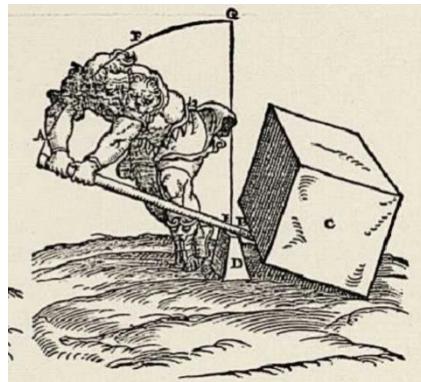


# GMC-3024 : Ingénierie & Conception 3

## Projet 4 : Système de levage

### Processus de conception & Calculs d'ingénierie



Par  
Alain Curodeau ing. Ph.D.

- **Contexte :**

Conception d'un système de levage permettant de soulever de 38 mm une charge maximum de 650 lbs (295.5 kg) (de H = 140mm @ 178 mm) en un temps inférieur à 60 secondes.

- **Description :**

Concevoir un système de levage électrique qui sera principalement fabriqué par le procédé de fabrication additive SLS, en conjonction avec des pièces industrielles sélectionnées. Quatre solutions de principe doivent être proposées, desquelles une seule ou une version hybride doit être sélectionnée à l'aide d'une grille d'évaluation. Les spécifications de fonctionnement normal et mode de défaillance en surcharge du système doivent être calculées et seront vérifiées expérimentalement.

- **Objectifs à atteindre**

1. Application de la méthode de conception de machines,
2. Respect d'un cahier de charge et sélection de solutions,
3. Calcul des spécifications de fonctionnement,
4. Calcul de faisabilité et d'ingénierie,
5. Créer fiche de spécifications,
6. Évaluer mode de défaillance,
7. Conception pour l'assemblage dans le contexte de fabrication additive,
8. Utilisation de pièces industrielles standards,
9. Fonctionnalité d'un système de levage électrique,

- **Équipes :**

Équipes de 4 étudiants

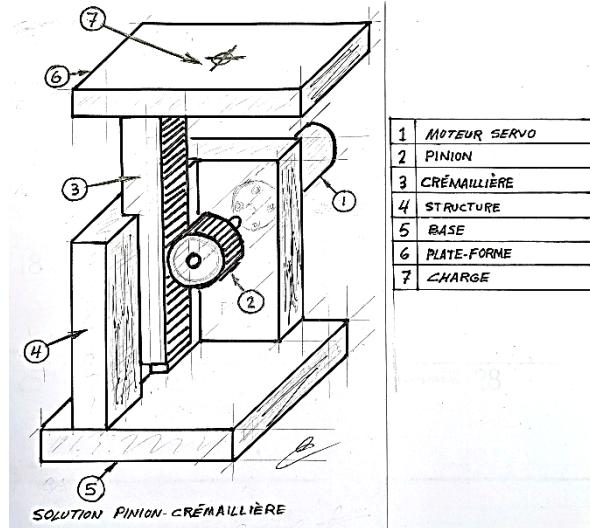
- Cahier des charges :**

Concevoir et fabriquer un système de levage répondant au cahier des charges suivant :

Caractéristiques	Valeur MIN	Valeur visée ou attribut	Valeur MAX
<b>Fonctionnalités</b>			
Masse soulevée (condition de mouvement libre)	Plate-forme 50 lbs (22.7 kg)	À confirmer par vos calculs	650 lbs (295,5 kg)
Espace disponible en Z [mm] pour insérer système	140 mm		178 mm
Hauteur de déplacement $\Delta Z$ [mm]		38 mm	
Temps de montée	0 s		60 s
Système d'entraînement : Servo-moteur			1.2 Nm nominal Essai destructif 10 s @ 2.2 Nm
Alimentation	0 V		24 V
Système de contrôle du servo-moteur		Boîte de contrôle ANNEXE 1	
Vitesse angulaire du moteur [RPM]	0 RPM	Voir courbe couple-vitesse du moteur	300 RPM
Capacité de plateforme lbs [kg] (condition statique bloquée)			3000 lbs (1363 kg)
Mesure de la masse soulevée			3000 lbs max $\pm 0.1\%$
Mesure de la hauteur de montée			300 mm
<b>Contraintes dimensionnelles</b>			
Empreinte du système de levage [mm x mm]		À confirmer pour votre concept	150mm x 150mm
Dimensions XYZ maximum des pièces SLS		(voir item 8)	
<b>Fabrication</b>			
Matériel disponible		SLS / Pièces industrielles A2	
Fluides disponibles pour solution hydraulique/pneumatique		Eau/Air	
Nombre de lots de production SLS		2 x (enveloppe XY + enveloppe Z)	4
Procédés secondaires autorisés		Perçage/alésage/taraudage/ Découpage laser élastomère	
Minimiser nombre de pièce		OUI	
Collage, altérations et pièces autres que A2		Pénalités	

- **Détails du cahier des charges**

- 1) Proposer quatre solutions de principe A, B, C et D (dessin 3D main levée + paragraphe explicatif) (une solution par co-équipier)
  - a) Exemple du niveau de détails attendus (pas de vis ni roulement,...etc.) seulement pièces principales:



**Explications :** Cette solution implique un moteur électrique asservi 1 qui entraîne un mécanisme pignon-crémaillière 2-3 vertical. Une plate-forme 6 est fixée à l'extrémité de cette crémaillière 3. La charge sera positionnée sur le dessus de cette plate-forme en 7. L'entraînement du pignon 2 doit inclure un système anti-rétroaction pour éviter que la charge ne redescende lorsque le moteur est désactivé. La rainure dans laquelle glisse la crémaillière 3 doit inclure un palier à bas coefficient de friction. La base+structure et crémaillière 5-4-3 doivent résister aux instabilités en flambage.

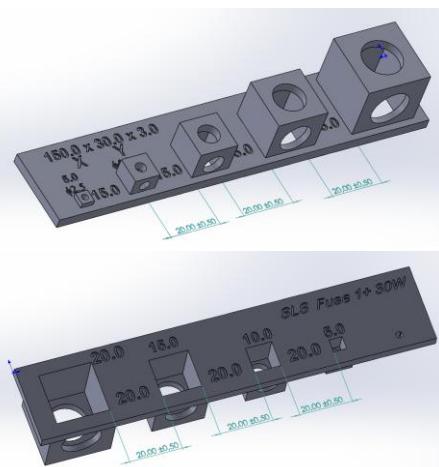
- 2) Compléter la grille de comparaison + paragraphe de justification du choix de solution A, B, C, D ou hybride suivant les critères d'évaluation suivants :

Critères	importance	A 0-100%	B 0-100%	C 0-100%	D 0-100%	A	B	C	D
Propension à soulever une lourde charge	35								
Variabilité du niveau de charge pouvant être soulevée en fonction de la hauteur ou géométrie	15								
Complexité/Nombre de pièces	25								
Niveau d'incertitudes ou de risque	25								
<b>TOTAL</b>									

