nécessaire pour accueillir filetage 1/8 po – NPT de l'adaptateur de prise d'eau (voir croquis)
  - Pré-trou fileté manuellement avec taraud 1/8 NPT disponible au local 2350.

Pour faire ça

dimension sur le M/T

National Pipe Thread, filet canadien

- Schéma du principe de fonctionnement de la pompe



- **Méthodologie:**

- Machine disponible : SLS FormLab Fuse 1+ 30W,
    - Matériel : Nylon 12 chargé (haute résistance),
    - Identifier toutes les pièces avec votre numéro d'équipe.
  - Machine disponible (plan B): (local 2350) machine FFF BamBu Lab,
    - Matériel : Tough PLA
    - Implique pénalité au niveau des critères de conception, si utilisation.
  - Machine disponible (découpeuse laser pour polymère)
    - Fournir fichier.DXF (2D) au cas par cas
    - Ex. Découpe caoutchouc mince
  - Pièces industrielles disponibles (voir ANNEXE 2):
  - Contrôle qualité perpendicularité alésage intérieur du cylindre de pompe versus axe du pivot du levier :
    - Pour usiner l'alésage de l'intérieur de la pompe, prévoir une surface de référence sur l'extérieur du cylindre de la pompe pour prise dans un tour CNC,
    - Il est préférable d'aléser les trous du pivot du levier à l'aide d'une perceuse manuelle et un foret  $\phi 5.55\text{mm}$  dans un premier temps et d'un alésoir  $\phi 6.000\text{mm}$  pour ajustement serré ou  $\phi 6.050$  ou  $\phi 6.100$  pour ajustement glissant. Prévoir un pré-trou produit par impression 3D SLS à l'endroit désiré,
    - À l'aide d'un instrument de mesure MMC, prenez des points de mesure à l'intérieur du cylindre et à la surface de l'axe de pivot du levier de pompage (i.e goujon 6mm insérer dans l'alésage effectué à l'étape précédente),
    - Dans le logiciel PolyWorks, utilisez les données de la MMC pour établir le niveau de perpendicularité de l'axe du levier par rapport à l'axe du cylindre intérieur,
  - Un seul lot de production de pièces SLS sera effectué :
    - Identification des fichiers.stl :
      - Pièces pour préférentiel axe Z : Z\_EQ#eq\_#pièce.stl
        - Ex : Équipe 2, pièce 7, Z : **Z\_EQ2\_7.stl**
      - Pièce pour préférentiel X-Y : XY\_EQ#eq\_#pièce.stl
        - Ex : Équipe 15, pièce 4, XY : **XY\_EQ15\_4.stl**
- Dans quel Volume le pièces  
sont imprimées*

- Date de tombée importante sur le portail:
  - **Semaine 9, le lundi 27 octobre 13h30**
    1. Fichiers.STL de vos pièces de pompe: (attention résolution des triangles),
    2. Représentation des deux enveloppes d'impression SLS (fichier.pdf) : Inclure dimensions limites des enveloppes préférentielles en Z et en X-Y et arrangements de vos pièces 3D à l'intérieur de ces deux enveloppes de matériel.
    3. Vue explosée + liste de matériel (fichier.pdf + papier): Pour obtenir les pièces industrielles standards, vous devez nous remettre un dessin 3D (PDF sur le portail + papier dans la boîte de dépôt près de la porte 1333), vue explosée de la pompe, où toutes les pièces sont identifiées d'un numéro bulle. Sur le côté droit supérieur du dessin, on doit y voir un tableau de nomenclature des pièces (numéro bulle, quantité, description complète). Le technicien de l'atelier ne vous remettra que les pièces industrielles clairement identifiées sur cette vue explosée.
      - Note1 : ne pas utiliser le numéro de pièce McMaster comme descriptif de pièce, préconiser plutôt un descriptif compréhensible comme par exemple :
      - #bulle 2 : Qté. 6 : vis acier inox. six pans creux M3x0,5x10mmL,
    - Note2 : Une déduction à la note finale sera apportée pour chaque pièce oubliée ou en surplus.
    - Note3 : Spécifier dans la liste de matériel le diamètre final intérieur désiré xx.xx de l'alésage du cylindre pour que le machiniste puisse procéder au tournage de précision à cette dimension.
  - 4. Si applicable : Fichier.DXF des formes à découper au laser dans feuille d'élastomère. Avertir Marc-André par courriel de votre intention de découper des pièces au laser.
- **Semaine 10, soit le lundi 3 novembre,**
  - Date de distribution prévue des pièces SLS et industrielles:

