



MEC1110 – PROJET INTÉGRATEUR I
Groupe-cours n° 03
Hiver 2019

No. du document : PI1_S12 Rév. --

La renaissance du Phénix

présenté à :
Alain Gaudet, ing.
Pierre Gaudet, ing.

par :
l'équipe n° M5

Arzouni, Adam	1853886
Fronteddu, Jean-Christophe	1978176
Huynh, Émilie	1958264
Savard, Marc-Alexandre	1958523
St-Laurent, Louis	1957094

2019/04/02
à Montréal

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Résumé

Ce concept de drone remplit le mandat d'aller sauver un blessé se trouvant dans un feu de forêt. Considérant l'intégration des sous-systèmes, la structure du Phénix (nom donné au drone) pèsera environ 300g dû au contrainte donné par l'équipe s'occupant de la propulsion. De plus, la structure est fermée afin de bien remplir notre mandat de pouvoir entrer dans un feu de forêt sans que les flammes atteignent l'intérieur de l'engin. Les matériaux utilisés sont justifiés par des calculs de résistance des matériaux ainsi que par des fiches analytiques et techniques. Une personne sera toujours présente à l'intérieur du drone, soit le pilote pour se rendre et le blessé pour revenir. Ce projet a pour but d'entrer sur le marché de l'aviation afin de remplir le besoin des équipes de sauvetage en cas de rescousse en feu de forêt.

Mots clés : Feu de forêt, sauvetage, drone, structure de drone

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Abstract

The concept behind this drone fulfills our main objective: rescuing a wounded person trapped in a forest fire. Considering the integration of the subsystems, Phoenix's structure (drone's given name) will weigh about 300g due to the restriction given by the propulsion team. In addition, the structure is well-sealed to prevent any flames from reaching the inside of the engine. The used materials are well justified by numerous calculations as well as analytical and technical revisions. A person will always be inside the drone, either the pilot or the injured person. This project aims to enrol the aviation market in order to attain the needs and the requirements of rescuing teams.

Keywords: Forest fire, rescue, drone, drone's structure

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Suivi des modifications

Révision	Pages et sections modifiées	Description/remarques
--	Toutes	Publication originale

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Table des matières

Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
1 Introduction	1
2 Composantes de la structure	2
2.1 Modélisation 3D et dessin d'assemblage.....	2
2.2 Dessin et tableau d'interface.....	3
2.3 Dessin mécanique détaillées réalisés	6
2.4 Fiche technique de la solution.....	12
3 Principes de fonctionnement	13
4 Changements, raffinements et améliorations.....	15
5 Diagramme de corps libres, calculs de résistance de matériaux et analyse mécanique statique et cinématique.....	17
5.1 Mesure de la performance	22
6 Choix de matériaux et dimensionnements.....	23
7 Développement durable et économie circulaire.....	26
8 Coût du produit et système	27
9 Facture, échéancier et gestion du temps	28
10 Gestion des connaissances	30
10.1 Reconnaît et identifie les savoirs de l'équipe	30
10.2 Identifie les éléments de formation pour avancer	31
10.3 Recherche des connaissances récentes du domaine	31
11 Conclusion	33
12 Références	34

Annexe A : Le *Phénix*

Annexe B : Fiche de marketing *Phénix*

Annexe C : Graphique – impact au sol

Annexe D : Fiche technique

Annexe E : Fiche d'analyse

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Liste des tableaux

Tableau 1. Étapes d'assemblage de la structure.....	13
Tableau 2. Explication des différentes configurations envisagés avec leurs forces et faiblesses	15
Tableau 3. Analyse de la mission.....	17
Tableau 4. Analyse au décollage pour le bras et le plafond	18
Tableau 5. Analyse au décollage pour le côté	19
Tableau 6. Analyse du train d'atterrissage.....	19
Tableau 7. Résultats des calculs.....	21
Tableau 8. Résistances selon le matériau	22
Tableau 9. Choix des matériaux.....	23
Tableau 10. Choix des dimensionnements.....	24
Tableau 11. Choix des dimensionnements.....	27

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Liste des figures

Figure 1. Dessin de la structure du <i>Phénix</i>	2
Figure 2. Dessin d'assemblage explosée de la structure	3
Figure 3. Dessin d'intégration levage – structure	4
Figure 4. Dessin d'intégration motorisation – structure.....	5
Figure 5. Dessin plafond	6
Figure 6. Dessin plancher	7
Figure 7. Dessin côté gauche	8
Figure 8. Dessin côté droit	9
Figure 9. Dessin avant/arrière	10
Figure 10. Dessin train d'atterrissage	11
Figure 11. Fiche technique <i>Phénix</i>	12

LA RENAISSANCE DU PHENIX

1 Introduction

Les accidents peuvent arriver à n'importe qui et peuvent se produire à n'importe quel moment de la vie. Comme le cite Ian Watson, « Nous venons à la vie par accident, nous la quittons souvent par accident

(Le monde, s.d.) »

C'est pourquoi il est important d'être préparé et d'avoir un plan d'action face à n'importe quelle éventualité. Prenons l'exemple d'un feu de forêt. Sachant qu'un potentiel feu de forêt pourrait se produire au Québec, que faire pour se sauver d'un tel événement.

L'objectif de ce travail était de créer la structure d'un drone pouvant sauver un blessé lors d'un feu de forêt avec au moins 50% de matériau en imprimante 3D. Ce prototype a été créé dans le but d'entrer dans le marché de l'aviation afin de remplir le besoin de secours en milieu forestier. Des dessins de modélisation 3D, des dessins d'assemblage, des tableaux des interfaces, des fiches techniques et analytique ainsi que des DCL vont seront présentés au cours de votre lecture. Le fonctionnement du drone et des améliorations seront discutés par la suite. Des calculs ainsi que le choix des matériaux seront présentés à la fin du rapport.

À la suite de ce rapport, il faudra faire des tests sur le prototype afin d'interpréter des résultats concrets.

LA RENAISSANCE DU PHENIX

2 Composantes de la structure

Afin de mieux visualiser le drone *Phénix*, les pièces détaillées de la structure ainsi que ses composantes associées, la section suivante présente plusieurs dessins de détails. Pour des fins d'allègement de la lecture, seuls les dessins de structure sont présentés dans le rapport. Les autres sous-systèmes ainsi que leur intégration peuvent être retrouvé en annexe A.

2.1 Modélisation 3D et dessin d'assemblage

La figure ci-dessous présente la structure sous plusieurs angles.

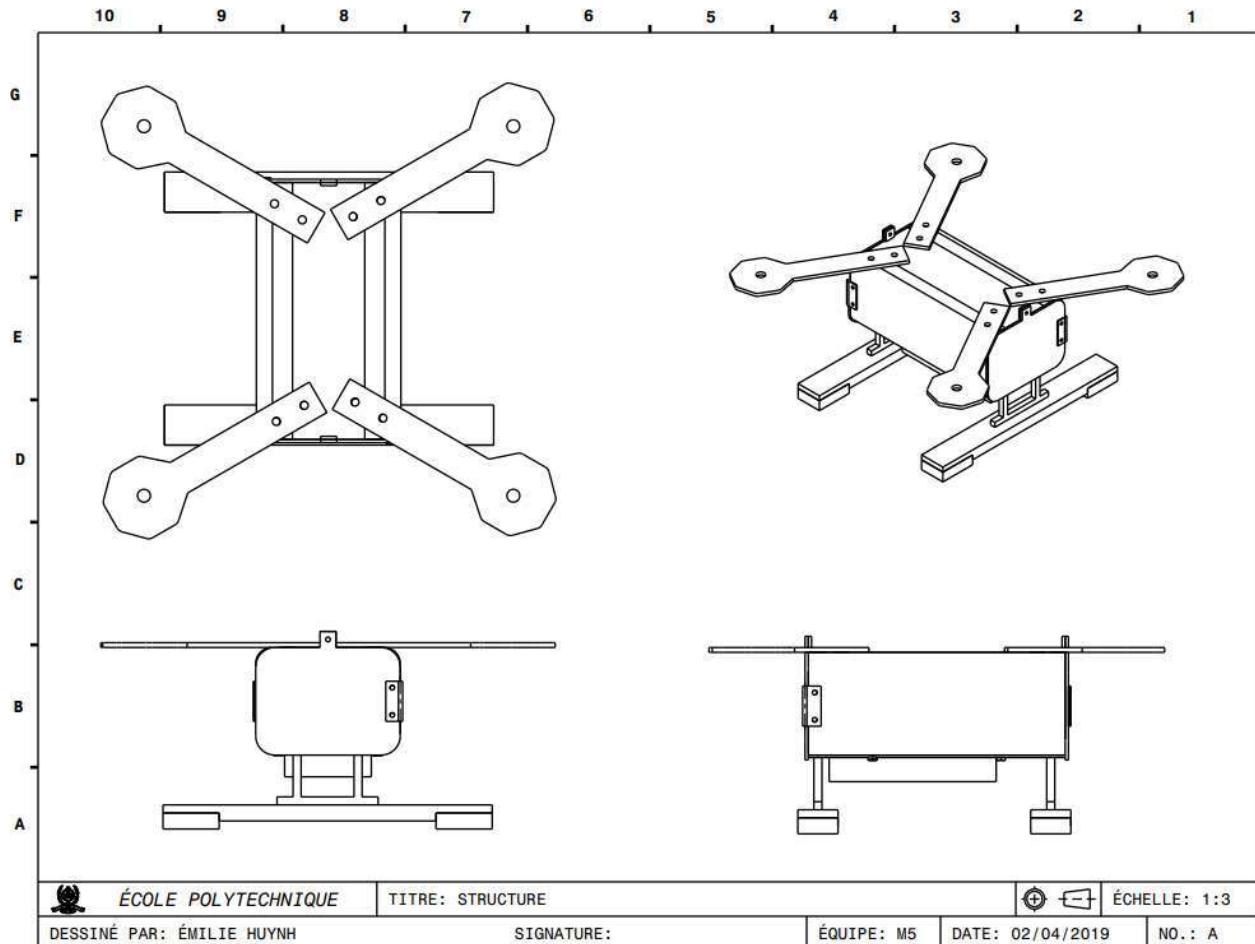


Figure 1. Dessin de la structure du *Phénix*

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Dans la figure ci-dessous, il est possible de retrouver une vue explosée de la structure ainsi qu'un tableau détaillant chacune de ses pièces.

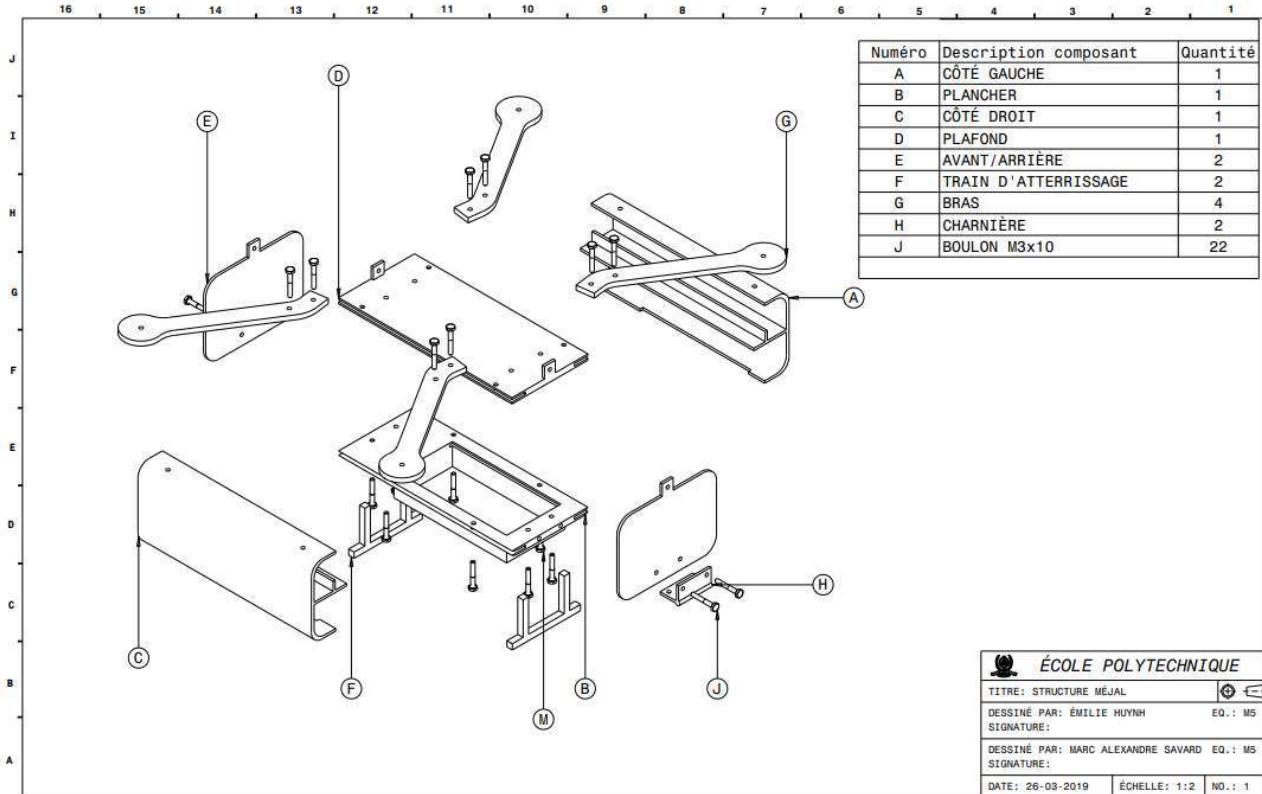


Figure 2. Dessin d'assemblage explosée de la structure

2.2 Dessin et tableau d'interface

Puisque la structure représente une très grande partie de l'aéronef, il est évident que celui rentre en contact avec de nombreux sous-systèmes. Les figures retrouvées aux pages suivantes permettent de mieux comprendre l'intégration entre les sous-systèmes de structure et de levage ainsi que l'intégration du système de motorisation à la structure.

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Il est possible de remarquer dans la figure suivante que le système de levage est attaché au plancher de la structure à l'aide de quatre boulons.

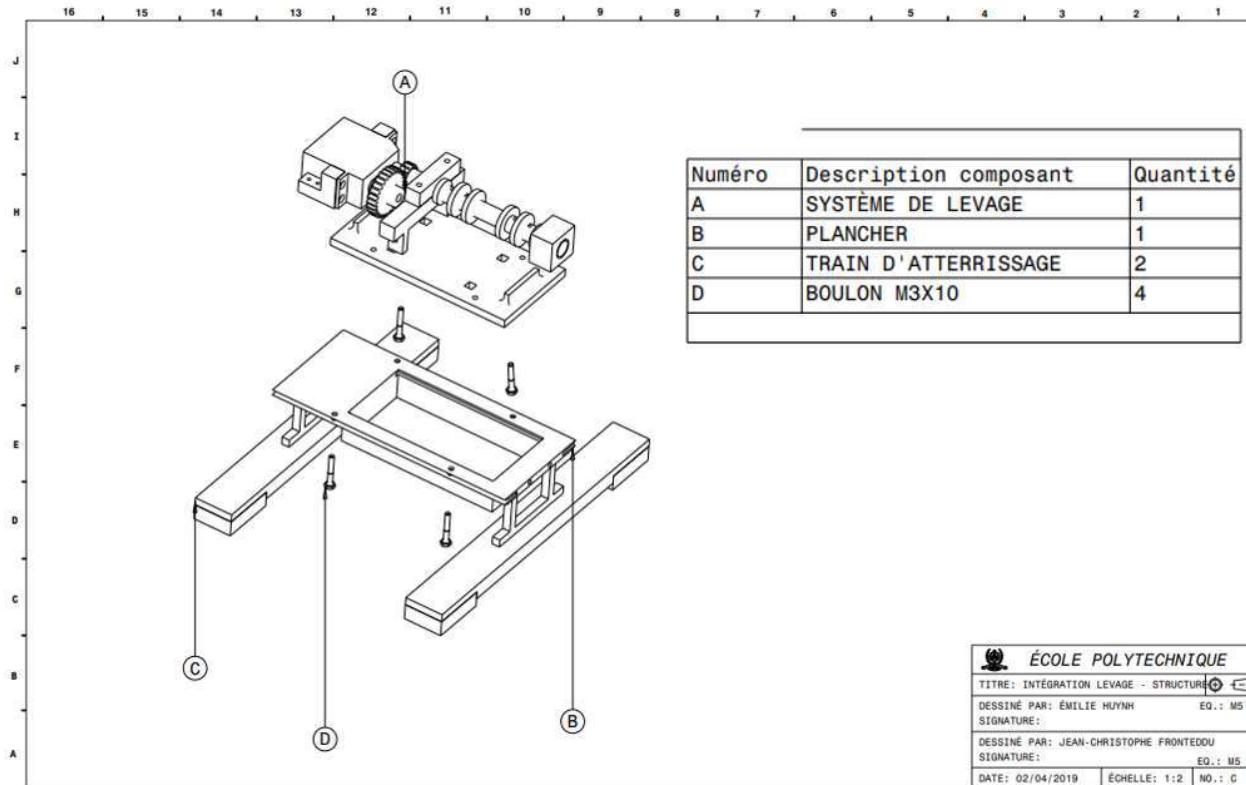


Figure 3. Dessin d'intégration levage – structure

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Il est possible de remarquer dans la figure suivante que le système de motorisation est attaché au bras de la structure à l'aide de quatre boulons.