- 3) La hauteur hors-tout du système de levage doit être < 140 mm en position initiale, afin de pouvoir s'insérer à l'intérieur de la plate-forme de levage, qui présente un espace au repos de 140 [mm],
  - a) La plate-forme de levage permet une hauteur finale du système de levage de 178 mm,
  - b) À 178 mm, le système de levage s'appuie sur une butée, sur laquelle une force maximale équivalente à une charge de 3000 lbs (1363 kg) peut être exercée et mesurée.
  - c) Le système de levage doit être en mesure de s'appuyer sur la butée en fin de course @ 178 mm pour procéder à l'essai destructif.
  - d) Le contrôleur du moteur est mis en arrêt automatiquement lorsque la charge atteint 3000 lbs (1363 kg).
- 4) Le système doit obligatoirement être entraîné par le servo-moteur fourni (voir annexe 2, item 44)
  - a) Le moteur permet un couple nominal maximum de 1.2 Nm @ 180 RPM limité par programmation,
  - b) Le point d'opération de votre système doit nécessairement se situer sous la barre de < 1.2 Nm,
    - i) Note : Ne pas viser un point d'opération trop près de 1.2 Nm,
  - c) voir plage de fonctionnement couple-vitesse angulaire sur le portail,
  - d) dessin STEP et plan de fabrication DWG du moteur disponible sur le portail,
  - e) Couple ultime en mode « boost » de 2.2 Nm pendant 10 s maximum pour essai destructif seulement.
- 5) Un pignon est disponible pour le moteur (voir Annexe 2, item 43). Il s'agit d'un engrenage droit M1.5–12 dents-diamètre primitif 18 mm, 15 mm large–20°angle de pression, (voir portail pour CAD 2D et 3D détails)
  - a) Le pignon est maintenu en place sur l'arbre du moteur à l'aide d'une vis de pression M3 (Annexe 2, item 42),
  - b) Vous pouvez aussi concevoir et fabriquer avec la machine SLS votre propre pignon ou autre composant personnalisé pouvant s'assembler directement sur l'arbre du moteur.
- 6) Déterminer
  - a) Point d'opération (mode normal maximum)
  - b) Mode de défaillance en surcharge (mode essai destructif)
- 7) Système de levage doit être fabriqué seulement à partir de pièces SLS et pièces industrielles fournies dans le cours,

- 8) Fabrication additive avec procédé SLS (*Selective Laser Sintering*):

  - a) Quatre volumes de production de pièces SLS Nylon 12 renforcé sont disponibles, i.e. 2 x ( Volume 1 + Volume 2 ) :
    - i) Volume 1 : Préférentiel axe Z:  $x=50 * y=50 * z=95 \text{ mm}$
    - ii) Volume 2 : Préférentiel axes X-Y :  $x=75 * y=150 * z=22 \text{ mm}$
    - iii) \*\*Note : Les pièces aux dimensions et/ou comme ensemble excèdent l'enveloppe prescrite ne seront pas fabriquées.
    - iv) Limite ultime  $S_u$  : Nylon 12
      - (1)  $S_{u\_XY} = 31,2 \text{ MPa}$  @  $\varepsilon_{\text{rupture}} = 16\%$
      - (2)  $S_{u\_Z} = 23,6 \text{ MPa}$  @  $\varepsilon_{\text{rupture}} = 5\%$
      - (3) (voir essai traction fichier excel sur le portail pour plus de détails)
    - v) Module élastique :  $E = 1450 \text{ MPa}$
    - vi) Gabarit de dimensionnement



Machine SLS max : 159.8 x 159.8 x 295.5 mm

- b) Toutes les pièces doivent être identifiées avec le numéro d'équipe, (voir règles de conception SLS)
  - c) \*\*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.
  - d) Conception pour nombre minimum de pièces.

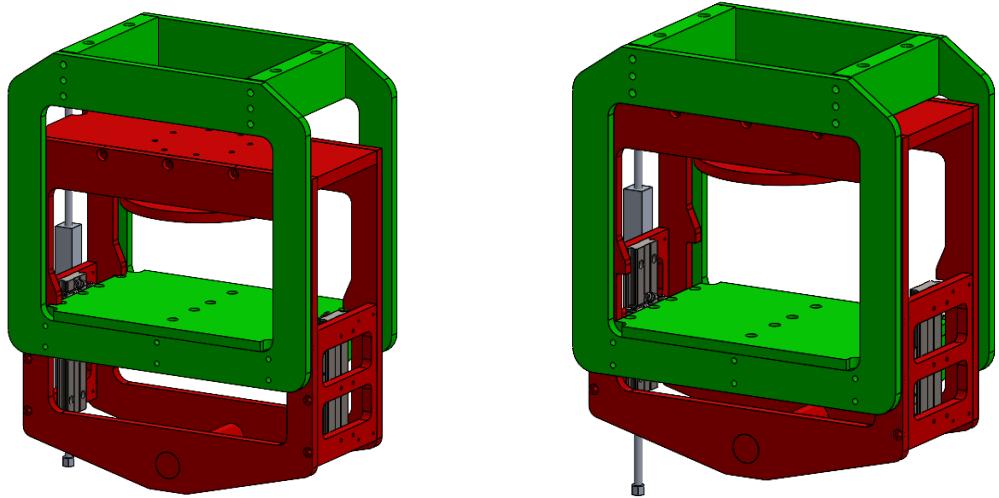
9) Qualité de l'assemblage

  - a) Pièces directement assemblables n'impliquant aucune finition et un minimum d'ajustement,
  - b) Pièces ne s'endommage pas à l'assemblage,
  - c) Système de levage doit être dé-assemblable sans bris,
  - d) Tous les composants doivent être maintenus en place et former un tout indissociable.

10) Assemblage/Désassemblage:

  - a) Colle considérée comme altération (sauf pour joint torique)
  - b) Pièces industrielles sélectionnées seulement (voir ANNEXE 2)

- Schéma de la plate-forme de levage



- **Méthodologie:**
  - Machine disponible : SLS FormLab Fuse 1+ 30W,
    - Matériel : Nylon 12 chargé (sans azote)
  - Machine FFF disponible réservée pour le cours (plan B): (Bambu Lab),
    - Matériel : Tough PLA
    - Implique déduction au niveau des critères de conception,
  - Machine disponible (découpeuse laser pour polymère)
    - Fournir fichier.DXF (2D)
    - Ex. Découpe caoutchouc mince
  - Pièces industrielles disponibles (voir ANNEXE 2):
  - Quatre volumes de production de la machine SLS seront effectués :
    - (i.e. deux lots des volumes 1 et 2 attribués)
      - Lot#1 : Volume 1 en Z et Volume 2 en XY
      - Lot#2 : Volume 1 en Z et Volume 2 en XY.
  - Identification des fichiers.stl :
    - Pièces pour préférentiel axe Z : *Z\_lot#\_EQ#eq\_P#pièce.stl*
      - Ex : Équipe 2, pièce 7, Z : ***Z\_lot1\_EQ2\_P7.stl***
    - Pièce pour préférentiel X-Y : *XY\_lot#\_EQ#eq\_P#pièce.stl*
      - Ex : Équipe 15, pièce 4, XY : ***XY\_lot1\_EQ15\_P4.stl***
    - Si vous avez deux ou plusieurs pièces identiques, envoyer un fichier par pièce en les identifiant comme suit :
      - Ex : Équipe 15, 3x pièce 4 , XY :
        - XY\_lot1\_EQ15\_P4A.stl, XY\_lot2\_EQ15\_P4B.stl, XY\_lot2\_EQ15\_P4C.stl***
  - Une seule date de tombée sur le portail pour les quatre lots :

**Semaine 13, le vendredi 28 novembre 13h30**

    - a. Remettre fichiers.STL
      - i. Attention résolution des triangles,
      - ii. Dimensions en **mm**, échelle 1:1,
      - iii. Pour assurer l'impression SLS dans la bonne orientation, positionner l'axe Z lors de la conception de la pièce.
    - b. Remettre la représentation des quatre 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 quatre enveloppes de matériel.  
\*\*Note : Les pièces aux dimensions et/ou comme ensemble excèdent l'enveloppe prescrite ne seront pas fabriquées.