- Si vous n'avez pas utilisé l'entièreté du matériel disponible dans vos deux enveloppes de production, il est possible de faire imprimer plus d'une variante d'une même pièce si vous n'êtes pas certain d'un tolérancement plus serré par exemple.
- Advenant le cas où vous avez fait une erreur de dimensionnement sur vos pièces, il vous sera possible de les reprendre avec l'imprimante 3D de type FDM ou FFF avec un matériel différent (PLA) disponible au FABLAB, local 2350. À ce point, vous serez responsable de produire les pièces par vous-même avec les machines disponibles au département.
  - \*\*Par contre, une telle situation implique une déduction au niveau de l'évaluation des critères de conception.
- L'utilisation de pièces non-listées (Annexe 2) entraînera aussi une déduction significative.
- Tous les plans de fabrication des pièces mises à votre disposition pour l'assemblage de la pompe ainsi que leur numéro d'identification McMaster Carr sont disponibles sur le portail. (voir ANNEXE 2 pour la liste des pièces disponibles)
- **Semaine 10, vendredi 7 novembre 17h00**
  - Déposez votre présentation 90s (1 page format pdf) à l'endroit indiqué dans le portail. S.V.P. Identifier votre fichier comme suit : ***Présentation GMC-3024 P3 EQ#.pdf***
- La démonstration des pompes et la présentation auront lieu en même temps **le jeudi 13 novembre** au début du cours. Nous procéderons en ordre croissant de numéro d'équipe en débutant par l'équipe 1.
- Le responsable du cours s'occupera de gérer la projection de votre page de présentation ainsi que le temps de présentation avec un chronomètre.  
Note : La démonstration du fonctionnement de la pompe devrait durée environ 2 minutes et ne compte pas dans les 90s de présentation.

- **Livrables** : (valeur 25 % note finale)

*Rapport papier et PDF:*

- Page titre : Cours GMC-3024 Ingénierie et conception 3, Projet 3, titre du projet, présenté à, numéro d'équipe, liste des co-équipiers + % de participation, date, Université Laval (voir gabarit sur portail)
- Vue CAD 3D explosée (isométrique, fil de fer noir et blanc, lignes cachées supprimées) de la pompe,
  - Item flèche-bulle numéroté pour chaque pièce,
  - Tableau de nomenclature des pièces (# bulle, qté, description),
  - Indiquer le diamètre intérieur à usiner de la pompe
  - Indiquer sur une note, le nombre total de pièces.
- Capture d'écran des deux enveloppes d'impression avec dimensions limites et arrangements des pièces 3D à l'intérieur
- Dessin de fabrication du corps de pompe seul, illustrant uniquement la tolérance géométrique de l'intérieur du cylindre vs l'axe du pivot du levier,
- Rapport PolyWorks sur tolérance géométrique de l'axe de levier
  - Rendu Polyworks démontrant le degré de perpendicularité de l'axe du levier vs axe de l'intérieur du cylindre de pompe
  - Interprétation de la perpendicularité mesurée dans Polyworks vs fonctionnement de la pompe.
- Calcul de joint d'étanchéité et un calcul d'encliquetage, (voir format de calcul dans la fiche d'évaluation)
  - Calculs signés/datés par les exécutants du calcul,
  - Co-équipiers #1 & #2 : calcul joint d'étanchéité (voir notes de cours)
  - Co-équipiers #3 & #4 : calcul encliquetage, (forme de calcul suivre modèle projet 1: étapes 5a, 5b, 6a, 6b, 8b) obligatoire
  - Note individuelle pour chaque sous-équipe (#1 & #2), (#3 & #4)
- Remise rapport papier dans la boîte de dépôt près de la porte 1333
- Remise rapport PDF sur portail.

*Présentation :*

- Démo-Présentation, (voir détails ANNEXE 1)
  - Évaluation de la fonctionnalité et de la performance,
  - Présentation 90 s ± 5s:

*Remise pompe pour évaluation :*

- Évaluation de la qualité de conception par les responsables du cours,
- Une déduction sera apportée pour chaque pièce FDM utilisée, joint de colle ou pièces altérées (sablées, limées ou autres) indiquant un moins bon contrôle qualité du processus de conception.