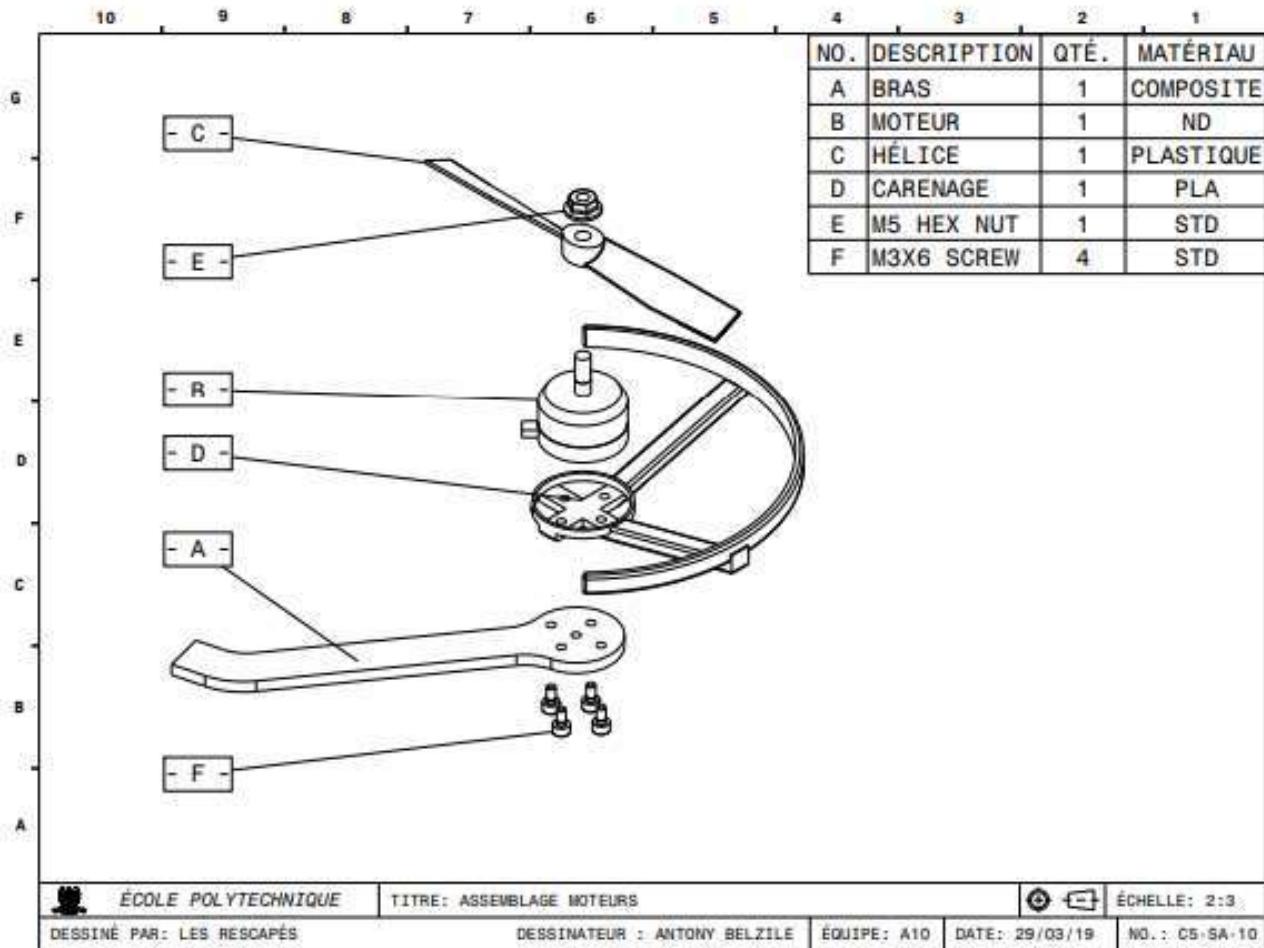


Figure 4. Dessin d'intégration motorisation - structure

LA RENAISSANCE DU PHENIX

2.3 Dessin mécanique détaillées réalisés

Pour une meilleure compréhension de la structure, des dessins de détails sont présentés. Un dessin du plafond est représenté à la figure suivante.

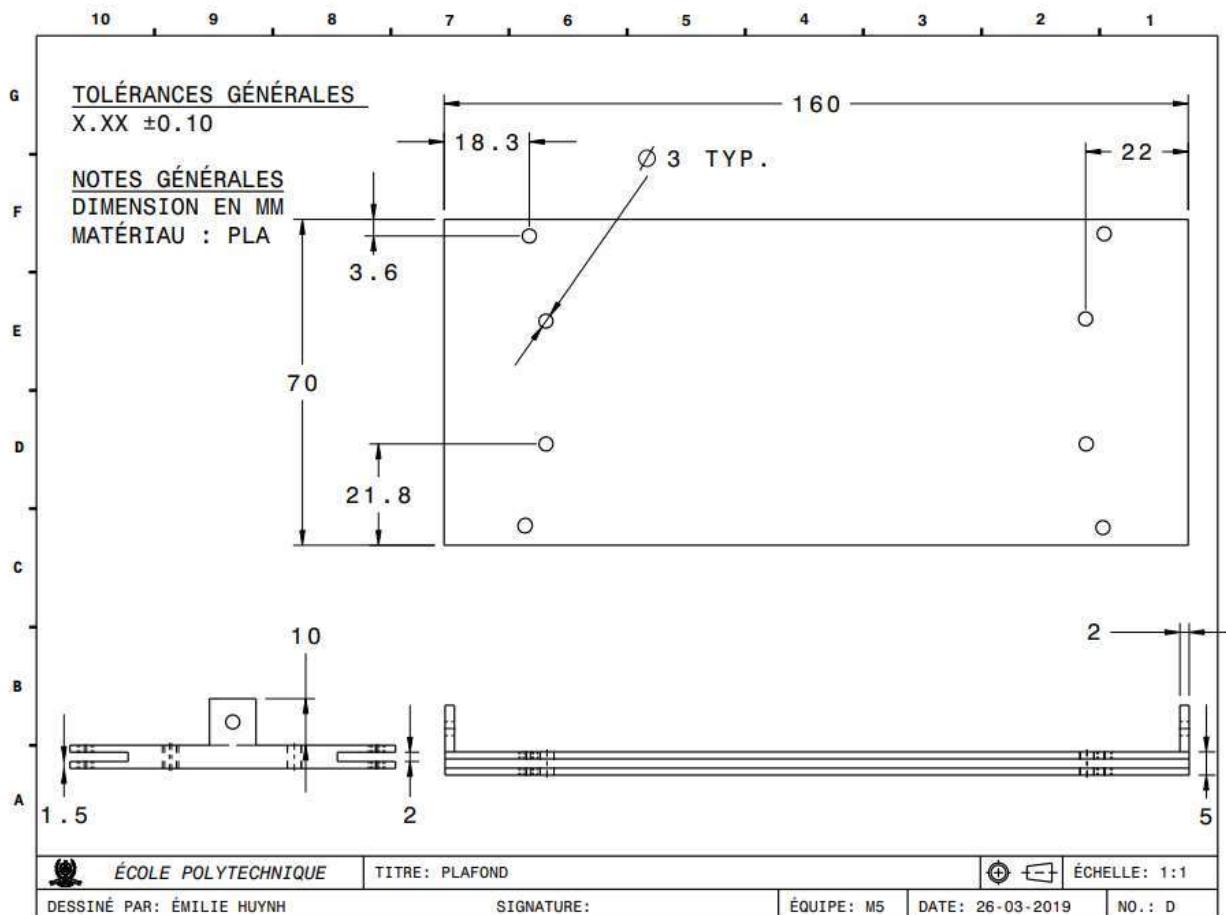


Figure 5. Dessin plafond

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Un dessin du plancher est représenté à la figure suivante.

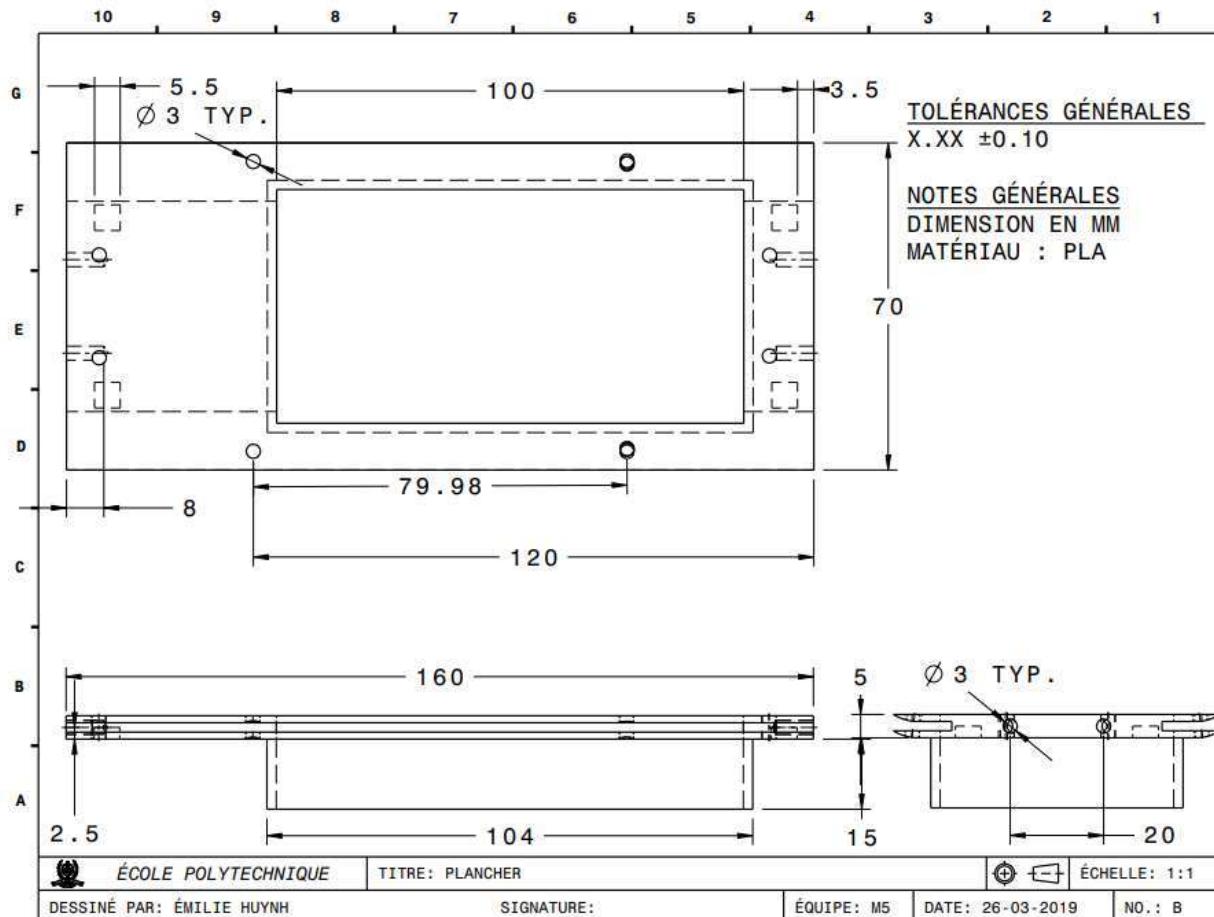


Figure 6. Dessin plancher

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Un dessin du côté gauche est représenté à la figure suivante.

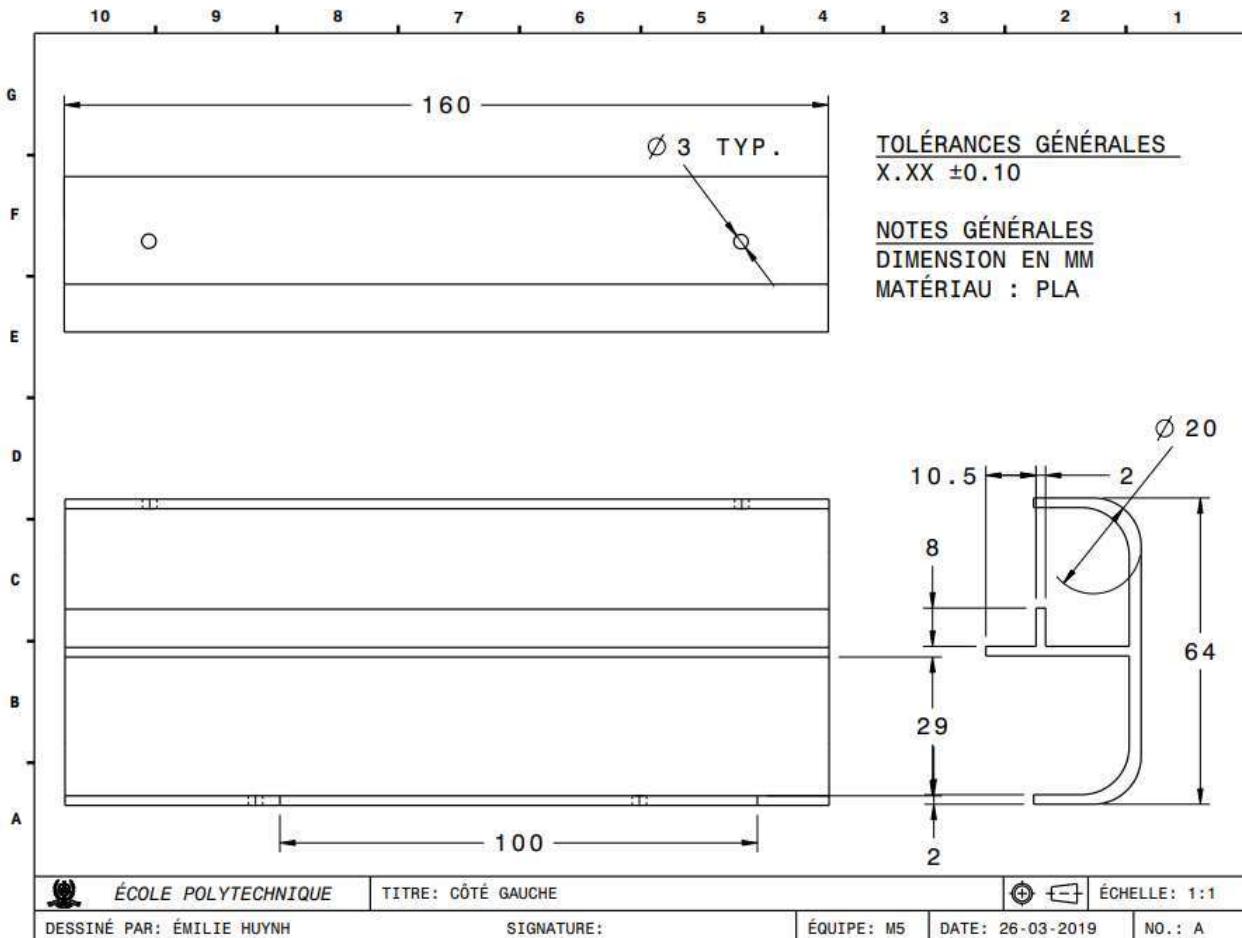


Figure 7. Dessin côté gauche

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Un dessin du côté droit est représenté à la figure suivante.