- c. Remettre vue explosée du système de levage (version papier et version pdf sur portail) , 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) (i.e BOM Bill of Material) .

#bulle	qté	Description complète
--------	-----	----------------------

Nous vous remettrons seulement les pièces industrielles clairement identifiées sur cette vue explosée (& Bon de commande).

- i. Inclure TOUTES les pièces dans la liste de matériel, incluant vis, rondelle, anneau de retenue, ...etc.
  - ii. TOUTES les pièces doivent être visibles dans la vue explosée et illustrées avec lignes pointillées d'ordre d'assemblage,
  - iii. Spécifier longueur de vis et éviter #pièce McMaster,
  - iv. Spécifier circonférence et géométrie du joint d'étanchéité le cas échéant,
  - v. Inclure fichier .DXF si découpage laser nécessaire.
- d. Compléter et remettre une copie EXCEL et papier du bon de commande avec l'information correspondant au tableau de nomenclature de votre vue explosée. (voir Bon de commande générique sur portail)
- Distribution des pièces SLS et industrielles à la **semaine 14, soit le jeudi 4 décembre**,
  - Un courriel sera envoyé aux équipes pour leur indiquer quand et où les pièces seront disponibles.
  - 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.
    - Attention aux propriétés différentes du PLA pour vos calculs.
    - L'utilisation de pièces non-listées (Annexe 2) entraînera aussi une déduction au même titre que l'utilisation de pièces FDM.
    - L'ajout d'une pièce oubliée qui n'apparaît pas dans la liste initiale de nomenclature des pièces (+vue explosée) entraînera aussi une déduction au même titre que l'utilisation de pièces FDM.

- Tous les plans de fabrication des pièces industrielles mises à votre disposition ainsi que leur numéro d'identification McMaster Carr sont disponibles sur le portail. (voir ANNEXE 2 pour la liste des pièces disponibles)
- La démonstration des systèmes de levage aura lieu **le jeudi 11 et vendredi 12 décembre**. Nous procéderons en ordre décroissant de numéro d'équipe en débutant par l'équipe 34.

- **Livrables** : (valeur 35 % note finale)

*Rapport papier et PDF:*

Remise rapport papier dans la boîte de dépôt près de la porte 1333  
Remise rapport PDF sur portail.

1. **Page titre** : Cours GMC-3024 Ingénierie et conception 3, Projet 4, titre du projet, présenté à, numéro d'équipe, liste des co-équipiers avec # + participation, date, Université Laval (voir gabarit sur portail)
2. **Vue CAD 3D explosée** (isométrique, fil de fer noir et blanc, ligne pointillée d'assemblage, lignes cachées supprimées) du système de levage,
  - À remettre en version PDF et papier en même temps que les fichiers.stl à la date de tombée d'impression SLS **et** inclure aussi dans le rapport final,
  - Item flèche-bulle numéroté pour chaque pièce,
  - Tableau de nomenclature de toutes les pièces,
    - (# bulle, qté, description),
  - Indiquer à l'aide d'une note de dessin, le nombre total de pièces,
  - Compléter et remettre en version EXCEL et papier le bon de commande des pièces faisant partie de votre système de levage (voir Bon de commande générique sur portail Projet 4)
    - Nommer le fichier Bon de commande avec votre numéro d'équipe : ex : **Bon de commande EQ1.xlsx**
3. Capture d'écran des **quatre enveloppes d'impression** avec dimensions limites et arrangements des pièces 3D à l'intérieur
  - Respecter limites d'enveloppe
4. Présentation de **quatre croquis main levée** de principes de solution
  - Croquis 3D à la main de quatre solutions, (1 croquis/coéquipier),
  - Identifier pièces principales avec bulles numérotées,
  - Un paragraphe d'explication pour chaque solution,
  - Grille de sélection de solution complétée,
  - Un paragraphe pour décrire le raisonnement derrière le choix de la solution.
  - Identification/Signature
5. **Un calcul de faisabilité et trois calculs d'ingénierie** :
  - Vue isométrique du système de levage
  - Encercler et numérotter (Calcul #2 @ Calcul#4), les trois zones (pièce ou partie de pièce) pour lesquelles les calculs d'ingénierie ont été effectués,
  - Produire quatre calculs présentés de la façon suivante (obligatoire):

### **Format obligatoire de présentation des calculs :**

Pour le calcul #1, suivre les étapes prescrites dans la description suivante. Pour les calculs #2, #3 et #4, suivre le modèle de calcul présenté dans le document du projet 1, soit :

1. 4a,
2. 5a,
3. 5b ii)
4. 6a & 6b
5. 8b i @ vii avec F.S.  $\geq 1.25$

### **Calcul #1 : CALCUL DE FAISABILITÉ**

#### **SYSTÈME DE LEVAGE COMPLET:**

(Co-équipier #1)

1. Faire le diagramme du corps libre DCL de chaque composant du système de levage faisant partie du chemin de force, en partant du couple moteur jusqu'à la charge soulevée,
2. Spécifier (si applicable), la hauteur intermédiaire H qui implique une force plus élevée sur un ou plusieurs composants du système de levage par rapport à d'autres hauteurs H, et ce, indépendamment de la masse appliquée. Deux cas peuvent être identifiés :
  - a. Les mêmes niveaux de force se retrouvent dans les composants du système, peu importe la hauteur H de déploiement entre 140 mm et 178 mm . Les calculs suivants pourront se faire indépendamment de la hauteur H.
  - b. Il y a une hauteur H du système de levage (entre 140 mm et 178 mm) pour laquelle des niveaux de forces accrus sont engendrés par rapport à d'autres hauteurs H. Identifier cette hauteur H et l'utiliser pour les calculs suivants.
  - c. Justifier la hauteur H à l'aide d'un calcul.
3. La suite du calcul procède par itération.
4. Pour débuter, calculez le couple  $C_{mot}$  qui doit être appliqué par le moteur pour faire monter la masse maximum  $M_{charge}=650 \text{ lbs (295,5 kg)}$ ,
  - a. **Si  $C_{mot} \geq 1.2 \text{ Nm}$** , il y a deux options :
    - i. Modifier votre concept pour augmenter le rapport de transmission de votre système,  
Reprendre le calcul à l'étape 1.
    - ii. OU, ne pas modifier le concept et réduire la masse devant être soulevée en continuant à l'étape 5 du calcul.
  - b. **Si  $C_{mot} < 1.2 \text{ Nm}$**  alors :
    - i. Déterminer le point d'opération du moteur (i.e. vitesse  $N_{mot}$  (RPM) correspondant au couple calculé) en consultant la courbe Couple-vitesse du moteur.
    - ii. Vous avez maintenant obtenu trois valeurs importantes sur le fonctionnement de votre système de levage soit :
    - iii.  $M_{charge}= 650 \text{ lbs (295,5 kg)}$ ,  $C_{mot}$  et  $N_{mot}$
    - iv. Passer à l'étape 7