<b>Projet #3: Pompe sans frontières</b>	<b>Évaluer pendant la présentation</b>
<b>CRITÈRES D'ÉVALUATION</b>	Note: Facteur de Multiplication F.M. est multiplié par la note finale de la section
<b>Vue 3D explosée et deux enveloppes SLS (15 pts )</b>	<b>Facteur d'évaluation / # équipe</b>
Qualité de la vue explosée	8 pts
Identification des pièces avec bulle numérique	5 pts
Vue 3D des deux enveloppes d'impression SLS + dimensions externes + arrangement pièces à l'intérieur. Note: pièces qui n'entrent pas dans le volume ne seront pas imprimées	2 pts
Pénalité pour quantité erronée, pièces oubliées ou descriptif flou de la pièce dans la liste de matériel	(-3 pts/ quantité, pièce, descriptif flou)
<b>Contrôle qualité Polyworks ( 15 pts )</b>	
Dessin de fabrication du corps de cylindre + tolérance géométrique seule & Rendu Polyworks	5 pts
Interprétation des résultats	10 pts
<b>Calcul joint d'étanchéité et encliquetage ( 10 pts )</b>	
Calcul joint d'étanchéité signé/daté (co-équipier #1 et #2 note individuelle) (forme de calcul, suivre modèle note de cours pp.15-18)	10 pts
Calcul encliquetage signé/daté (co-équipier #3 et #4 note individuelle ) (forme de calcul suivre modèle projet 1: étapes 5a, 5b, 6a, 6b, 8b) obligatoire	10 pts
<b>Présentation 90s, 1 page ( 10 pts )</b>	
<b>Forme de la présentation (page descriptive)</b>	5 pts
Clarté du propos, doit répondre aux questions suivantes:	
<b>Principe de fonctionnement ?</b>	2,5 pts
<b>Particularité et défi de votre conception ?</b>	2,5 pts
<b>Respect du temps alloué (90s ± 5s)</b>	(-1 pt)
<b>Conception de la pompe ( 30 pts )</b>	
Assemblage	oui 30 pts / non 0 pt (-1 pt/ pièce surplus)
Nombre de pièces minimum (#pièces qui n'ont aucune fonction ou en surplus)	
Pénalités défauts d'assemblage: Assemblage défaillant, pièces libres non maintenues, mauvaise utilisation de vis, mauvaise intégration des goujons, anneau de retenue qui soutiennent une force, pièce manquante, ..	(-3 pt/ défaut)
Pénalités pour pièces FDM ou FFF	(-5 pts/ pièce FFF )
Pénalité pour altération des pièces (limage excessif, découpage, sciage, collage, ..)	(-5 pts/ altération)
Pénalité pour pièces industrielle hors liste	(-10 pts/ pièce non listée)
Pénalité pour pièces perdues ou endommagées	(-5 pts/ pièce perdue, endommagée)
Pénalité pour pièces non identifiées avec # équipe	(-3 pts/ pièce non-identifiée)
<b>Performance de la pompe ( 20 pts x F.M. )</b>	
<b>Réussir à pomper de l'eau</b>	oui F.M.=1 / non F.M.=0
Pompe pression/ pompe atmosphérique	pression F.M.=1 / atmosphérique F.M.=0,8
<b>Étanchéité (présence et intensité des fuites)</b>	Aucune fuite: --, Fuite partielle:(-1 pt), Fuite importante: (-2 pts)
Fluidité du mouvement de pompage (i.e. Frottement excessif, coincement, effet tiroir, discontinuité du mouvement, jeux trop grand ou trop serré, mauvaises proportions, mécanisme déficient, ...)	( -1 pt/item)
<b>Pénalité pour bris pompe pendant opération</b>	(-2 pts)
<b>Rapidité d'amorçage à sec</b> # aller/retour( a/r) levier pour amorcer la pompe	( +5 pts ) Note de base = +2 pts, si on doit ajouter eau manuellement dans le cylindre pour amorcer
0	$70\% + 30\% \left( \frac{\mu - \#a/r}{\mu - \#a/r_{\min classe}} \right)$
<b>Débit [ml] pour 10 aller/retour du levier de pompage</b>	# ml/10 aller-retour (+15 pts )
0	$70\% + 30\% \left( \frac{ml_{\text{mesuré}} - \mu}{ml_{\max classe} - \mu} \right)$

TOTAL (#1 & #2) / 100  
TOTAL (#3 & #4) / 100

## **ANNEXE1 : (Exemple de présentation)**

### **1. Démonstration du fonctionnement ( 2 minutes)**

- L'équipe se présente à l'avant de la classe, installe leur pompe sur le bassin d'essai et fait fonctionner la pompe, pour :
  - i. mesurer le nombre d'aller-retour du levier pour amorcer la pompe à partir d'une pompe évidée,
  - ii. mesurer le nombre de millilitre d'eau pompé pour 10 aller-retours de levier.
  - iii. vérifier l'étanchéité,
  - iv. vérifier la durabilité.
- Vous devez remettre la pompe au responsable du cours pour évaluation après votre démonstration.