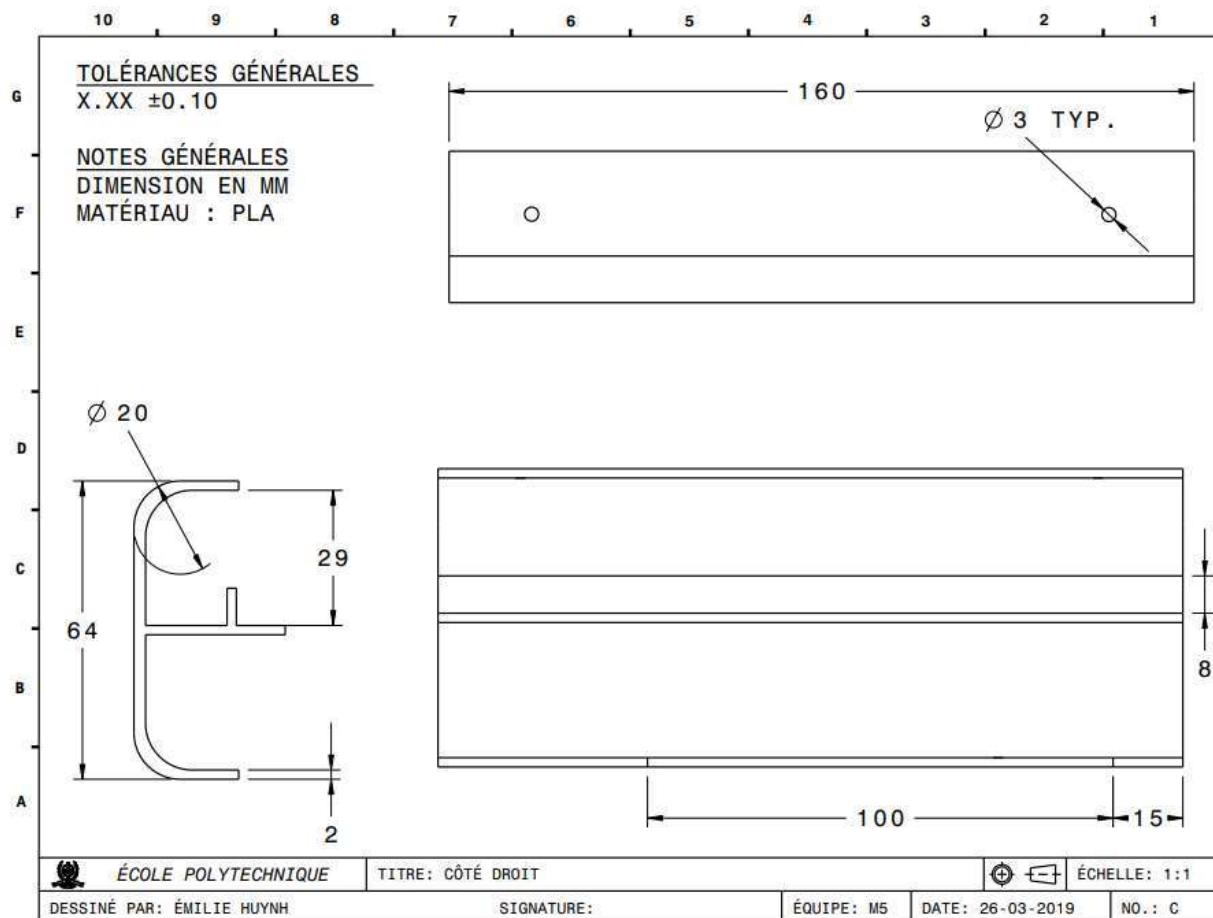


Figure 8. Dessin côté droit

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Un dessin de l'avant et l'arrière est représenté à la figure suivante.

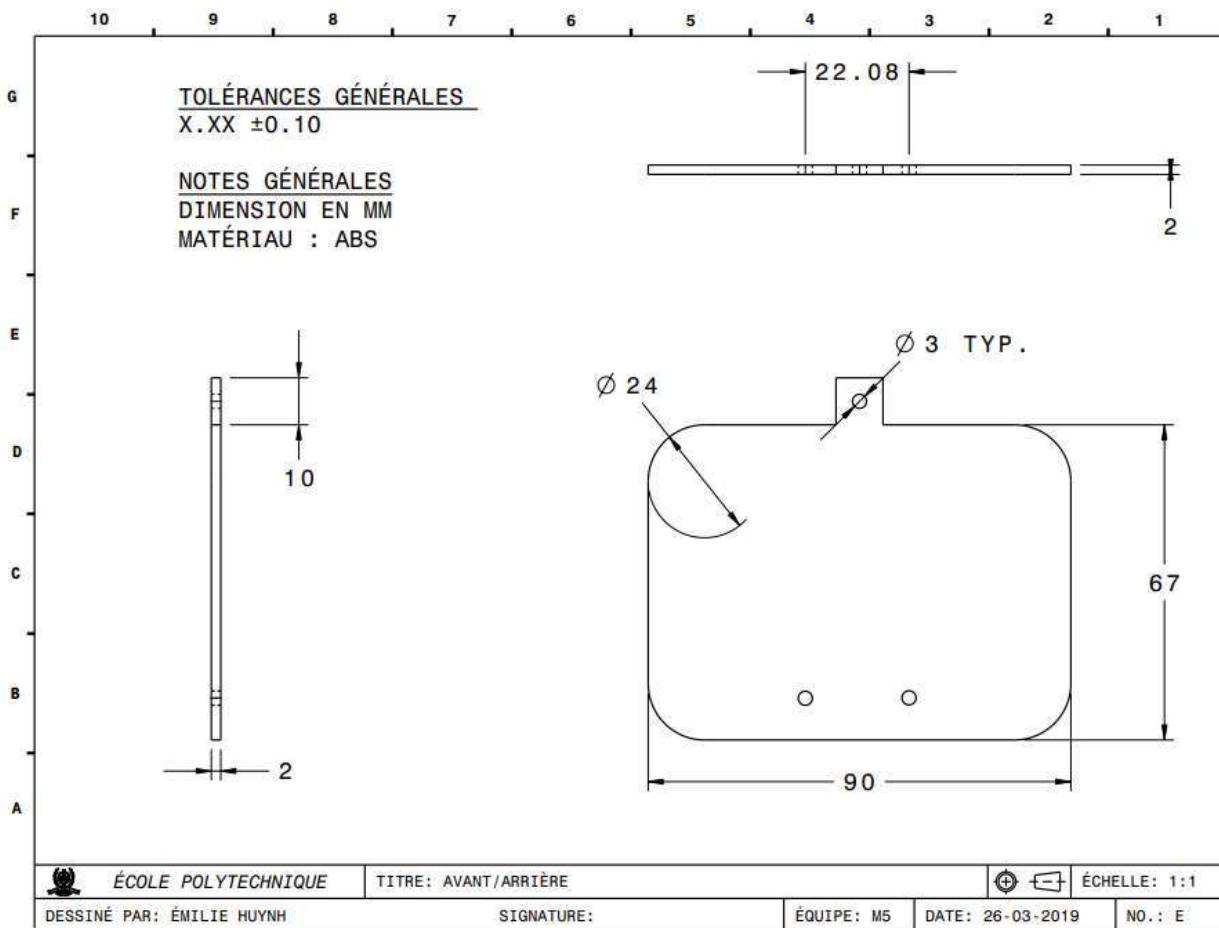


Figure 9. Dessin avant/arrière

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Un dessin du train d'atterrissement est représenté à la figure suivante.

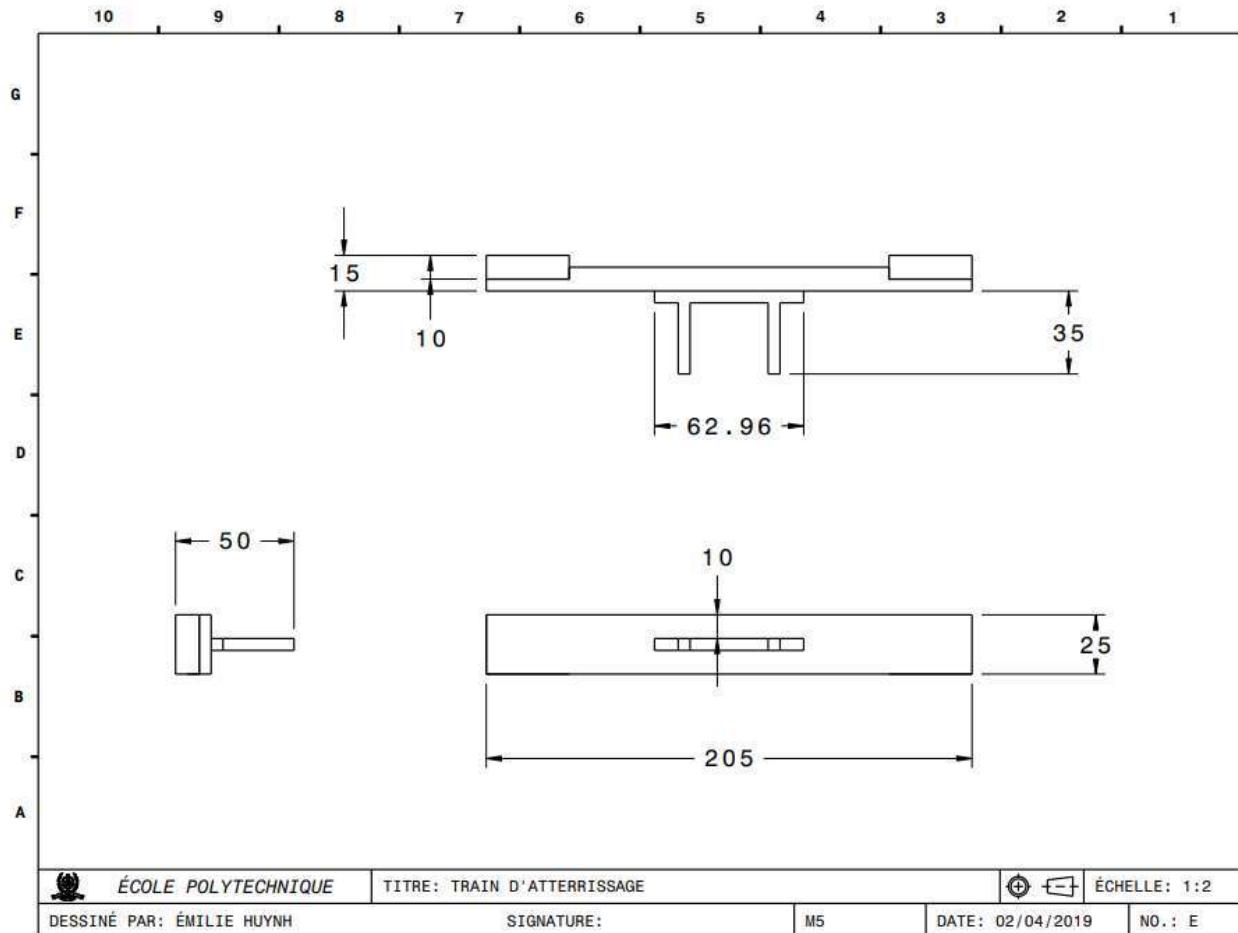
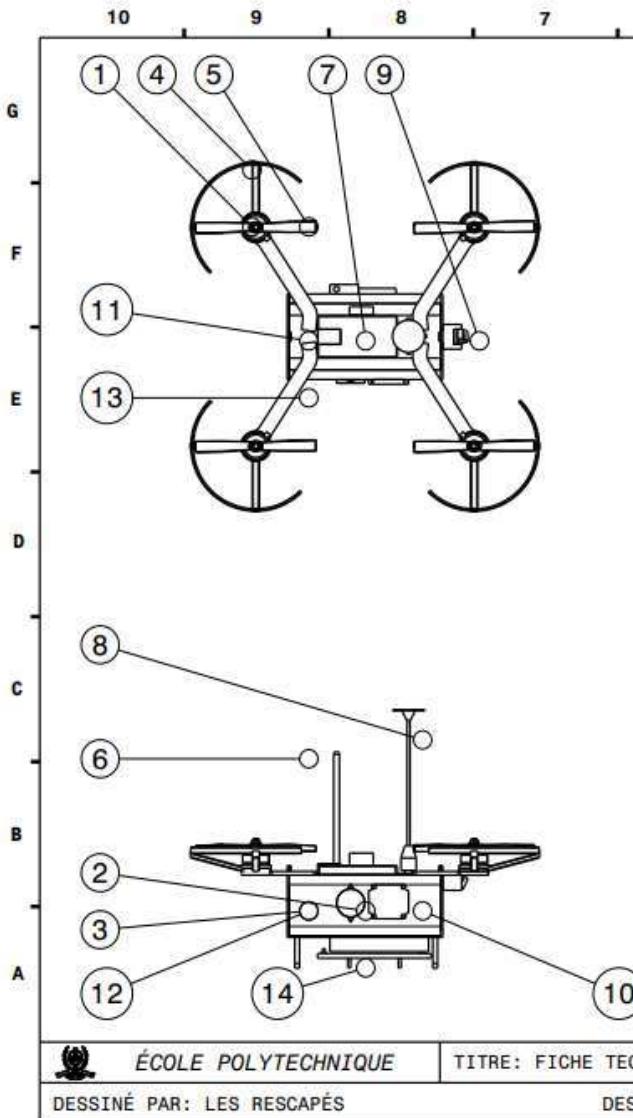


Figure 10. Dessin train d'atterrissement

LA RENAISSANCE DU PHENIX

2.4 Fiche technique de la solution

La fiche technique présentée ci-dessous regroupe toutes les pièces du *Phénix*. Il est possible d'y retrouver le coût, la masse ainsi que le matériau de chaque composante.



10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
									MOTORISATION
									Moteur DX2205S #1
									FRÉQUENCE 915mHz
									MASSE 25g
									PRIX 90A
									POUSSÉE MAX 6-28V
									VOLTAGE ORDINATEUR DE VOL PIXHAWK
									AMPÉRAGE MASSE 43g
									ESC #2 COURANT MAX 120A
									MASSE 6V
									PRIX CAMÉRA FPV WOLFWHOOP WTD5 #9
									AMPERAGE MAX MASSE 8,4g
									BATTERIE #3 PRIX 22.54\$
									MASSE RÉSOLUTION 600TVL
									PRIX FRÉQUENCE 5.8GHz
									CAPACITÉ BATTERIE CAMÉRA LIPO 1S #10
									TAUX DE DÉCHARGE MASSE 15.3g
									CARÉNAGE #4 PRIX 25.17\$
									MASSE CAPACITÉ 600mAh
									PRIX VOLTAGE 3.7V
									CONTRAINTE MAX STRUCTURE
									HÉLICE #5 AVANT ET ARRIÈRE #11
									MASSE 8.9g
									PRIX 0.89\$
									CONTROLE MATERIEL ABS
									RÉCEPTEUR PPM D4R-II #6 CONTRAINTE 97MPA
									MASSE 5,8g HABITACLE #12
									PRIX 57,24\$ MASSE 240g
									AMPÉRAGE 60mAh PRIX 24\$
									TENSION 3,5-10V MATERIEL PLA
									PIXHAWK CONTRAINTE MAX 114MPA
									(GPS, TRANSMITTER, ALIMENTATION, FC) #7 BRAS #13
									PRIX 225\$ MASSE 60g
									NEO-M8N GPS #8 PRIX 50\$
									MASSE 50g MATERIEL COMPOSITE
									PRÉCISION 2m CONTRAINTE MAX 5407MPA
									TENSION 2,7-3,6V LEVAGE #14
									MODULE DE TRANSMISSION MASSE 89g
									MASSE 21g PRIX 20\$
									PUISSEANCE 100mW MATERIEL PLA
 ÉCOLE POLYTECHNIQUE		TITRE: FICHE TECHNIQUE PHÉNIX							ÉCHELLE: ND
DESSINÉ PAR: LES RESCAPÉS			DESSINATEUR : ANTHONY BELZILE			ÉQUIPE: A10		DATE: 29/03/19	NO.: C5-SB-10

Figure 11. Fiche technique *Phénix*

LA RENAISSANCE DU PHENIX

3 Principes de fonctionnement

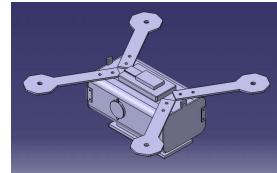
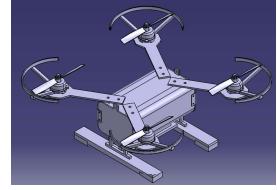
Pour permettre une meilleure compréhension des principes de fonctionnement du *Phénix*, la section suivante présente les étapes à suivre lors de l'assemblage du sous-système de structure. Ci-dessous est un tableau synthèse des étapes d'assemblage du drone.

Tableau 1. Étapes d'assemblage de la structure

No.	Étape	Détails	
1	Usinage des pièces	Usiner les trous sur le plancher, les portes, les murs et le plafond.	
2	Assemblage les murs et le plancher	Boulonner les murs avec le plancher avec 4 boulons M3.	
3	Insertion du système de levage	Fixer le système de levage avec 4 boulons M3.	
4	Ajout des charnières et portes à l'avant et à l'arrière de l'appareil	Boulonner les charnières et les portes aux murs.	
5	Fixation des bras au toit de la structure et le toit de la structure aux murs	Fixer les bras au toit avec 2 boulons M4 dans les trous prévus à cet effet. C'est même boulons passeront à travers le mur également.	

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Tableau 1. Étapes d'assemblage de la structure (suite)

No.	Étape	Détails	
7	Fixer l'ordinateur de vol sur le toit	Fixer l'ordinateur de vol à l'aide de tiges filetées et de boulons.	
8	Fixer les moteurs aux extrémités des bras	Fixer les moteurs aux extrémités des bras à l'aide de 4 petits boulons.	
9	Insertion des 2 trains d'atterrissement	Coller les trains d'atterrissement sous la structure dans les trous prévu à cet effet.	

LA RENAISSANCE DU PHENIX

4 Changements, raffinements et améliorations

Ci-dessous se trouve un tableau des différentes configurations pensées par l'équipe au fil du temps, quelques caractéristiques de celles-ci, ainsi que leurs forces et faiblesses.