5. Calculer la masse maximum  $M_{charge}$  qui peut être soulevée lorsqu'un couple nominal  $C_{mot} = 1 \text{ Nm}$  est appliqué au moteur. Cette masse sera nécessairement < 650 lbs (295.5 kg) mais représente la masse que votre concept actuel de levage est en mesure soulever.
  - a. Si vous êtes satisfait de la valeur  $M_{charge}$ , continuez le calcul à l'étape 6,
  - b. Si non, si votre but est de soulever une charge  $M_{charge}$  plus lourde, reprendre à l'étape 1 en modifiant votre concept avec un rapport de transmission plus grand.
6. Déterminer le point d'opération du moteur (i.e. vitesse  $N_{mot}$  (RPM) correspondant au couple  $C_{mot}$ ) en consultant la courbe Couple-vitesse correspondante du moteur.
  - a. Vous avez maintenant obtenu trois valeurs importantes sur le fonctionnement de votre système de levage soit :
    - i.  $M_{charge}, C_{mot} = 1 \text{ Nm}$  et  $N_{mot}$
7. À l'aide du point d'opération du moteur, calculer le temps de montée  $t_{montée}$  nécessaire pour que votre système de levage parcoure une distance de 38 mm à partir de sa hauteur nominale de 140 mm.
  - a. **Si  $t_{montée} \geq 60 \text{ s}$ ,**
    - i. Vous pouvez réduire  $M_{charge}$  pour qu'elle soit << 650 lbs, et recommencer à l'étape 3,
    - ii. Vous pouvez modifier votre concept de levage en réduisant son rapport de transmission et reprendre à l'étape 1.
  - b. **Si  $t_{montée} < 60 \text{ s}$ ,**
    - i. Votre système est correctement conçu, vous pouvez arrêter le calcul 1 maintenant,  
Vous pouvez utiliser les valeurs :  $M_{charge}, C_{mot}, N_{mot}$  et  $t_{montée}$  pour la suite des calculs,  
Passez à l'étape 8,
    - ii. OU, vous pouvez tenter d'augmenter la masse soulevable  $M_{charge}$  en modifiant votre concept, et en augmentant le rapport de transmission.  
Reprendre du début à l'étape 1.
8. Vous avez maintenant calculé les valeurs de base du fonctionnement de votre système de levage ( $M_{charge}, C_{mot}, N_{mot}$  et  $t_{montée}$ ). Par contre, aucun facteur de sécurité n'a vraiment été appliqué et ces valeurs ne tiennent pas compte de la résistance des pièces SLS et industrielles faisant partie de votre concept. Les calculs d'ingénierie #2, #3 et #4 suivants, permettront de confirmer :
  - a. La résistance aux bris de votre système de levage en permettant de dimensionner adéquatement les composants critiques du système avec un facteur de sécurité F.S.  $\geq 1.25$ ,

- b. OU de vous révéler les zones de faiblesse (rupture, flexion excessive, flambage) difficile à corriger dans le concept actuel, et qui nécessiteront soit de :
  - i. réduire la masse  $M_{charge}$  initialement calculée en 4b iii) ou en 6a i) et de reprendre le calcul à l'étape 3 avec une  $M_{charge}$  réduite @ << 650 lbs.
  - ii. ou de revoir le concept et reprendre à l'étape 1.
  
- 9. Dans un deuxième temps, évaluer le cas de surcharge du système de levage en position bloquée @  $H = 178$  mm. Un essai destructif sera effectué à cette hauteur, à partir de laquelle on augmentera graduellement le couple du moteur jusqu'à ce qu'un bris, une flexion excessive ou un arrêt du moteur ne se manifeste. Cette défaillance surviendra avant ou à l'atteinte de la première occurrence d'une des limites de système suivante, soit :  $C_{mot\_boost} = 2.2$  Nm ou  $M_{surcharge} = 3000$  lbs (1363 kg). Pour connaître la limite en surcharge, calculez la masse maximum  $M_{surcharge}$  qui peut être soulevée (en mode statique i.e. bloquée à  $H=178$  mm) avec le couple au moteur boost @  $C_{mot\_boost} = 2.2$  Nm. Ce couple moteur ultime peut être appliqué pendant un maximum de 10 s et sera utilisé lors de l'essai destructif.
  - a. Calculer  $M_{surcharge} @ C_{mot\_boost} = 2.2$  Nm
  - b. Si  $M_{surcharge} > 3000$  lbs (295,5 kg) alors considérez  $M_{surcharge} = 3000$  lbs (295,5 kg), ce qui représente la limite de la cellule de charge utilisée pour mesurer la masse installée sur votre système de levage. Dans l'éventualité où le système tenterait de dépasser la valeur 3000 lbs, le contrôleur du moteur serait mis en arrêt automatiquement ou en d'autres termes, serait bloqué à 3000 lbs.
  - c. Si  $M_{surcharge} \leq 3000$  lbs (295,5 kg), conserver cette valeur.
  
- 10. Présenter le calcul #1 en incluant seulement la dernière itération ou version de votre concept de levage.

## **CALCULS D'INGÉNIERIE :**

**CALCUL #2\_#PIÈCE:**  
**(Co-équipier #2)**

1. En utilisant la hauteur H (orientation géométrique impliquant un maximum de force interne) du système de levage et la masse  $M_{charge}$  déterminées au calcul #1, calculer la contrainte locale maximum  $\sigma_{max}$  calcul#2 #3 ou #4 (i.e. tension, torsion, cisaillement, compression, ou combinaison), la flexion excessive  $\delta > x$  mm ou l'instabilité en flambage d'une zone de la #pièce identifiée initialement comme point faible potentiel #2, #3 et #4 respectivement. Utiliser les dimensions de pièce prévues dans votre concept initial comme point de départ.

2. Comparer la contrainte maximum  $\sigma_{max} \leq \frac{S_e}{F.S.}$ . Vous pouvez moduler la valeur F.S.  $\geq 1.25$  selon votre niveau de tolérance au risque,

- a. Si  $\sigma_{max} \leq \frac{S_e}{F.S.}$ , alors la pièce en question est bien conçue et résistera à la masse  $M_{charge}$ . Passer à l'étape 4,
- b. Si  $\sigma_{max} > \frac{S_e}{F.S.}$ , alors passez à l'étape 3

Note : Dans les cas d'un calcul de flexion, estimatez une valeur de flexion maximum acceptable  $\delta < x$  mm et en flambage une valeur critique de force de flambage.