**POMPE #EQ**

### **2. Présentation 90s ± 5s (1 page)**

- **Photo ou CAD**
- **Titre**
- **Principe de fonctionnement**
  - Spécifier le nombre total de pièces
- **Particularités du concept, de l'assemblage, du fonctionnement et défi technique ou incertitude (si applicable)**

**Ex :** bas coût, peu de pièces, facilité d'opération, friction minimum, efficacité, performance, mécanisme simple, durabilité, facilité de fabrication, facilité d'assemblage, esthétisme, entretien minimum, ....

## ANNEXE1 : (Exemple de présentation)

### TRANSMISSION AUTOMATIQUE DE VÉLO #0



Transmission Shimano SG-705 11-vitesses + Contrôleur de transmission (24 pièces mécaniques)  
engrenages internes

- **Fonctions :**

- Une cadence de pédalage optimum, propre à chaque cycliste, permet un effort sur une plus longue durée (60 @100 RPM),
- Cadence ajustable et adaptée en temps réel selon niveau d'entraînement et de fatigue.

- **Particularités :**

- µcontrôleur/servo moteur,
- Cadence ajustable par communication Bluetooth/ Cellulaire,
- Possibilité de changement de vitesse manuel ou automatique,
- Aucune batterie, super-condensateur chargé par mouvement du vélo,
- Optimise distance/effort d'un cycliste,
- Entretien minimum.

- **Défis techniques**

- Rapidité et précision : changements de rapport de transmission,
- Étanchéité IP67.

**ANNEXE 2 : (Pièces industrielles standard disponibles, incluant # McMaster Carr pour spécifications, dessins techniques sur portail)**

1.  18-8 Stainless Steel Socket Head Screw  
M3 x 0.5 mm Thread, 10 mm Long  
91292A113
2.  18-8 Stainless Steel Socket Head Screw  
M3 x 0.5 mm Thread, 25 mm Long  
91292A020
3.  18-8 Stainless Steel Socket Head Screw  
M3 x 0.5 mm Thread, 60 mm Long  
91292A267
4.  18-8 Stainless Steel Hex Nut  
M3 x 0.5 mm Thread  
91828A211
5.  Oversized Washers  
M3 Screw Size, Passivated 18-8 Stainless Steel, 3.2 mm ID, 9 mm OD  
97310A127
6.  Flat Head Thread-Forming Screws for Plastic  
Torx Drive, 90 Degree Countersink, M3 Size, 12 mm Long  
95893A192

**ANNEXE 2 : (Pièces industrielles standard disponibles, incluant # McMaster Carr pour spécifications, dessins techniques sur portail)**

7.  Flat Head Thread-Forming Screws for Plastic  
Torx Drive, 90 Degree Countersink, M3 Size, 20 mm Long  
95893A196
8.  Flat Head Thread-Forming Screws for Plastic  
Torx Drive, 90 Degree Countersink, M3 Size, 30 mm Long  
95893A198
9.  Screwdriver  
T8 Torx  
5756A12
10.  Oil-Resistant Buna-N O-Ring Cord Stock  
3/32 Fractional Width, 0.103" Actual Width  
9407K11
11.  X-Profile Oil-Resistant Buna-N O-Ring Cord Stock  
3/32 Fractional Width, 0.103" Actual Width  
1034T11
12.  Instant-Bond Adhesive  
Loctite® 406, 0.7 FL. oz. Bottle  
74765A32

**ANNEXE 2 : (Pièces industrielles standard disponibles, incluant # McMaster Carr pour spécifications, dessins techniques sur portail)**

13.



Delrin® Acetal Resin Ball  
8 mm Diameter  
9614K68

→ plus légère  
→ pas flétrir dans  
une valve

14.



Hardened Bearing-Quality 440C Stainless Steel Ball  
8 mm Diameter  
1598K29

15.



302 Stainless Steel Corrosion-Resistant Compression Springs  
0.5" Long, 0.3" OD, 0.256" ID  
9435K5

16.



18-8 Stainless Steel Shim Stock  
6" Wide x 12" Long Sheet, 0.005" Thick  
9784K615

17.



18-8 Stainless Steel Shim Stock  
6" Wide x 12" Long Sheet, 0.01" Thick  
9784K616

18.