Tableau 2. Explication des différentes configurations envisagés avec leurs forces et faiblesses

	Phénix	FAYA	MÉJAL
Dimensions (mm)	160x70x70	150x50x50	164x150x30
Massé (g)	300	206	550
Matériaux	PLA	PLA	ABS
Avantage	<ul style="list-style-type: none"> - Masse faible - Centre de gravité près du centre - Faible coût 	<ul style="list-style-type: none"> - Masse faible - Faible coût - Paroi mince 	<ul style="list-style-type: none"> - Plus spacieux pour l'intégration - Structure plus solide
Inconvénient	<ul style="list-style-type: none"> - Intégration difficile - Structure moins solide 	<ul style="list-style-type: none"> - Impossibilité d'intégrer le système de levage - Structure fragile 	<ul style="list-style-type: none"> - Masse très élevée - Centre de gravité décentré

En résumé, notre première solution, le MÉJAL, était plus spacieuse et sa structure soutenait de plus grandes charges ou impacts dû à l'épaisseur de ses murs cependant celui-ci était beaucoup trop lourd et ne convenait pas du tout avec les moteurs choisis par l'équipe de motorisation. De plus, son centre gravité aurait été décalé par rapport à l'origine ce qui n'était pas idéal. La deuxième solution le FAYA permettait de réduire de plus de moitié le poids du MÉJAL permettant d'aider l'équipe de motorisation, cependant, les dimensions de ce dernier

LA RENAISSANCE DU PHENIX

étaient trop petites pour intégrer le système de levage et les parois très mince posaient des risques de fissures. Finalement, le choix s'est arrêté sur le Phénix qui est légèrement plus lourd que le FAYA, mais peut tout de même intégrer convenablement le système de levage et maintient une bonne solidité générale de l'appareil.

LA RENAISSANCE DU PHENIX

5 Diagramme de corps libres, calculs de résistance de matériaux et analyse mécanique statique et cinématique

Cette section contient la démarche suivie afin d'obtenir les pièces qui composent le drone. Tous les résultats sont résumés dans le tableau 9.

Le tableau suivant résume les étapes prises afin d'analyser la mission.

Tableau 3. Analyse de la mission

No.	Étape	Description
1	Identifier les points critiques	Analyser : <ul style="list-style-type: none">- Au décollage : bras supportant moteur, plafond et côté de la structure- À l'atterrissement : train d'atterrissement
2	Évaluer une situation d'écrasement	Analyser l'ensemble de la structure

Les fiches d'analyse pour le décollage et l'atterrissement peuvent être retrouvées en annexe E.

Le tableau à la page suivante résume la démarche suivie pour analyser le bras et le plafond au décollage.

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Tableau 4. Analyse au décollage pour le bras et le plafond

BUT : Minimiser les dimensions, la masse et avoir une forme relativement aérodynamique				
Hypothèse	<p>Masse de la structure : 3 kg (double du poids prévu)</p> <p>Poussé des moteurs : 1,5 kg/moteur</p> <p>(Quadruple de la poussé réelle)</p>			
Description	<p>Construction des bras : PLA ou bois</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rejet : trop lourde (200-300g) <p>Achat des bras : fibre de carbone</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avantage : Meilleure résistance et masse plus faible (60g) 			
Conclusion	Puisque le poids était une contrainte très importante dans le choix des matériaux et de l'assemblage, les bras en fibre de carbone furent choisis.			
Façon de procéder au calcul	<p>Puisque les bras sont reliés au plafond par un couple de boulons, le tout a été considéré comme une longue poutre reposant sur deux appuis qui sont les murs de côté du drone. La poutre est donc divisée comme suit :</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Fibre de carbone</td> <td style="padding: 5px;">PLA</td> <td style="padding: 5px;">Fibre de carbone</td> </tr> </table> <p>À l'aide du DCL, l'équilibre de la poutre a été trouvé et grâce au DET et DMF (voir fiche d'analyse en annexe E) le moment fléchissant maximal a été obtenu soit 1,95Nm (voir tableau 9 pour les résultats des calcul)</p> <p>Par la suite, la contrainte a été calculé et est de 9.36 MPa ce qui pratiquement le sixième de la valeur maximale de 60 MPa.</p>	Fibre de carbone	PLA	Fibre de carbone
Fibre de carbone	PLA	Fibre de carbone		

Le tableau suivant résume la démarche suivie pour analyser le côté au décollage.

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Tableau 5. Analyse au décollage pour le côté

Hypothèse : Le côté est une colonne encastrée dans le plancher en raison des boulons qui les lient ensemble.	
Façon de procéder au calcul	Le DCL a permis de trouver l'équilibre et à l'aide des valeurs obtenues précédemment, la contrainte en compression et la force de flambage ont été calculé. (Voir fiche d'analyse V03 en annexe E).
Conclusion	Une section de 20x2mm de large supportent les efforts maximaux prévus. En effet, une contrainte de 75 MPa en compressions est appliquée sur cette section et la valeur maximale est de 93,1 MPa. Ceci est une sécurité vue que la structure comporte des coté qui sont 160mm de large, ce qui est 8x plus que le nécessaire pour supporter les efforts calculés.

Le tableau suivant résume la démarche suivie pour analyser l'atterrissement.

Tableau 6. Analyse du train d'atterrissement

But : Supporter le poids de la structure et de dissiper l'énergie lors d'un écrasement et ce en étant le plus le plus léger possible.	
Matériau	ABS
Hypothèse	Poids à supporter : 3kg
Modélisation	Colonnes subissant une compression
Façon de procéder au calcul	<ul style="list-style-type: none"> - DCL: Équilibrer le système - Utiliser le tiers de la valeur maximale de compression de l'ABS soit 31 MPa pour obtenir les dimensions minimales - Doubler le résultat afin d'émettre un facteur de sécurité. Les dimensions obtenues sont de 1,5x1,5 mm

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Tableau 6. Analyse du train d'atterrissement (Suite)

But : Supporter le poids de la structure et de dissiper l'énergie lors d'un écrasement et ce en étant le plus léger possible.	
Façon de procéder au calcul	<ul style="list-style-type: none"> - Considérer le flambement des colonnes (train plus haut par rapport à sa largeur) : utiliser la formule d'Euler (voir fiche d'analyse V02 en annexe E). - Doubler le résultat minimal afin d'émettre un facteur de sécurité. Les dimensions obtenues sont de 1,7x1,7 mm
Conclusion	<p>Dimensions finales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Environ 2.5x plus grande que celle obtenue dans le calcul - Base en contact avec le sol élargi à 10mm de chaque côté pour offrir plus de stabilité
À noter	<p>Atterrissage moins contrôlé → augmenter la surface de contact entre le train et le sol.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour ce faire, des pièces de bois de 200mm furent collé sous le train déjà existant et un rembourrage en mousse a aussi été collé au bout de chaque plaque de bois. <p>Avec cet assemblage, il y a plus de stabilité à l'atterrissement et une plus grande dissipation de l'énergie. Lors d'un écrasement, le train d'atterrissement est supposé se briser pour ainsi diminuer l'énergie transférée au à la structure. Voir annexe C qui montre l'énergie potentielle, l'énergie élastique par unité de volume, la contrainte générée et la vitesse à l'impact selon la hauteur de chute du drone. L'objectif c'est que le train d'atterrissement fonctionne pour une chute de 600 mm, au-delà de cette hauteur il est supposé se briser.</p>

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Voici un tableau résumant les données obtenues.

Tableau 7. Résultats des calculs

	Murs (côté)	Bras et structure	Train d'atterrissement
Dimensions calculées (mm)	2	5	2x2
Moment fléchissant maximal (Nm)	1.95	1.95	-
Contrainte de traction (MPa)	15	-	-
Contrainte en flexion (MPa)	75	9.36	-
Contrainte en compression (MPa)	-	-	1.2
Contrainte lors de l'impact (MPa)		8.29	
Force de flambage (N)	-	-	3500

LA RENAISSANCE DU PHENIX

5.1 Mesure de la performance

Les tableaux suivants résument les différences résistances des différents matériaux.

Tableau 8. Résistances selon le matériau

		Fibre de carbone	Acide Polylactique (PLA)	Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)
Résistance en flexion (MPa)	Maximale	1200	60	70.5
	Limite	400	20	23
	Réelle			
Résistance à la traction (MPa)	Maximale	5407	64	33,9
	Limite	1802	21.3	11.3
	Réelle			
Résistance à la compression (MPa)	Maximale	950	93.8	93.1
	Limite	316	31.2	31
	Réelle			0.6
		Hauteur (mm)		
Résistance au choc (MPa)	Maximale	2000		
	Limite	600		
	Réelle			

LA RENAISSANCE DU PHENIX

6 Choix de matériaux et dimensionnements

Comme mentionné souvent dans le rapport, la contrainte principale par la structure était son poids. Elle doit être capable de résister aux efforts calculés avec le facteur de sécurité en plus d'être composé à au moins 50% de matière imprimé en 3D. La structure choisie est composée à 100% d'impression 3D sauf pour les 4 bras qui sont en fibre de carbone, le dessous des trains d'atterrissement en bois et en mousse et les boulons et charnières qui sont en acier en raison de la disponibilité du matériel et de la différence négligeable entre des boulons plus légers.

Le tableau suivant présente la justification des choix des matériaux

Tableau 9. Choix des matériaux

Matériau	Justification de la sélection
PLA (pièces envoyées à la bibliothèque)	Meilleure empreinte écologique
Bois	Faible densité, facilité à usiner et accessible, flexible pour amortir les chocs lors de l'atterrissement.
ABS	Imposé par les impressions 3D en atelier
Mousse	Choisi pour sa capacité à se déformer et a été recyclé à partir d'emballage des pièces livrées
Fibre de carbone	Excellent propriétés mécaniques et faible densité.
L'acier (boulons et charnières)	Disponibilité sur les rayons d'achat

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Le tableau suivant présente la justification des dimensionnements. (voir annexe A pour dessin)

Tableau 10. Choix des dimensionnements

BUT : Minimiser le poids	
Pièces	Justification du dimensionnement
Structure 160x70x70 mm	<ul style="list-style-type: none"> - Minimale possible pour être en mesure d'intégrer tous les autres systèmes. - Minimum de longueur imposé dû à la batterie (plus grande composante du drone)
Plancher 160x70x30 mm	Conçu pour y intégrer le système de levage
Côtés 160x70x2 mm	L'hypothèse de base : 2mm. Les calculs ont prouvé qu'elles résistent
Plafond 160x70x5mm	<p>L'épaisseur se devait d'être plus grande, puisque cette partie de la structure est plus sollicitée.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Insérer les côtés dans des rainures sur le bord du plafond et assurer un minimum de résistance - 5mm d'épaisseur lui a été attribué.
Avant et arrières (portes) 70x70x2 mm	<ul style="list-style-type: none"> - Minimum des dimensions nécessaires et sécuritaire - Pièces très peu sollicitées - Pas supposer reprendre des efforts, hormis les chocs éventuels des pièces mal fixées à l'intérieur

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Tableau 10. Choix des dimensionnements (suite)

BUT : Minimiser le poids	
Pièces	Justification du dimensionnement
Bras 120x50x5 mm	Choisi pour leur longueur (120mm) : Espacement sécuritaire entre les hélices et la structure. Le reste des dimensions sont imposés, car ceux-ci ont été acheté.
Train d'atterrissage 5x5x30 mm	Dimensions obtenues par calculs

En ce qui concerne le train d'atterrissage, en effectuant des tests, il est devenu évident qu'il n'était pas assez large pour éviter un renversement du drone. Des plaques de bois flexible ont été collé en dessous pour en augmenter la largeur de 70mm de chaque côté. Cette valeur a été obtenu en regardant le point de renversement du drone sur différente longueur. De plus, de la mousse a été collé au bout des plaques de bois pour permettre à celle-ci de flétrir et ainsi mieux absorber les énergies d'impact avec le sol.

LA RENAISSANCE DU PHENIX

7 Développement durable et économie circulaire

Les décisions prises tout au long de ce projet furent prises en gardant en tête le développement durable, en effet, bien que ce soit à petite échelle le drone conçu respecte l'environnement. D'une part, le Phénix est alimenté par un système électrique qui a une moins grande empreinte écologique que n'importe quel carburant fossile. D'autre part, le mandat obligeait que la moitié de la structure devait être faite par impression 3D réduisant les options disponibles en termes de matériaux écologique et réutilisable. Il a tout de même été possible de faire une différence pour la planète en choisissant le plastique PLA au lieu de l'ABS. En effet, bien que le PLA soit plus lourd que l'ABS, le PLA est bien moins nocif pour l'environnement, effectivement, le PLA est réutilisable et biodégradable (1) contrairement à l'ABS. Bien que les propriétés mécaniques de l'ABS semblent plus attrayante, notre drone est fabriqué avec le PLA. En plus, pour la conception des pièces nous avons eu recours à des ressources locales fourni par l'école réduisant les déplacements, ainsi que l'importation de matières et services externes.

LA RENAISSANCE DU PHENIX

8 Coût du produit et système

Le tableau ci-dessous résume les coûts et les masses de chacune des composantes de la structure.

Tableau 11. Choix des dimensionnements

No	Description	Quantité	Prix (\$)	Matériaux	Masse(g)
1	Côté gauche	1	17.40	PLA	41.02
2	Côté droite	1	17.40	PLA	41.62
3	Train d'atterrissement	2	GRATUIT	PLA	9.72
4	Plafond	1	15.00	PLA	37.00
5	Plancher	1	18.50	PLA	58.68
6	Portes	2	GRATUIT	ABS	9.45
7	Boulon	22	7.79	Acier	27
8	Charnière	2	3.49	Acier	6

LA RENAISSANCE DU PHENIX

9 Facture, échéancier et gestion du temps

M5 MEC1110 Équipe Feu

2900 Boulevard Edouard-Montpetit

Montréal, QC H3T 1J4

Téléphone : 418-234-4567

FACTURE

FACTURER À	N° FACTURE	DATE			
	RÉF CLIENT	CONDITIONS			
Jean LeFeu FEU & inc. Rue Brasier H3T 6T8	333	Paiement dû à la réception			
DESCRIPTION	Taux horaire	HEURE	MONTANT		
		Théorique Réelle	Théorique Réelle		
RAPPORT					
Rédaction du rapport (heures cummulées par l'équipe)	50,00	20	30	1 000,00 \$	1 500,00 \$
Fiche analytique et technique	50,00	3	4	150,00 \$	200,00 \$
INGÉNIERIE					
Modélisation du drone	100,00	20	30	2 000,00 \$	3 000,00 \$
Calculs des contraintes et résistance des matériaux	100,00	25	25	2 500,00 \$	2 500,00 \$
Construction de la structure	100,00	10	15	1 000,00 \$	1 500,00 \$
Intégration des sous-systèmes	100,00	5	20	500,00 \$	2 000,00 \$
Tests sur la structure (traction, compression, contraintes, cisaillage)	100,00	2	2	200,00 \$	200,00 \$
ADMINISTRATION					
Préparation des ODJ/CR	50,00	2	2	100,00 \$	100,00 \$
Préparation des présentations pour la compagnie 5	50,00	2	2	100,00 \$	100,00 \$

Tâches effectuées du 12-03 au 01-04

Nous vous remercions de votre confiance.

SOUS-TOTAL	7 550,00 \$	11 100,00 \$
TAUX TVA	15%	15%
TAXE	1 132,50 \$	1 665,00 \$
TOTAL	8 682,50 \$	12 765,00 \$

Pour toute question concernant cette facture, veuillez contacter
[Marc-Alexandre Savard, 418-234-4567, mSeauiofeu@firemail.com]

LA RENAISSANCE DU PHENIX

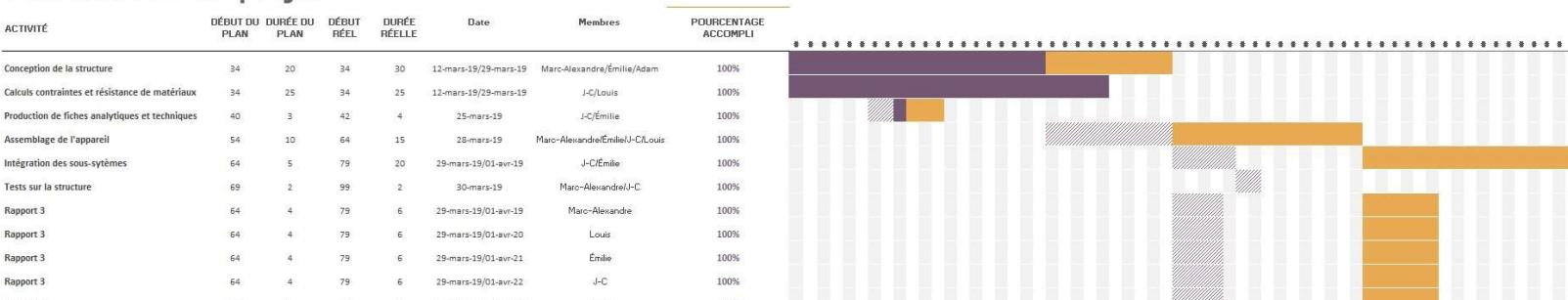
La facture théorique est basée sur les heures de cours qui étaient mise à disposition ainsi que le temps des rencontres hebdomadaires organisées à chaque semaine. Le temps de rapport et le temps mis sur les tâches administratives ont été planifiées comme la facture du rapport 2 remis plus tôt au cours de la session. En ce qui concerne la variation du total d'argent, le manque d'expérience dans ce domaine de modélisation et de construction d'engin mécanique a fait que le nombre d'heure mis dans le domaine de l'ingénierie et dans la rédaction du rapport ai augmenté. La tâche ayant la plus grande différence de temps est "l'intégration des sous-systèmes" dû aux nombreux changements de dernière minute et du manque de présence du niveau de l'équipe de levage.

Le planificateur de projet suivant permet d'avoir un meilleur aperçu de la répartition des tâches d'équipe ainsi que des échéanciers établis.