3. Si nécessaire, modifiez les dimensions de la pièce pour satisfaire à la condition du point 2a et assurer un fonctionnement sans bris du système de levage avec la masse  $M_{charge}$  provenant du calcul #1.

- a. Reprendre l'étape 2 avec les nouvelles dimensions,
- b. Dans l'impossibilité de trouver des dimensions appropriées permettant à la pièce de résister aux contraintes, vous avez deux options :
  - i. Réduire la masse  $M_{charge}$  provenant du calcul #1 et reprendre le calcul#x à l'item 1 avec une masse  $M_{charge}$  réduite.
  - ii. Modifier le concept et reprendre tous vos calculs en débutant par le calcul#1.

4. Dans un deuxième temps, évaluer le cas de surcharge pour le système de levage en position bloquée @  $H= 178$  mm. Dans ce cas, utilisez la valeur  $M_{surcharge}$  calculée à l'item 9a, 9b ou 9c du calcul#1. Suivre les consignes du point 1 précédent @  $H=178$  mm pour calculer l'état de contraintes en surcharge avec  $F.S. = 1$ .

- a. Si  $\sigma_{max} \leq S_e$ , alors la pièce en question devrait résister en surcharge et c'est le moteur qui se bloquera sans qu'il n'y ait de bris en surcharge,
- b. Si  $\sigma_{max} > S_e$ , alors la pièce en question risque de s'endommager, il y aura probablement bris du système de levage avant que le moteur ne soit mis à l'arrêt.

Pendant l'essai en surcharge, on augmentera graduellement le couple du moteur jusqu'à l'atteinte de  $M_{surcharge}$  ou en d'autres mots, la première occurrence de ( $C_{mot\_boost} = 2.2$  Nm ou  $M_{surcharge} = 3000$  lbs (1363 kg)).

5. Les co-équipiers #3 et #4 doivent compléter le même processus pour les CALCUL#3, PIECE# et CALCUL#4, PIECE# respectivement.

## 6. Résultats attendus des calcul #2, #3 et #4 :

### **Mode normal maximum d'opération :**

$\sigma_{max}$  calcul#2 #3 ou #4 en deçà de la limite permise @ F.S.= x, pour une  $M_{charge} = x$  lbs (x kg) ou  $M_{charge\_réduite} = x$  lbs (x kg)

### **Mode surcharge :**

$M_{surcharge}$  entraîne  $\sigma_{max} \leq S_e$ , moteur s'arrête, aucun bris  
ou

$M_{surcharge}$  entraîne  $\sigma_{max} > S_e$ , bris de la pièce# en surcharge (calcul #x)

## **Conclusion (Compte rendu des résultats)**

En analysant les résultats des calcul #1, #2, #3 et #4, vous êtes maintenant en mesure de compléter la fiche de spécifications du manufacturier, propre à votre système de levage, avec les données suivantes :

### **1. Point d'opération normal maximum:**

- Valeurs :  $C_{mot}$ ,  $N_{mot}$  et  $t_{montée}$ ,
- Sens de rotation du moteur pour faire monter masse,
- Charge maximum lbs [kg] que le système peut soulever de 38 mm en <=60s avec un couple <= 1.2 Nm @ F.S. >= 1.25, soit la plus petite valeur parmi :
  - $M_{charge\_calcul\#1}$  OU  $M_{charge\_réduite\_calcul\#2}$ , OU  $M_{charge\_réduite\_calcul\#3}$ , OU  $M_{charge\_réduite\_calcul\#4}$ ,  
*Note : Incrire la valeur de charge maximum  $M_{charge}$  correspondante sur votre fiche de spécifications en arrondissant à un multiple de 25 lbs (limite basse plus proche), parce que la charge, utilisée pour l'essai, sera formée d'un empilement d'haltères en unité de 25 lbs .*

### **2. Mode surcharge**

- Valeur  $M_{surcharge}$  qui entraîne la plus grande valeur de contrainte  $\sigma_{max}$  & #calcul correspondant,
- Mode de défaillance
  - Arrêt moteur, aucun bris
  - Ou Bris de la pièce# selon calcul #x

### **3. Nature de la défaillance (le cas échéant)**

- Arrêt moteur, rupture, flexion excessive ou flambage.

### **4. Vous pouvez maintenant compléter le fichier de spécifications techniques aux pages 15 et 16 de ce document (espaces blancs pour vos résultats, espaces ombragés réservés aux évaluateurs lors de l'essai).**

Vous remettrez cette fiche technique, en version papier, au responsable du cours juste avant de procéder aux essais de qualification de levage.

# Projet IV: Système de levage

## FICHE DE SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

(doit être imprimée papier)

### ÉQUIPE #

à compléter par l'équipe avant la période de qualification

à compléter par responsable du cours pendant les essais

Remettre la copie complétée au responsable de qualification


### 1- QUALIFICATION

Hauteur minimum du montage [mm]	<= 140 mm
Sens de rotation du moteur pour monter la charge	Horaire Anti-Horaire
Rectitude de la prédition du sens de rotation (cocher <input checked="" type="checkbox"/> si OK)	
Hauteur maximum du montage [mm]	>= 178 mm
Temps de montée mesuré pour $\Delta$ 38 mm [s]	[s]
Qualifié pour la suite des essais	qualifié non-qualifié

### 2- CHARGE MAXIMUM (opération normale) de H= 140 mm @ 178 mm

Structure & mécanisme @ F.S.  $\geq 1.25$ ,

Limite d'opération moteur:  $C_{max} \leq 1.2 \text{ Nm}$

ESSAI #1: Charge telle que spécifiée par numéro de calcul #1, #2, #3 ou #4	
Charge maximum (opération normale)	[kg]
*** Charge utilisée pour essai (multiple de 25 lbs)	[lbs]
Hauteur maximale atteinte [mm] (cocher <input checked="" type="checkbox"/> )	38 mm
ou	[mm] autre
Prédiction du temps de levage: 60 [s] maximum	
Temps de levage mesuré: 60 [s] maximum	[s]

ESSAI #2: Charge révisée à la baisse (si essai #1 non concluant)		
Charge maximum révisée		[kg]
*** Charge utilisée pour essai (multiple de 25 lbs)		[lbs]
Hauteur maximale atteinte [mm]	(cocher <input checked="" type="checkbox"/> )	38 mm
	ou	[mm] autre
Temps de levage: 60 [s] maximum		[s]

### 3- LIMITÉ DE SURCHARGE (essai destructif), système bloqué @ H= 178 mm

$C_{\text{surcharge max.}} \leq 2.2 \text{ Nm}$  ou

Charge maximum  $\leq 3000 \text{ lbs (1363 kg)}$  (première occurrence)

Charge [kg] et couple moteur pour lesquels il y aura : Bris, défaillance ou arrêt moteur		[kg]
		[Nm]
Numéro de calcul (#1, #2, #3 ou #4) démontrant la source de la défaillance		