Super-Soft Multipurpose Neoprene Rubber Sheet  
12" x 24", 1/16" Thick  
9109K42  
Durometer  
✓ 10A (Soft)

**ANNEXE 2 : (Pièces industrielles standard disponibles, incluant # McMaster Carr pour spécifications, dessins techniques sur portail)**

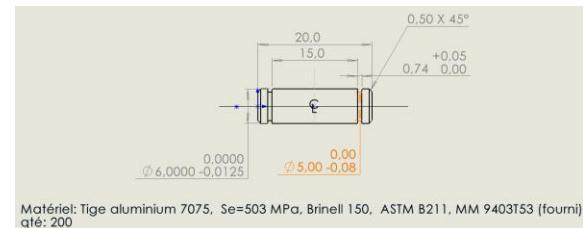


19.

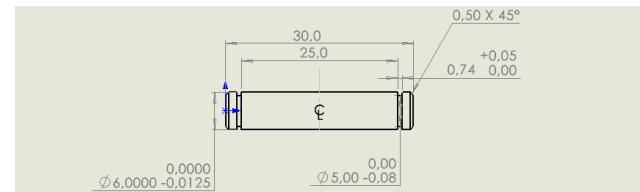
Plastic Barbed Hose Fitting

for Water, Adapter, 3/8" Hose ID, 1/8 NPT Male, 150 PSI

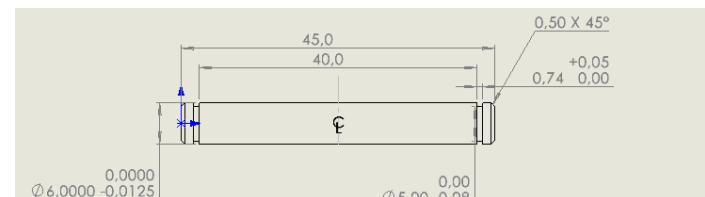
5218K695



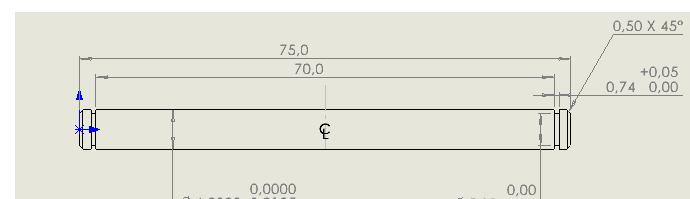
20.



21.

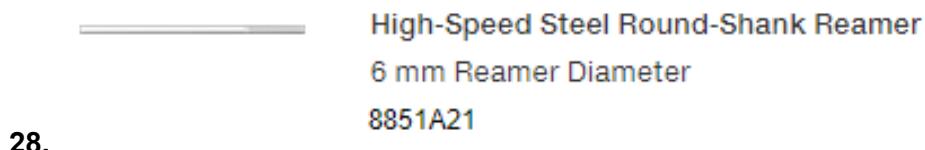
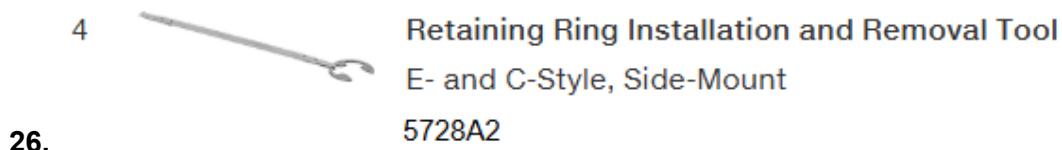
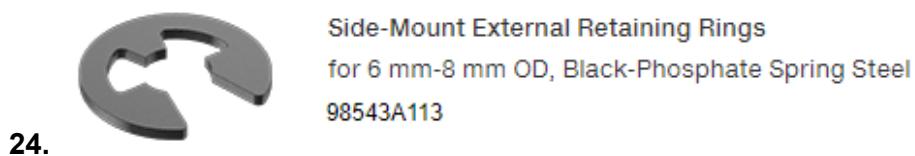


22.



23.

**ANNEXE 2 : (Pièces industrielles standard disponibles, incluant # McMaster Carr pour spécifications, dessins techniques sur portail)**



**ANNEXE 2 : (Pièces industrielles standard disponibles, incluant # McMaster Carr pour spécifications, dessins techniques sur portail)**

30.  High-Speed Steel Round-Shank Reamer  
with Straight Flute, 0.2385" Reamer Diameter  
8803A459  
6.100 mm

31.   
Structural Adhesive  
Quick-Set Epoxy, J-B Weld Kwikweld, 10 FL. oz. Tube  
7605A17