Planificateur de projet

ACTIVITÉ	DÉBUT DU PLAN	DURÉE DU PLAN	DÉBUT RÉEL	DURÉE RÉELLE	Date	Membres	POURCENTAGE ACCOMPLI
Conception de la structure	34	20	34	30	12-mars-19/29-mars-19	Marc-Alexandre/Émilie/Adam	100%
Calculs contraintes et résistance de matériaux	34	25	34	25	12-mars-19/29-mars-19	J-C/Louis	100%
Production de fiches analytiques et techniques	40	3	42	4	25-mars-19	J-C/Émilie	100%
Assemblage de l'appareil	54	10	64	15	28-mars-19	Marc-Alexandre/Émilie/J-C/Louis	100%
Intégration des sous-systèmes	64	5	79	20	29-mars-19/01-avr-19	J-C/Émilie	100%
Tests sur la structure	69	2	99	2	30-mars-19	Marc-Alexandre/J-C	100%
Rapport 3	64	4	79	6	29-mars-19/01-avr-19	Marc-Alexandre	100%
Rapport 3	64	4	79	6	29-mars-19/01-avr-20	Louis	100%
Rapport 3	64	4	79	6	29-mars-19/01-avr-21	Émilie	100%
Rapport 3	64	4	79	6	29-mars-19/01-avr-22	J-C	100%
Rapport 3	64	4	79	6	29-mars-19/01-avr-23	Adam	100%
Total heure rapport 3		85		126			

Planificateur de projet



LA RENAISSANCE DU PHENIX

10 Gestion des connaissances

10.1 Reconnaît et identifie les savoirs de l'équipe

Cette étude est limitée par le fait que nos connaissances en matière de calcul de résistance des matériaux sont limitées. Nous n'avons donc pas calculé l'effet de la fatigue sur la structure. C'est tout de même un phénomène important à considérer, puisqu'il peut causer une rupture fragile sans même que les contraintes n'atteignent le seuil requis.

Dans notre cas, il est clair que la structure est soumise à un chargement cyclique aléatoire qui n'a pas été considéré.

Nous n'avons pas calculé les concentrations de contraintes, mais nous en avons tenu compte dans la conception des pièces.

Pour les calculs de résistance des matériaux, tous les assemblages de boulons ont été considéré comme un encastrement, alors que localement un boulon n'affecte pas la structure de la même manière. Aussi, l'effet local des boulons n'a pas été considéré.

L'option de faire des bras troués telles les membrures dans les ailes d'avions auraient pu être utilisé, mais nous étions incapables de calculer une telle configuration. Elle aurait été cependant intéressante à analyser pour diminuer le poids de la structure. Il serait donc intéressant de s'informer davantage sur le calcul de résistance des matériaux sur des sections troué pour pouvoir vraiment l'analyser.

Pour les calculs de dissipation de l'énergie lors d'un écrasement, les pertes d'énergies sous toutes formes ont été négligé.

LA RENAISSANCE DU PHENIX

10.2 Identifie les éléments de formation pour avancer

Notre manque d'expérience en impression 3D a mené à des difficultés de montage. Notre manque d'expérience en conception a fait que nous avons oublié de mettre un jeu entre le plafond et le côté ce qui a mené à beaucoup de sablage qui aurait pu être éviter.

Aussi, nous avions à la base prévue de sabler des pièces trop grandes et serrer davantage à l'aide d'un boulon les pièces trop petites.

Nos faibles connaissances en termes d'intégration à causer une forte utilisation du boulon et de la colle ce qui est fonctionnelle et simple, mais assurément pas la plus optimale en termes d'espace. Surtout que la colle offre une solution difficilement modifiable

Aussi, il faudrait rechercher davantage sur les méthodes de calcul de résistance des structures d'avion pour permettre un choix plus éclairé sur le choix de structure et des matériaux à utiliser.

10.3 Recherche des connaissances récentes du domaine

Avec les améliorations technologiques dans le domaine des drones, la diversification de son usage s'est élargie sur plusieurs domaines dont l'agriculture, la construction, la sécurité publique, l'armée et les recherches scientifiques (Mora, 2016).

Dans la dernière année, la caméra installée sur le drone est plus performante. En effet, dans certains cas, la caméra dispose de nouvelles fonctions tel que le vol autonome sans précédent, d'un objectif zénith à grand angle et de la capacité de résister à l'eau. De plus, elle a également la capacité de filmer plus en profondeur le monde sous-marin avec une résolution 4K, un auto-équilibrage et un anti-courant (Lee, 2019).

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Comme le réseau mobile utilisé pour le téléphone cellulaire, celui utilisé par le drone est également en évolution passant au 5G bientôt. Tout comme les services de connectivité de la gestion du réseau, le 5G permettra de gérer efficacement et en sécurité des capteurs de vol sur la gestion de l'espace aérien (Lee, 2019). De plus, la diffusion en direct de vidéos et d'images sera possible sur les réseaux sociaux tel qu'*Instagram* et *Facebook*. Aussi, il est possible de démarrer le drone sans le connecter à un téléphone intelligent ou une tablette en passant par une manette nommée le contrôleur intelligent. L'avantage de cette innovation est la rapidité à laquelle un pilote peut mettre le drone dans les airs. Ce lien direct diminue le risque des coupures de réseau tel que vu entre l'appareil mobile et le drone.

À ces débuts, le drone transportait principalement des objets. De nos jours, l'évolution du drone a permis de transporter également l'humain. À la suite de l'entrevue Skype avec monsieur Benjamin Harvey de la compagnie *Kitty Hawk*, le modèle *Cora* est un taxi aérien électrique et autonome pouvant décoller comme un hélicoptère et voler comme un avion depuis novembre 2017(Hawk, 2018)

Toutes ces innovations énoncées ci-dessus est une métamorphose du drone qui permettra « le premier pas vers un monde où la liberté de vol appartient à tous (Hawk, s.d.). »

LA RENAISSANCE DU PHENIX

11 Conclusion

L'objectif était de modéliser et de construire un drone ne pesant pas plus de 400g (contrainte donnée par l'équipe de propulsion) fait d'au moins de 50% de matériau sortant de l'imprimante 3D. Nous avons accompli ce mandat avec succès sachant que la structure est pratiquement seulement faite d'ABS et de PLA à l'exception d'une partie du train d'atterrissement et que la structure pèse seulement 300g. En ce qui concerne les résultats des calculs faits, il semblait sécuritaire de mettre un facteur de sécurité de $\frac{1}{3}$ des valeurs maximales afin de s'assurer que les pièces puissent rester en place et ne pas se déformer. La résistance en flexion limite ($\frac{1}{3}$ de la valeur max) des bras en fibre de carbone est de 400MPa, de 20MPa pour le PLA et de 23MPa pour l'ABS. La résistance en traction limite des bras en fibre de carbone est de 1 802MPa, de 21.3MPa pour le PLA et de 11.3MPa pour l'ABS. En ce qui concerne la résistance en compression, la valeur limites pour les bras est de 316MPa, de 31,2 pour le PLA et de 31 pour l'ABS. Le moment fléchissant maximal pour la structure est de 1,95Nm. Finalement, la force de flambage pour le train d'atterrissement est de 35 000N. Les prochaines étapes seront de faire des tests réels de tractions et de compressions des pièces afin de s'assurer que lors de l'assemblage du prototype Phénix, celui-ci ne se brise pas. Le plus grand défi interne (à l'intérieur de la compagnie 5) a été le manque de communications. En effet, quelques équipes n'étaient pas présentes lors des rencontres de compagnie cédulées et cela a retardé le processus d'assemblage du drone. En ce qui concerne un risque externe, on pourrait parler du manque d'information en lien avec l'endroit de la démonstration ainsi que les démarches suivies lors de la démonstration. Bien sûr, si l'information de la hauteur de vol avait été mentionnée au début du mandat, le train d'atterrissement aurait été beaucoup mieux modélisé et aurait pris moins de changement de dernières minutes. Malgré tout, le défi de construire la structure d'un drone en moins de quatre semaines tout en ayant peu de connaissance dans le domaine de l'aviation a été surmonté avec succès. Espérons maintenant que le Phénix pourra un jour être considéré par une compagnie comme étant une solution de rescousse en feu de forêt.

LA RENAISSANCE DU PHENIX

12 Références

- [1] Aeroweb-fr. (s.d.).Airbus A320-211.Tiré de : <http://www.aeroweb-fr.net/fiches/airbus-a320-211>
- [2] Cessna 152. (s.d.) Dans Wikipédia. Consulté le 27 novembre 2018 , tiré de : https://fr.wikipedia.org/wiki/Cessna_152
- [3] Cirrus aircraft . (2019). Airframe parachute. Tiré de : <https://cirrusaircraft.Com/innovation/airframe-parachute/>
- [4] EASA. (s.d.). *Weight and Balance*. Tiré de : <https://www.google.com/search?q=weight+and+balance+easa&oq=weight+&aqs=chrome.0.69i59l2j0j69i57j69i61l2.2927j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8#>
- [5] Gernitex. (s.d.). Propriétés de la fibre de carbone. Tiré de : <https://gernitex.com/fr/ressources/fibre-de-carbone-proprietes/>
- [6] Goodfellow. (s.d.). *Les propriétés du Composite de Carbone/Epoxy*.Tiré de : <http://www.goodfellow.com/F/Composite-de-Carbone-Epoxy.html>
- [7] Gouvernement du Québec. (s.d.). *Mission-vision-valeurs*.Tiré de : <https://www.sq.gouv.qc.ca/organisation/mission-vision-valeurs/>
- [8] Guillaume, E. (2006). *Effets du feu sur les personnes*. Récupéré sur <https://documents.lne.fr/publications/guides-documents-techniques/rapport-effets-feu-personnes-eric-guillaume.pdf>
- [9] Hawk, K. (27 décembre 2018). *A year gone by, 365 days of endless traffic*. Cora.Tiré de: <https://cora.aero/milestones/>
- [10] HUYNH, Émilie. Entrevue avec Émilie Bégin, Agente à la prévention et aux communications chez SOPFEU, Montréal. 23 janvier 2019.
- [11] HUYNH, Émilie. Entrevue avec un intervenant chez Feux de forêt 13, Montréal. 23 janvier 2019.
- [12] HUYNH, Émilie. Entrevue avec Mme. Marie-Claire, Édimestre chez Urgence Québec, Montréal. 24 janvier 2019.
- [13] Le monde. (s.d.). *Citation & proverbe accident - 101 belles citations et proverbes accident*. Tiré de : <https://dicocitations.lemonde.fr/citation/accident/1/20.php>
- [14] Lee, I. (11 Janvier 2019). *CES 2019 Delivers new drone technology, from home security drones to autonomous fishing drones*. UAV Coach.Tiré de : <https://uavcoach.com/ces-2019/>
- [15] Line-x llc. (2016). Linex. Revêtements de protection.Tiré de : <http://www.Linex.Com/protective-coatings>

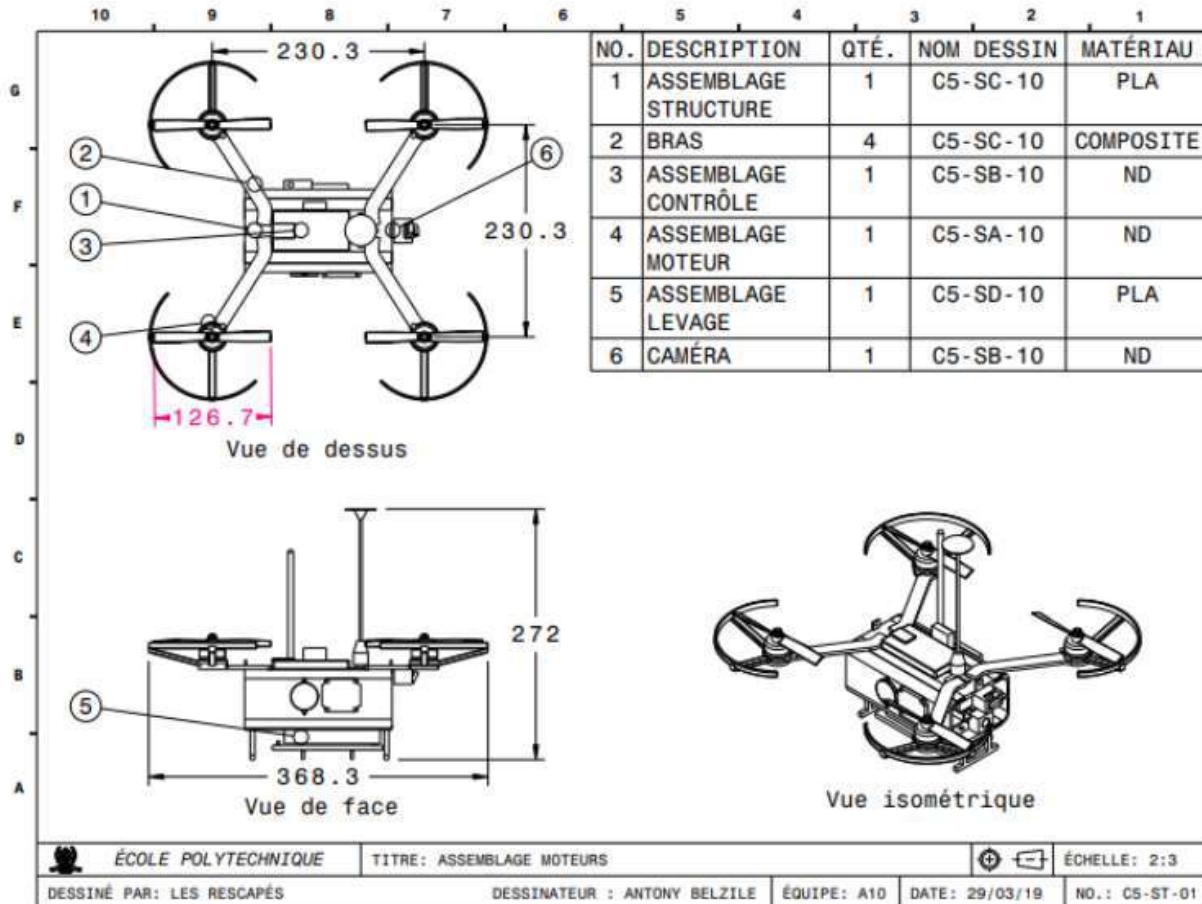
LA RENAISSANCE DU PHENIX

- [16] Mallet, P. (s.d.). *Le parachute*. Enfer Normand. Tiré de : http://enfernormand.free.fr/le_parachute.htm
- [17] Mora, B. (4 novembre 2016). *Data driven*. Weave.Tiré de : <https://weave.eu/drones-civils-decouverte-nouveaux-usages-episode-2/>
- [18] Moreau , r., & sommeria , j. (2019, février 05). Traînée subie par les corps en mouvement. Encyclopedie-environnement.Tiré de : <https://www.Encyclopedie-environnement.Org/physique/trainee-corps-en-mouvement/>
- [19] Pinéda, A. (2018, juillet 30). *Les incendies de forêt, une menace croissante. Le devoir*. Tiré de : <https://www.ledevoir.com/societe/533457/les-incendies-de-foret-une-menace-croissante>
- [20] Portier, J., & Lajoie, G. (2017). *Impact des feux de forêt. Ouranos*. Récupéré sur https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Rapport-Feux-Fore%CC%82t_2017.pdf
- [21] Pyromeral systems. (2011). High temperature composites. Composites structurants résistant à la chaleur et barrière anti-feu. Tiré du : <http://www.High-temperature-composites.Com/fr/composites-haute-temperature-barriere-feu-pyrosic-pyrokarb.Htm>
- [22] Snikhovska, K. (s.d.). *PLA vs ABS Filament : 3D printing strength and flexibility.Pen and plastic*.Tiré de : <https://penandplastic.com/abs-vs-pla/>
- [23] SP Medical. (2015). Équipement de transport. Civière-chaise 107c. Tiré de : <https://spmedical.ca/fr/produits-medicaux/equipement-de-transport/civiere-chaise-107-c.html>
- [24] Ultimaker. (16 Mai 2017). *Fiche technique: ABS*.Tiré de : <https://ultimaker.com/download/67623/TDS%20ABS%20v3.011-fre-FR.pdf>
- [25] Rédaction Affaires de gars. (7 novembre 2016). La limite des ambulances camions de pompier et voitures de police à Montréal. Tiré de : <https://www.affairesdegars.com/page/article/4156063843/la-limite-de-vitesse-des-ambulances-camions-de-pompier-et-voitures-de-police-a-montreal.html>

LA RENAISSANCE DU PHENIX

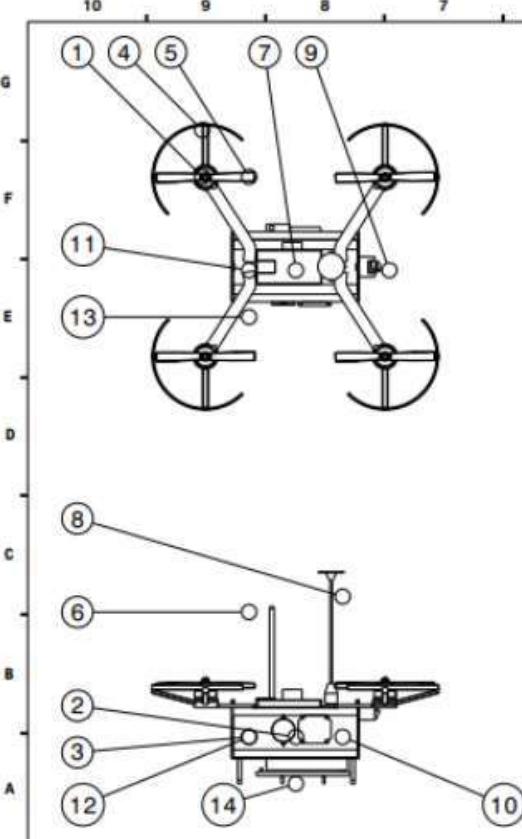
Annexe A

Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A Le *Phénix*



The diagram illustrates the Phenix drone's structure with two views: a top view and a side view. Numbered circles (1 through 14) point to specific parts: 1, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 13, 8, 6, 2, 3, 12, and 14. The top view shows the main frame, motors, propellers, and landing gear. The side view shows the vertical stabilizer, horizontal stabilizers, and the central body.