**Prédiction du type de défaillance:** équipe doit cocher () l'un des trois cas

Cas 1: Rupture d'une pièce		#pièce défaillante	
Cas 2: Déflexion excessive d'une pièce		#pièce défaillante	
Cas 3: Arrêt moteur (aucun bris)			

### Résultats de l'essai destructif

Charge ultime mesurée			[kg]
Cas 1: Rupture d'une pièce		#pièce défaillante	
Cas 2: Déflexion excessive d'une pièce		#pièce défaillante	
Cas 3: Arrêt moteur (aucun bris)			

## Déroulement des essais

### 1. Qualification

- a. Pour se qualifier et pouvoir procéder aux essais de levage, votre système doit être conforme aux spécifications suivantes :
  - i. Mesure de la hauteur rétractée doit être inférieure à 140 mm afin que votre montage puisse être inséré dans le portique de levage,
  - ii. Vérification du sens de rotation du moteur (horaire, anti-horaire) pour lever la charge,
  - iii. Essai à vide du montage qui doit s'élever à une hauteur de 178 mm ou plus,
  - iv. Mesure du temps de parcours [s] à vide entre H = 140mm à 178 mm.

### 2. Essai : opération normale charge maximum

#### a. Essai #1

- i. Un premier essai est effectué avec la masse  $M_{charge}$  maximum que vous aurez inscrite sur votre fiche de spécification,  
**Note : La masse doit être un multiple de 25 lbs.**
- ii. Votre système de levage doit soulever la charge  $M_{charge}$  maximum à une hauteur de 178 mm en un temps inférieur à 60s,
- iii. En principe, le moteur opèrera au point d'opération ( $C_{mot}$ ,  $N_{mot}$ ) que vous avez calculé, tel que prévu par la courbe Couple-vitesse angulaire du moteur,
- iv. Après 60 s, si votre système a atteint la hauteur de 178 mm, on passe à l'étape 3 (Test de surcharge),
- v. Après 60 s, si votre système n'a pas atteint la hauteur de 178 mm, l'essai est terminé, mais vous pouvez bénéficier d'un deuxième essai avec une charge réduite, (passer à 2b ou essai #2)

#### b. Essai #2 :

- i. Un deuxième et dernier essai peut être effectué avec une masse  $M_{charge}$  réduite.  
Convenir en équipe d'une nouvelle valeur de charge réduite à soulever,
- ii. Votre système de levage dispose de 60 s pour soulever cette nouvelle charge à une hauteur de 178 mm,
- iii. Après 60 s, si votre système a atteint la hauteur de 178 mm,
  1. Votre note sera calculée à partir du % de réduction de masse par rapport à celle prévue dans votre fiche de spécification.  
Ex :  $M_{charge} = 100$  kg ne fonctionne pas,  $M_{charge\_réduite}=85$  kg fonctionne, une déduction de -15% à la note : « Rectitude de la Prédiction : mode normal maximum », sera attribuée.

- 2. Passer à l'étape 3 (Test de surcharge),
- iv. Après 60 s, si votre système n'a pas atteint la hauteur de 178 mm, l'essai est terminé et il n'y aura pas de test de surcharge.

### **3. Essai : Mode de défaillance en surcharge**

- a. Vous devez avoir inscrit sur votre fiche de spécifications, la valeur de surcharge  $M_{surcharge}$ , votre prédition du mode de défaillance, soit: un bris, une flexion excessive ou un arrêt moteur et le #calcul ayant permis d'arriver à cette conclusion,
- b. Votre système de levage doit être en position bloquée à la hauteur  $H = 178$  mm,
- c. Dans un premier temps, on applique un couple nominal entre 0 et 1.2 Nm jusqu'à ce que le moteur s'arrête ou qu'il y ait bris de montage,
  - i. S'il y a un arrêt de moteur, on passe au point d),
  - ii. S'il y a bris de montage, on note la valeur  $M_{surcharge}$  qui a causé ce bris, et on compare cette valeur à celle inscrite sur votre fiche de spécification.
- d. On applique un couple boost de 2.2 Nm pendant un maximum de 10s
  - i. S'il y a un arrêt de moteur et aucun bris,
    - 1. on note la valeur  $M_{surcharge}$ ,
  - ii. S'il y a bris de montage,
    - 1. on note la valeur  $M_{surcharge}$  qui a causé ce bris et on compare cette valeur à celle inscrite sur votre fiche de spécification,
    - 2. Finalement, on note aussi le numéro de pièce qui a cédé.

### **Remise de votre système de levage pour évaluation :**

1. Évaluation de la qualité du travail de conception par les responsables du cours,
2. Si les pièces du système de levage sont toutes imprimées par la machine SLS du département, cela sera interprété comme un niveau de gestion et contrôle qualité de la conception élevés,
3. Une déduction sera apportée (voir évaluation) pour chaque pièce FDM utilisée, joint de colle ou pièces altérées (sablées, limées ou autres) indiquant une moins bonne gestion et moins bon contrôle qualité du processus de conception.

Critères d'évaluation : Équipe # \_\_\_\_\_

Remise SLS :

Remise pièces industrielles :

<b>Projet #4: Système de levage</b>	<b>Évaluer pendant les essais</b>
<b>CRITÈRES D'ÉVALUATION</b>	
<b>Solutions de principes</b>	
(2 pts équipe + 10 pts individuel)	
Solution A: Croquis main levée + paragraphe explicatif (Co-équipier #1)	10 pts
Solution B: Croquis main levée + paragraphe explicatif (Co-équipier #2)	10 pts
Solution C: Croquis main levée + paragraphe explicatif (Co-équipier #3)	10 pts
Solution D: Croquis main levée + paragraphe explicatif (Co-équipier #4)	10 pts
Grille d'évaluation des solutions + justification de la sélection de la solution A, B, C, D ou hybride (Note d'équipe)	2 pts

#### **Vue 3D explosée et deux enveloppes SLS**

(note d'équipe 10 pts)

Qualité de la vue explosée	8 pts
Vue 3D des quatre 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 nomenclature des pièces sur vue explosée et bon de commande : quantité erronée, pièces oubliées, descriptif flou de la pièce dans liste de matériel , # équipe,..	-2 pts/ item

SOUS-TOTAL

#### **Calculs d'ingénierie**

( 2 pts équipe + 23 pts individuel )