6	5	4	3	2	1
MOTORIZATION					
Moteur OK2205 #1					
MASSE	29g	MASSE	25g	FRÉQUENCE 915MHz	
PRIX	19.25\$	COURANT MAX	90A		
POUSSÉE MAX	960g	TENSION	6-28V		
VOLTAGE	14.8V	ORDINATEUR DE VOL PIXHAWK			
AMPÉRAGE	27.6A	MASSE	43g		
ESC #2		COURANT MAX	120A		
MASSE	10.3g	TENSION	6V		
PRIX	43.99\$	CAMERA FPV WOLFHOOP WT05 #8			
AMPÉRAGE MAX	40A	MASSE	8.4g		
BATTERIE #3		PRIX	22.54\$		
MASSE	279.3g	RÉSOLUTION	600TVL		
PRIX	69.99\$	FREQUENCE	5.8GHz		
CAPACITÉ	3000mAh	BATTERIE CAMÉRA LIPO 1S #10			
TAUX DE DÉCHARGE	25C	MASSE	15.3g		
CARÉNAGE #4		PRIX	25.17\$		
MASSE	17.25g	CAPACITÉ	600mAh		
PRIX	1.7\$	VOLTAGE	3.7V		
CONTRAINTE MAX	28.7MPa	STRUCTURE			
HELICE #5					
MASSE	1.8g	AVANT ET ARRIÈRE #11			
PRIX	5\$	MASSE	8.9g		
CONTROLE					
RÉCEPTEUR PPM D4R-II #6					
MASSE	5.8g	MATÉRIEL	ABS		
PRIX	57.24\$	CONTRAINTE	97MPa		
AMPÉRAGE	60mAh	HABITACLE #12			
TENSION	3.5-10V	MASSE	240g		
PIXHAWK (GPS,TRANSMITTER,ALIMENTATION,FC) #7					
PRIX	225\$	PRIX	24\$		
NEO-M8N GPS #8					
MASSE	50g	MATÉRIEL	COMPOSITE		
PRÉCISION	2m	CONTRAINTE MAX	5407MPa		
TENSION	2.7-3.6V	LEVAGE #14			
MODULE DE TRANSMISSION					
MASSE	21g	MASSE	89g		
PUISSEANCE	100mW	PRIX	20\$		
MATERIEL PLA					



ÉCOLE POLYTECHNIQUE

TITRE: FICHE TECHNIQUE PHÉNIX

ÉCHELLE: ND

DESSINÉ PAR: LES RESCAPÉS

DESSINATEUR : ANTONY BELZILE

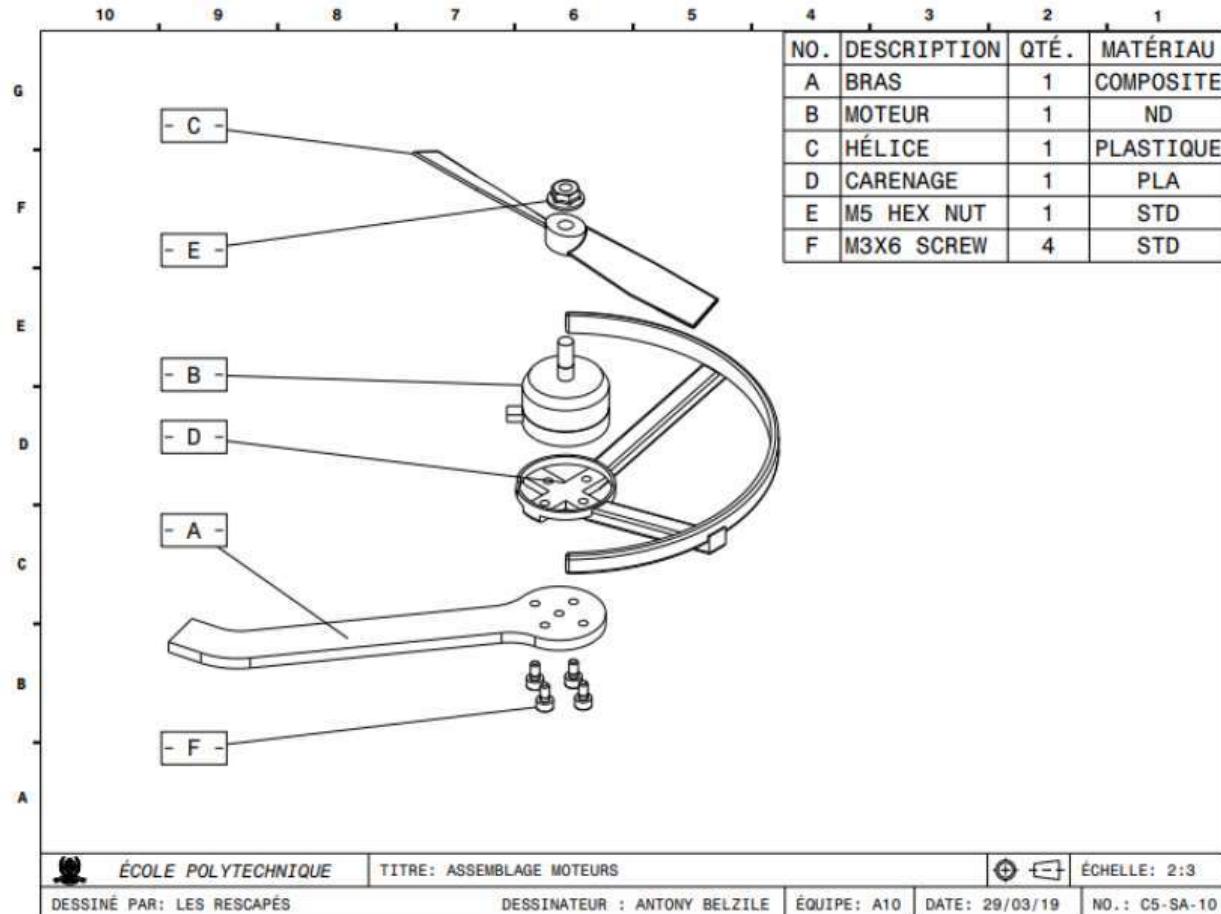
ÉQUIPE: A10

DATE: 29/03/19

NO.: C5-SB-10

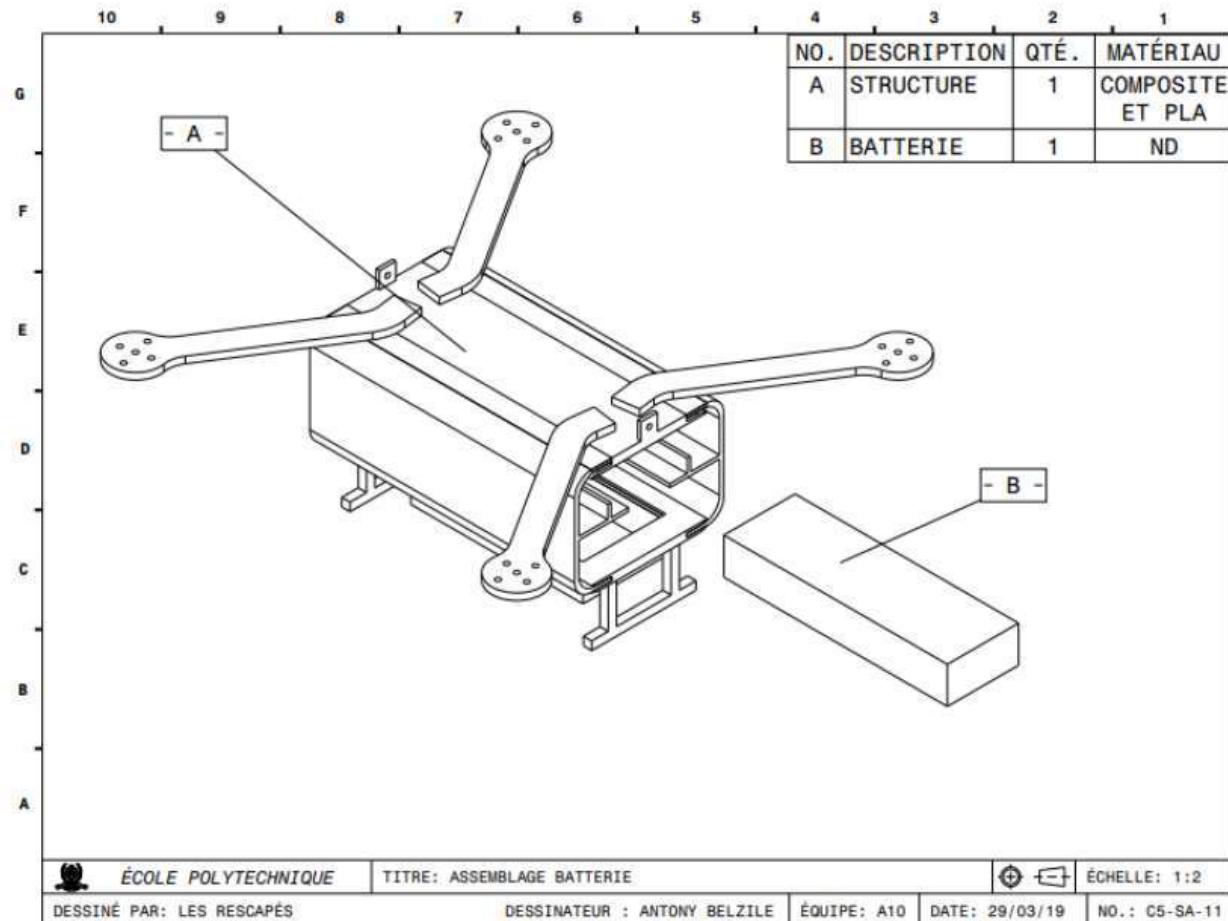
LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A Le *Phénix*



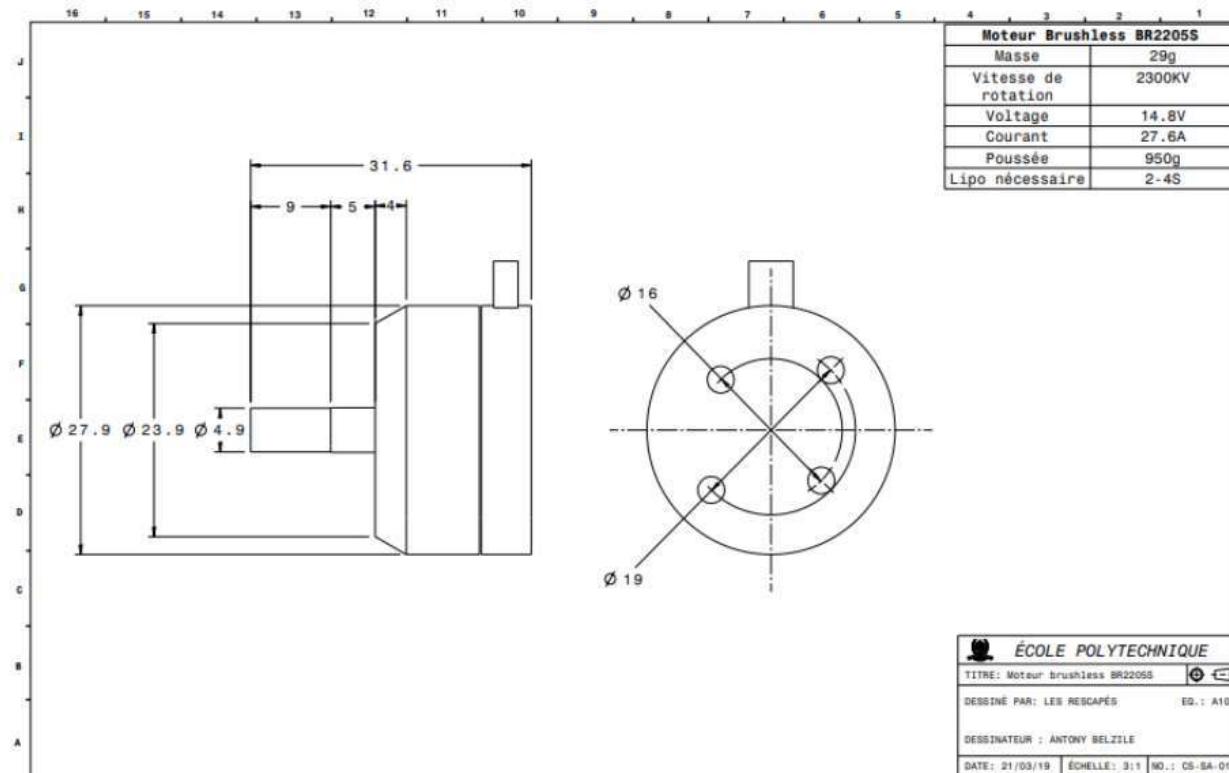
LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A Le *Phénix*



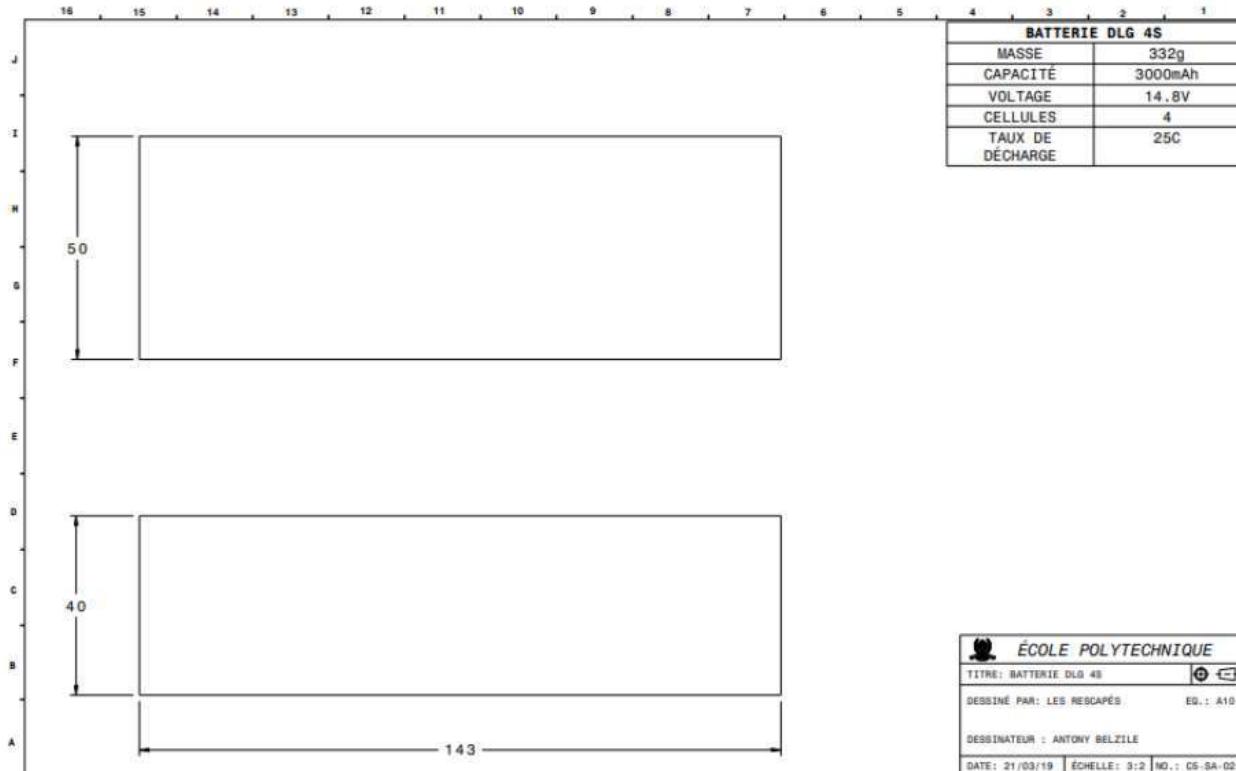
LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A Le *Phénix*