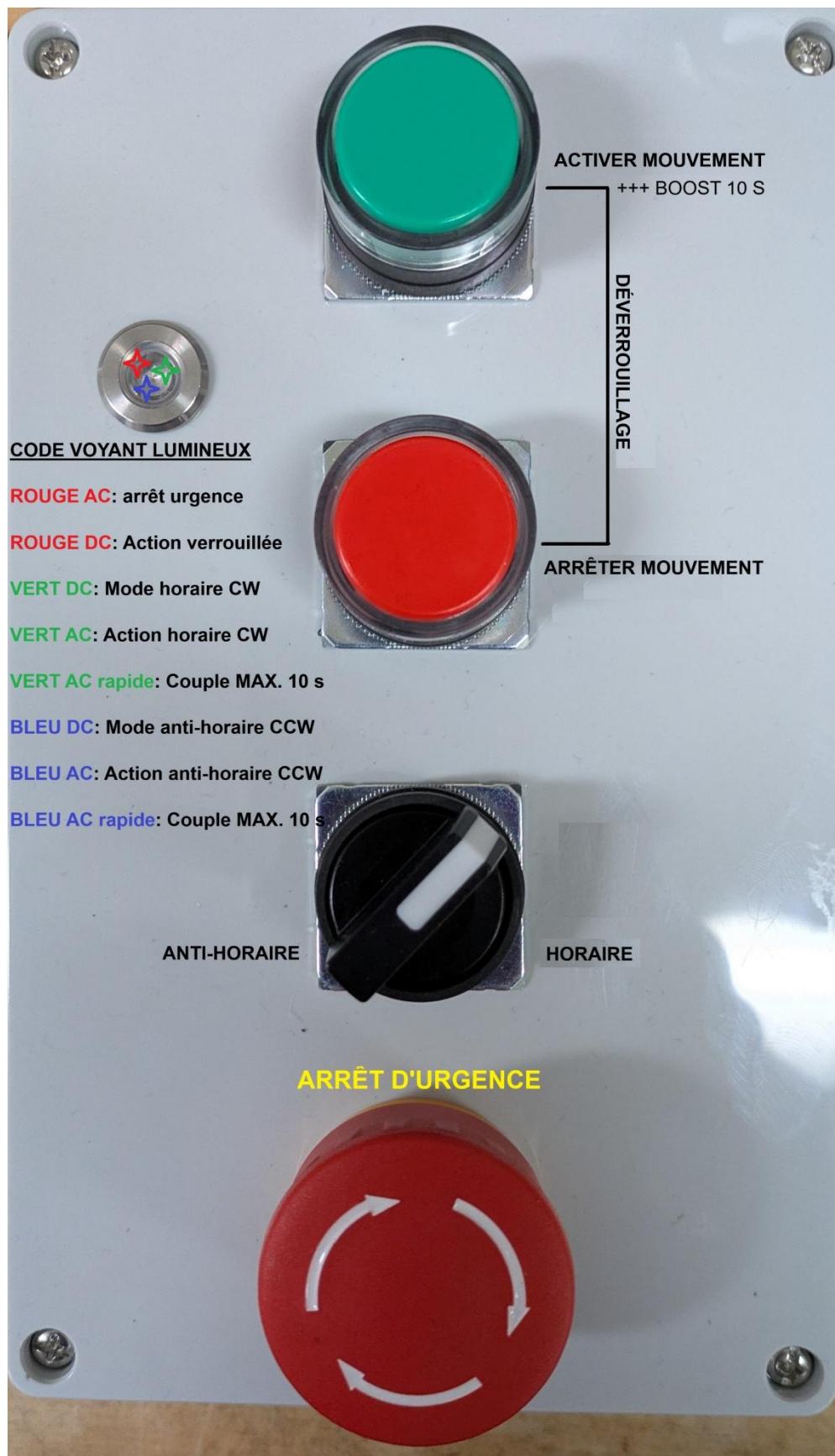
Vue isométrique de l'assemblage complet + identifier avec calcul#2, calcul#3 & calcul#4 les trois zones ou points faibles soupçonnés sur le montage (Note d'équipe)	2 pts
<b>Calcul #1: CALCUL DE FAISABILITÉ</b> (mode normal maximum): (Co-équipier #1) Étape 1 à 8	15 pts
<b>Calcul #1: CALCUL EN SURCHARGE</b> (Co-équipier #1) Étape 9 à 10	8 pts
<b>Calcul #2: CALCUL D'INGÉNIERIE #PIÈCE:</b> (mode normal maximum) (Co-équipier #2) Étape 1 à 3	15 pts
<b>Calcul #2: CALCUL DE SURCHARGE</b> (Co-équipier #2) Étape 4 à 6	8 pts
<b>Calcul #3: CALCUL D'INGÉNIERIE #PIÈCE:</b> (mode normal maximum) (Co-équipier #3) Étape 1 à 3	15 pts
<b>Calcul #3: CALCUL DE SURCHARGE</b> (Co-équipier #3) Étape 4 à 6	8 pts
<b>Calcul #4: CALCUL D'INGÉNIERIE #PIÈCE:</b> (mode normal maximum) (Co-équipier #4) Étape 1 à 3	15 pts
<b>Calcul #4: CALCUL DE SURCHARGE</b> (Co-équipier #4) Étape 4 à 6	8 pts

**(suite évaluation)**

<b>Conception du système de levage</b> <b>( Note d'équipe 20 pts )</b>	
Nombre de pièces minimum (#pièces qui n'ont aucune fonction ou en surplus)	(-1 pt/ pièce surplus)
Pénalités défauts d'assemblage: Assemblage défaillant, pièces libres non maintenues, mauvaise utilisation de vis et autres quincailleries, mauvaise intégration des goujons, anneau de retenue soutenant une force, pièce manquante, jeu excessif, mécanisme défectueux, ..	-3 pt/ défaut
Pénalités pour pièces FDM ou FFF	-5 pts/ pièce
Pénalité pour altération des pièces (limage excessif, découpage, sciage, collage, ..)	-3 pts/ altération
Pénalité pour pièces industrielles hors liste	-10 pts/ pièce
Pénalité pour pièces perdues ou endommagées	-5 pts/ pièce
Pénalité pour pièces non identifiées avec # équipe	-3 pts/ pièce
SOUS-TOTAL	

<b>Essais expérimentaux du système de levage prototype</b> <b>(Note d'équipe 33 pts )</b>	
Réussir à monter le système à vide d'une hauteur $\Delta$ 38 mm @ H = 178 mm	5
Rectitude de la prédiction du sens de rotation du moteur pour effectuer la montée	1
Rectitude de la prédiction: Levage @ H=178 mm de la masse spécifiée (essai #1 OUI= 100%, essai #2 OUI= au prorata de la nouvelle masse, autres essais 0%)	8
Comparatif de performance: masse maximum soulevée p/r au reste du groupe	12
$70\% + 30\% \left( \frac{\text{Charge soulevée}[lbs] - \mu_{charge}}{\text{Charge max. soulevée classe}[lbs] - \mu_{charge}} \right)$ [LBS] moyenne	0,00
Rectitude de la prédiction du mode de défaillance en surcharge	7
Retard remise (STL, vue explosée papier & PDF) ou rapport final	-10 % note Projet4 pour retard et /jour add.

## ANNEXE1 : Contrôle servo-moteur



**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

**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.**



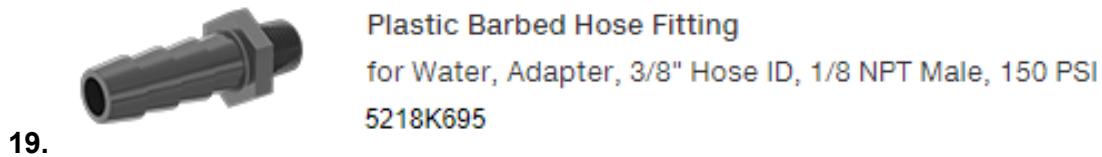
18-8 Stainless Steel Shim Stock  
6" Wide x 12" Long Sheet, 0.01" Thick  
9784K616

**18.**



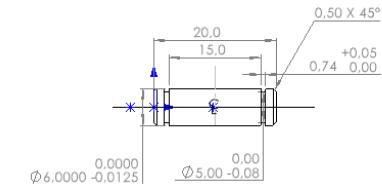
Super-Soft Multipurpose Neoprene Rubber Sheet  
12" x 24", 1/16" Thick  
9109K42  
Durometer  
✓ 10A (Soft)

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



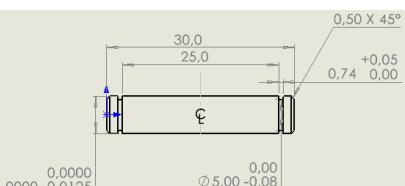
20. Matériel: Tige aluminium 7075, Se=503 MPa, Brinell 150, ASTM B211, MM 9403T53 (fourni)  
qté: 200

Goupille diamètre 6 mm x 20 L

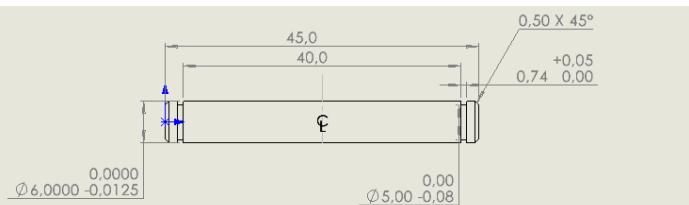


21. Matériel: Tige aluminium 7075, Se=503 MPa, Brinell 150, ASTM B211, MM 9403T53 (fourni)  
qté: 100

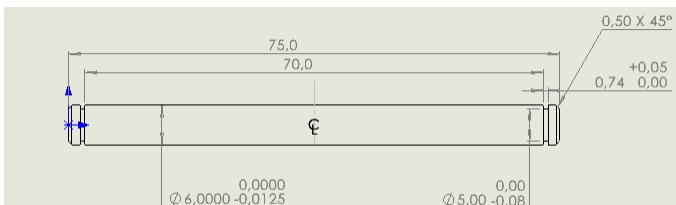
Goupille diamètre 6 mm x 30 L



22. Matériel: Tige aluminium 7075, Se=503 MPa, Brinell 150, ASTM B211, MM 9403T53 (fourni)  
Goupille diamètre 6 mm x 45 L



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



- 23.** Matériel: Tige aluminium 7075 T6, Se=503 MPa, Brinell 150, ASTM B211, MM 9403T53 (fourni)  
Goupille diamètre 6 mm x 75 L



Side-Mount External Retaining Rings  
for 6 mm-8 mm OD, Black-Phosphate Spring Steel  
98543A113

- 24.** Anneau de rétention pour goupille diamètre 6 mm



E-Style Retaining Ring Installation Tool  
Side-Mount, for 10.85 mm Ring OD  
57905A44

- 25.** Outil d'installation d'anneau de rétention



Retaining Ring Installation and Removal Tool  
E- and C-Style, Side-Mount

- 26.** 5728A2  
Outil d'extraction d'anneau rétention



Carbide Drill Bit  
7/32" Size, 3" Overall Length

- 27.** 8879A65  
Foret diamètre 5.55 mm

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

28.  High-Speed Steel Round-Shank Reamer  
6 mm Reamer Diameter  
8851A21  
Alésoir diamètre 6.000mm
29.  High-Speed Steel Round-Shank Reamer  
with Straight Flute, 0.2385" Reamer Diameter  
8803A459  
alésoir diamètre 6.050mm
30.  High-Speed Steel Round-Shank Reamer  
with Straight Flute, 0.2385" Reamer Diameter  
8803A459  
Alésoir diamètre 6.100 mm
31.  Structural Adhesive  
Quick-Set Epoxy, J-B Weld Kwikweld, 10 FL. oz. Tube  
7605A17
32.  External Retaining Ring  
for 8 mm OD, Black-Phosphate 1060-1090 Spring Steel  
98541A116  
Anneau de rétention pour arbre de 8mm diamètre
33.  360 Brass Acme Hex Nut  
Right Hand, 1/2"-10 Thread Size  
95155A114

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

34.

## Rounded Machine Key

316 Stainless Steel, 3mm x 3mm, 10mm Long

2977N13



35.

## **Belleville Disc Springs**

for Ball Bearing Trade No. 608, 627 and E18, 12.300 mm ID

94065K42



36.

## Ball Bearing

Shielded, Trade No. 608-2Z, for 8 mm Shaft Diameter

5972K501

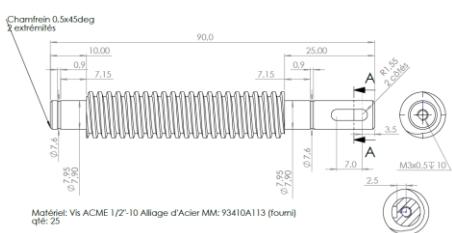


37.

## Fixed-Tip Retaining Ring Plier with Cushion Grip

## for External Retaining Rings, 0.047" Tip Diameter

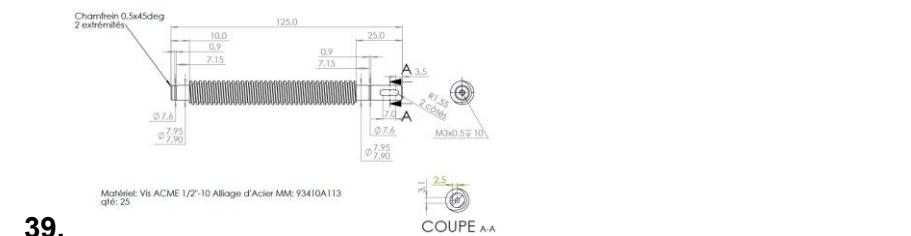
57805A43



38.

Vis ACME ½ - 10, 90 mm long (voir CAD sur portail)

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



39.

Vis ACME ½ - 10, 125 mm long (voir CAD sur portail)



Needle-Roller Thrust Bearing  
for 12 mm Shaft Diameter, 26 mm OD

40.

5909K12



1 mm Thick Washer for 12 mm Shaft Diameter Needle-Roller Thrust Bearing

41.

5909K72



18-8 Stainless Steel Cup-Point Set Screw  
M3 x 0.5 mm Thread, 8 mm Long

42.

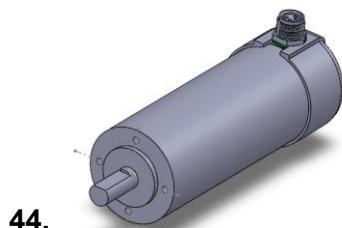
92015A105



43.

Pinion SLS nylon 1.5M-20PA-12T-18DIA-15L (voir portail dessin.DWG & PART)

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



**44.**

Servo-moteur 1.2 Nm nominal, 30W (voir portail pour dessin.DWG & PART)