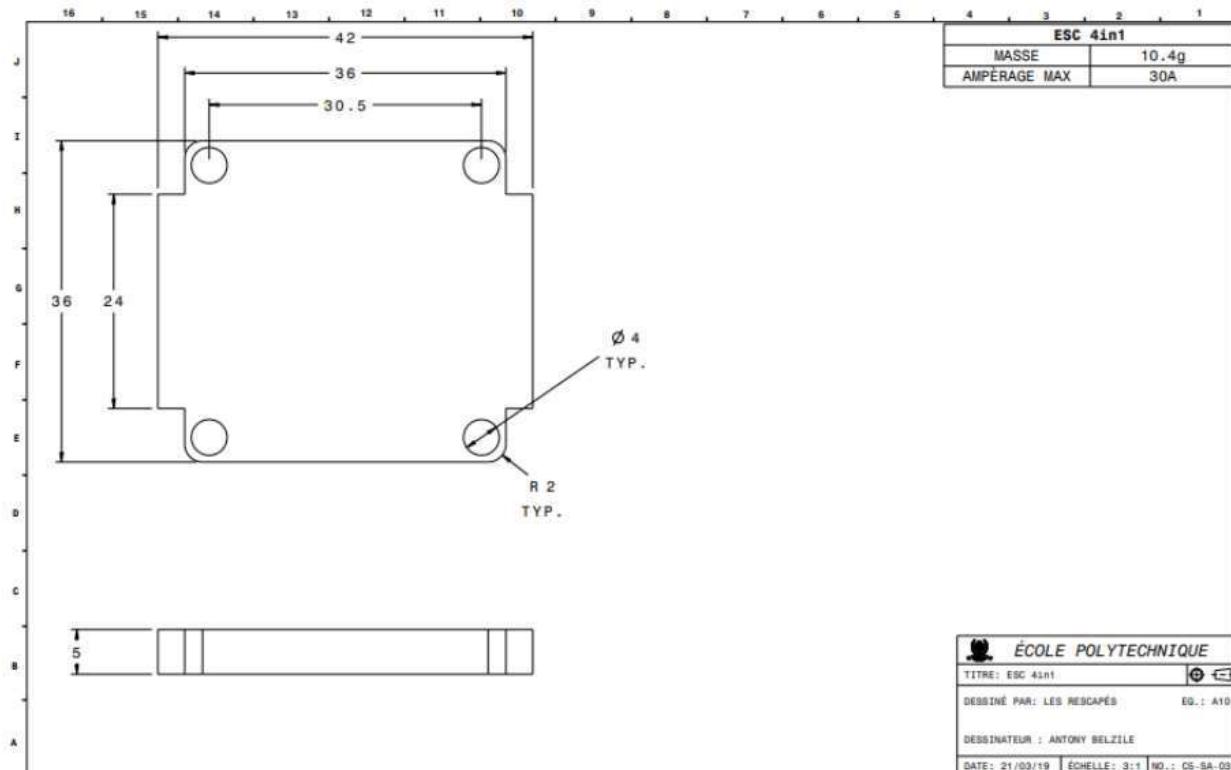
LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A Le *Phénix*



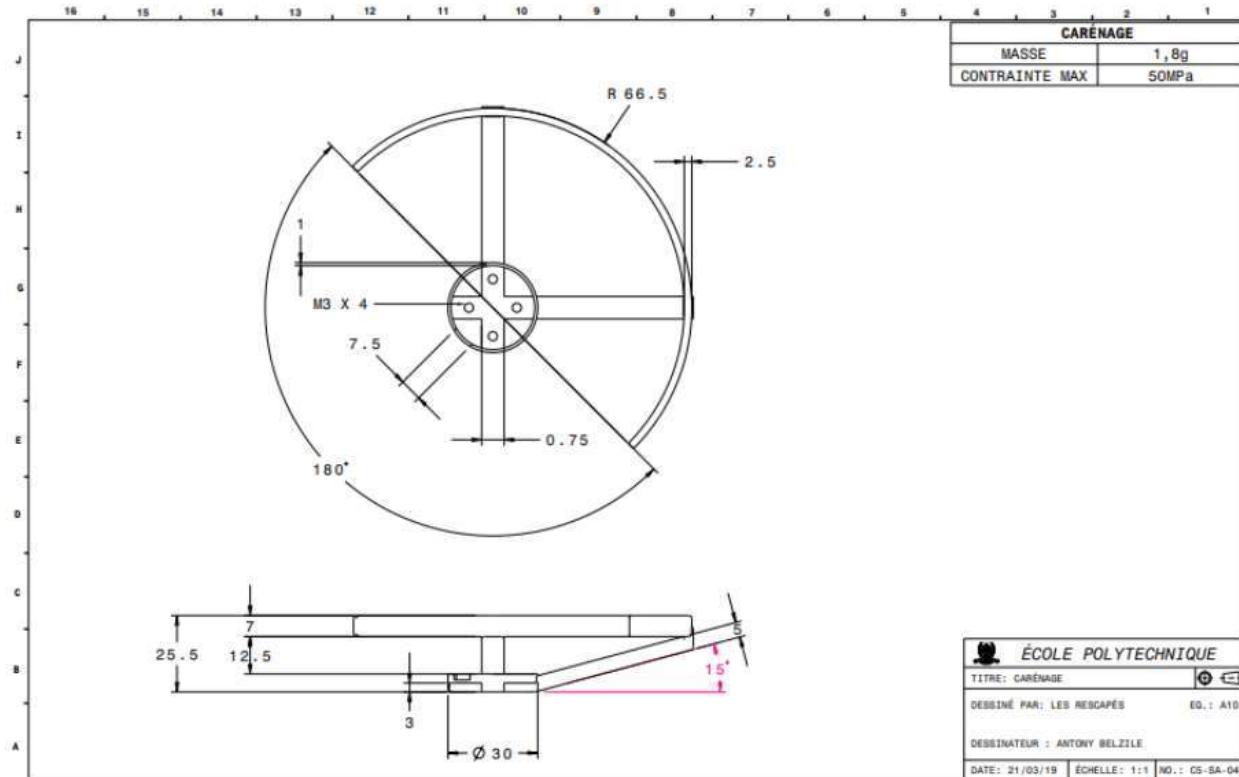
LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A Le *Phénix*



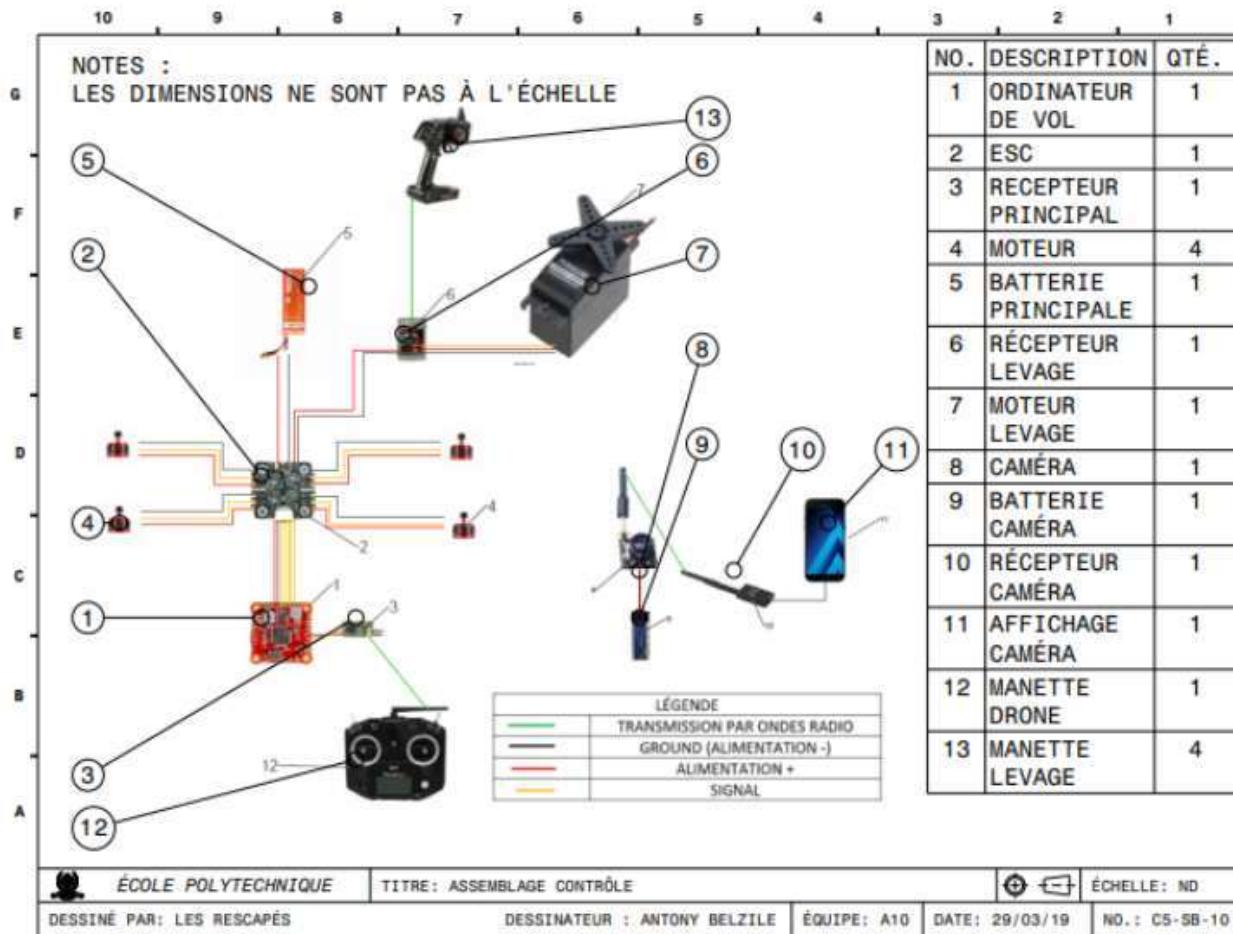
LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

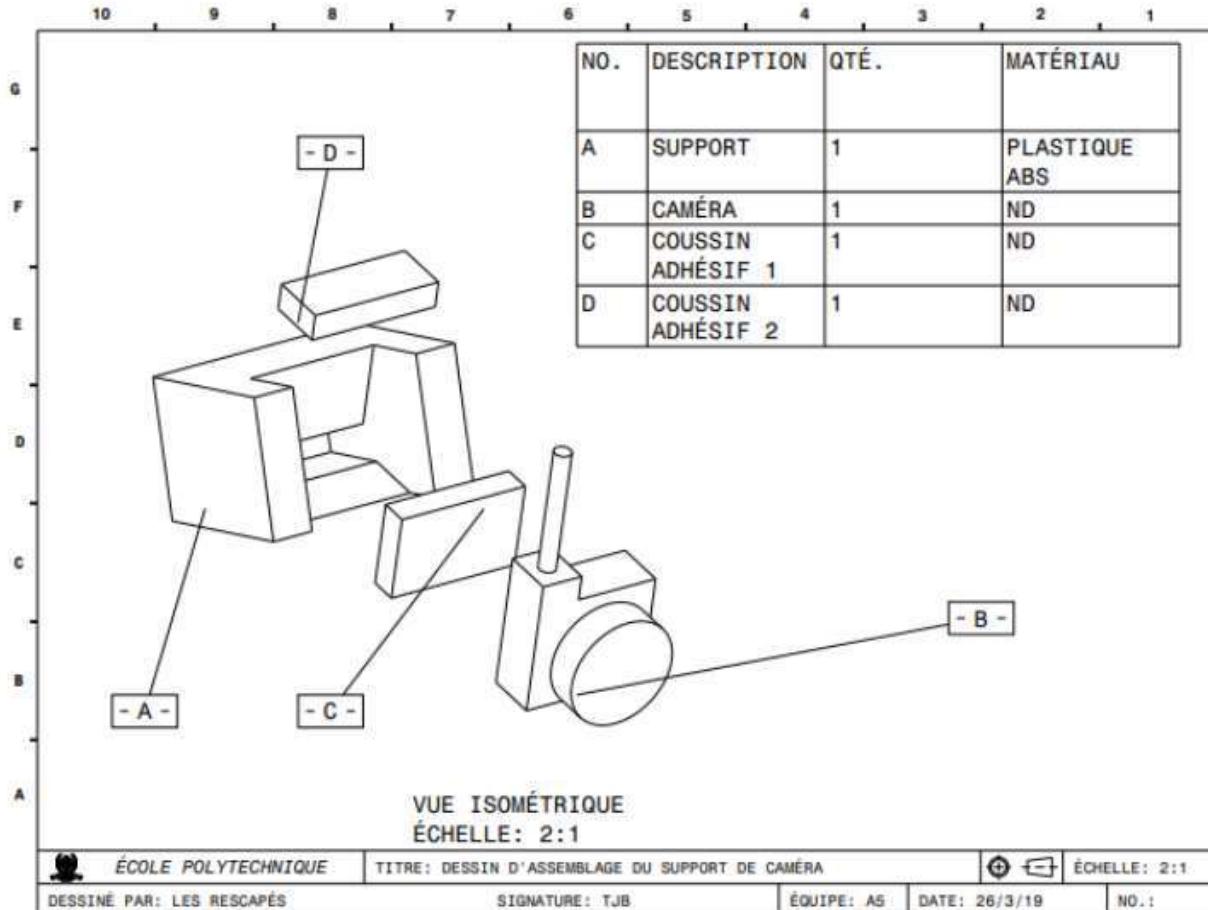
Annexe A Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

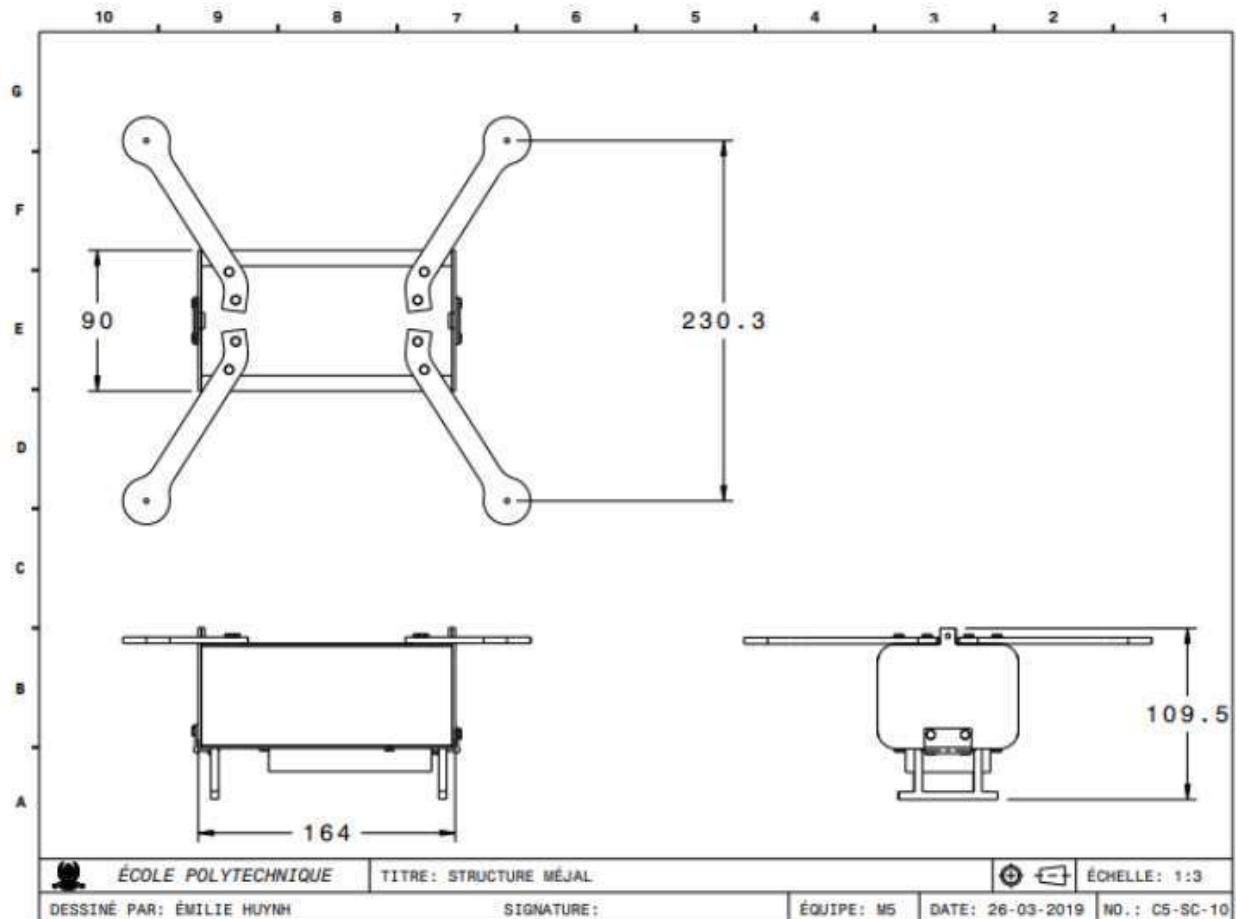
Annexe A

Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

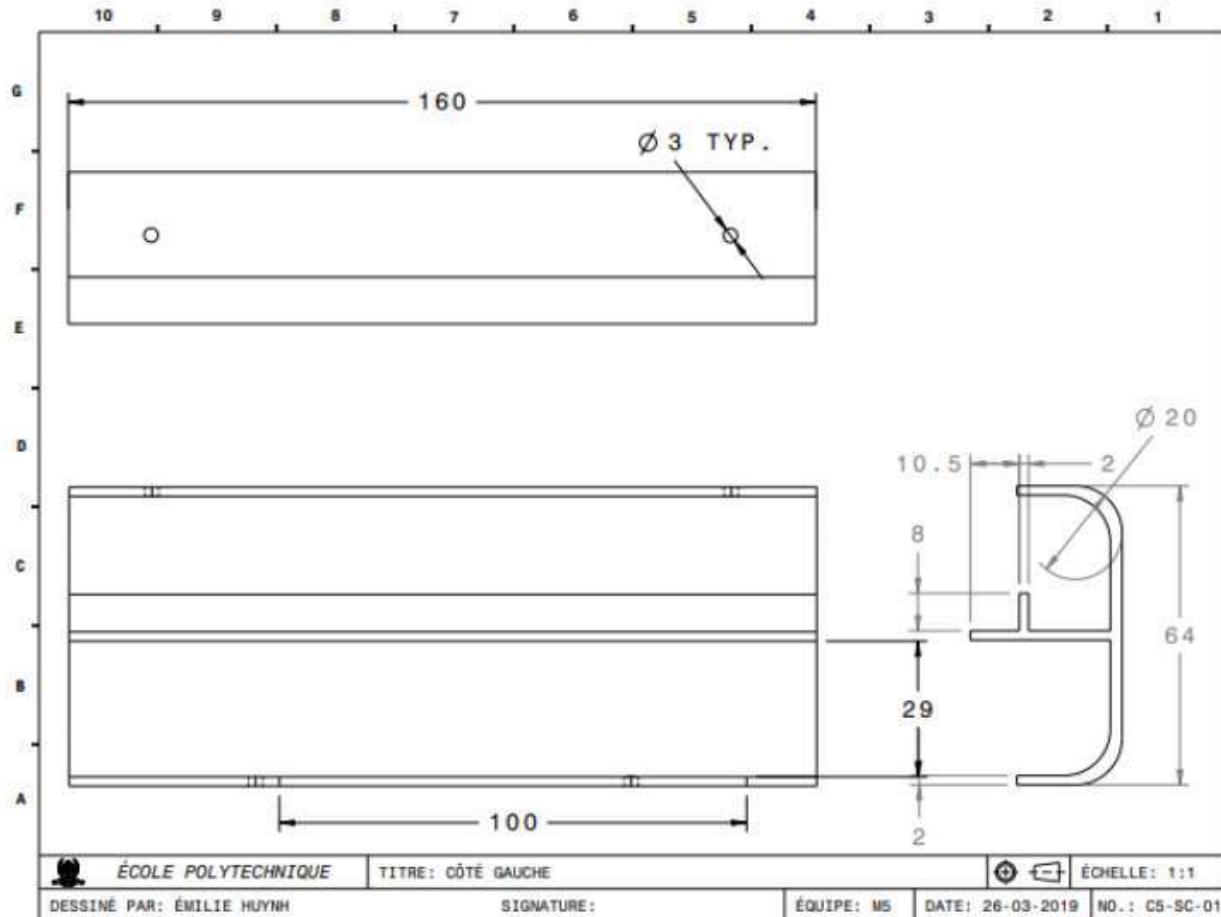
Annexe A Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A

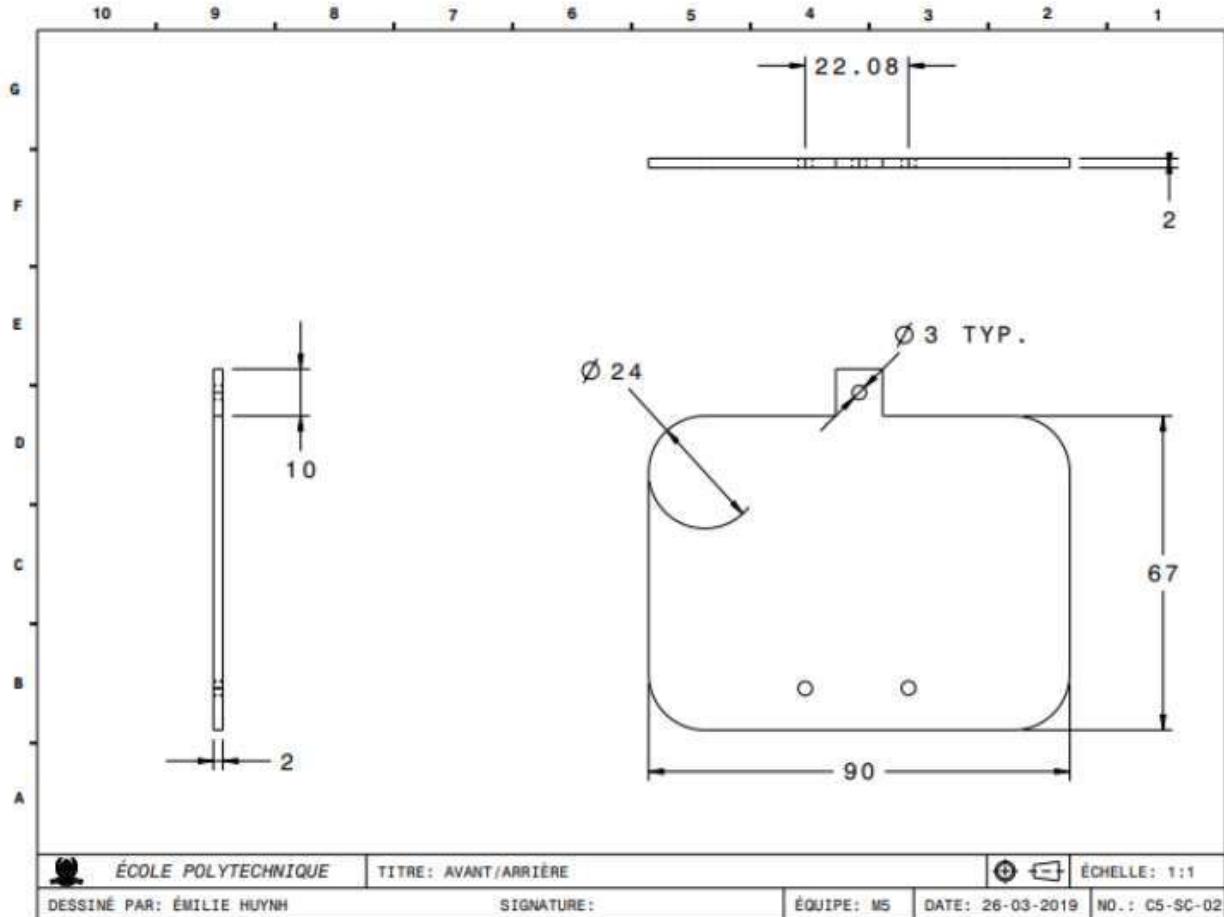
Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A

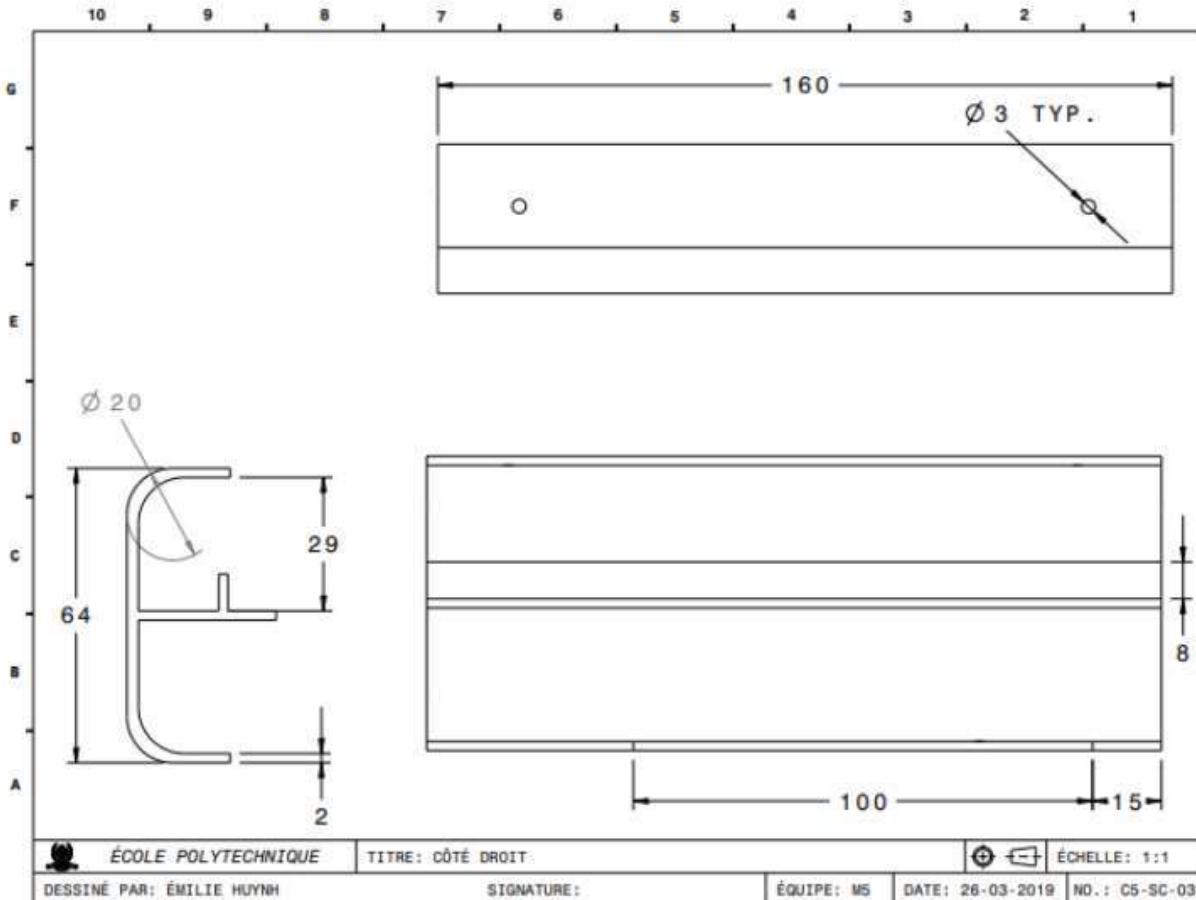
Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

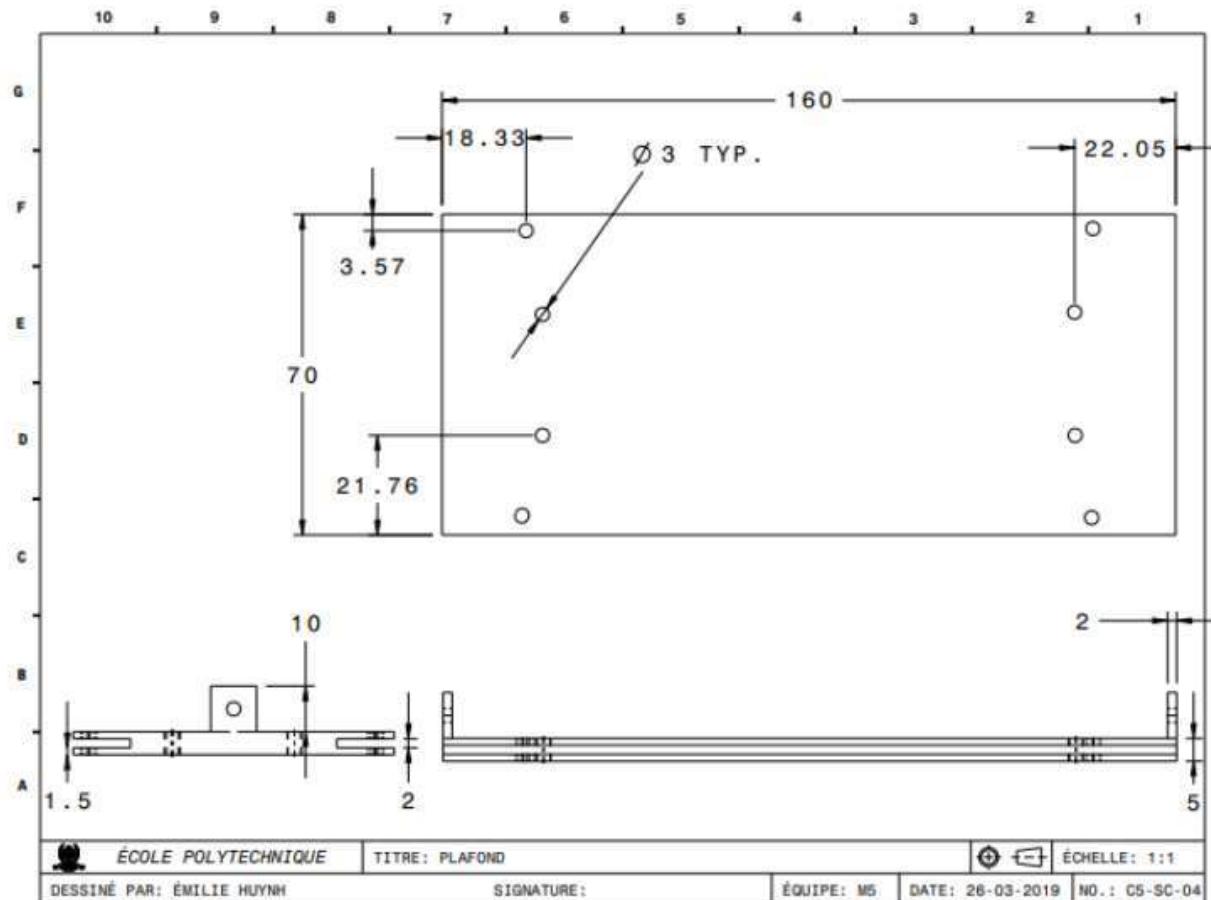
Annexe A

Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

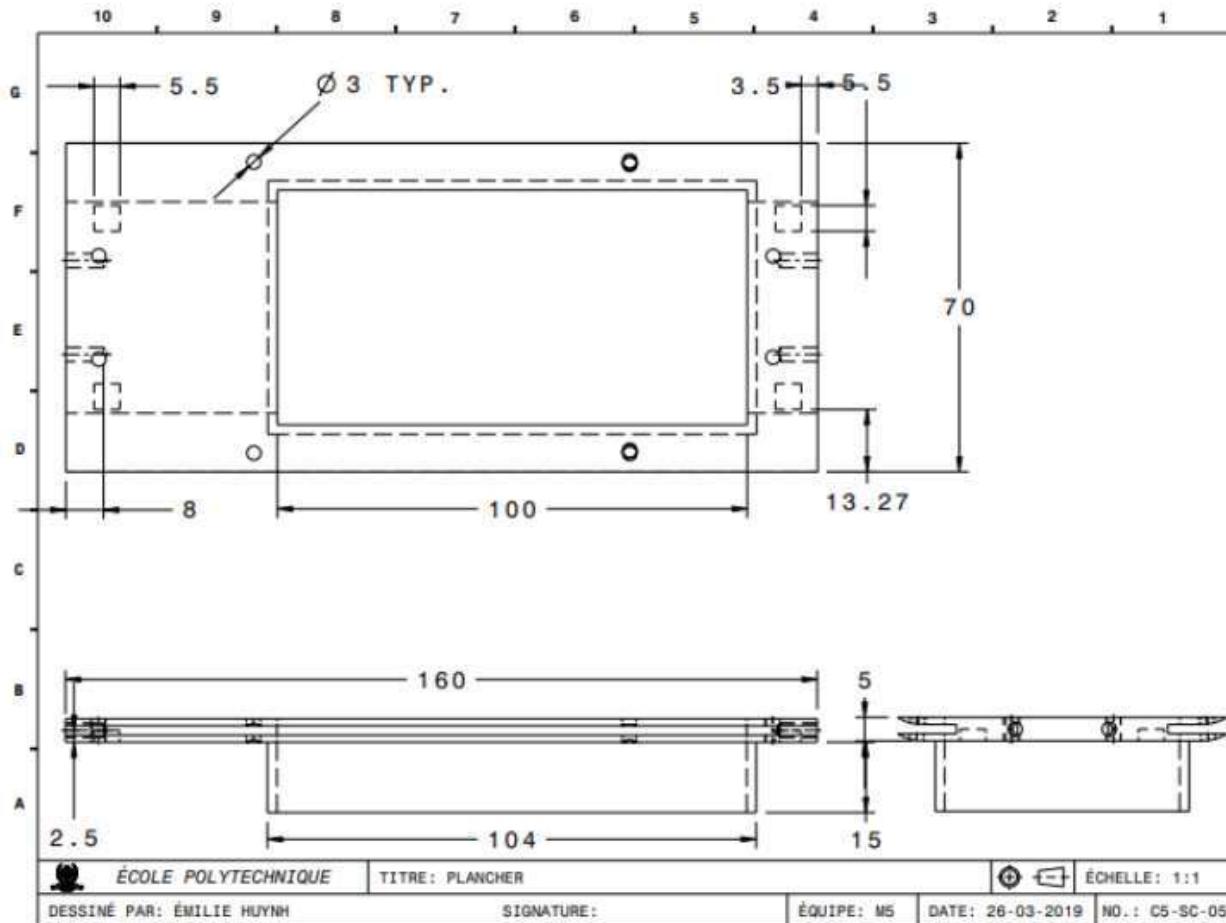
Annexe A Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A

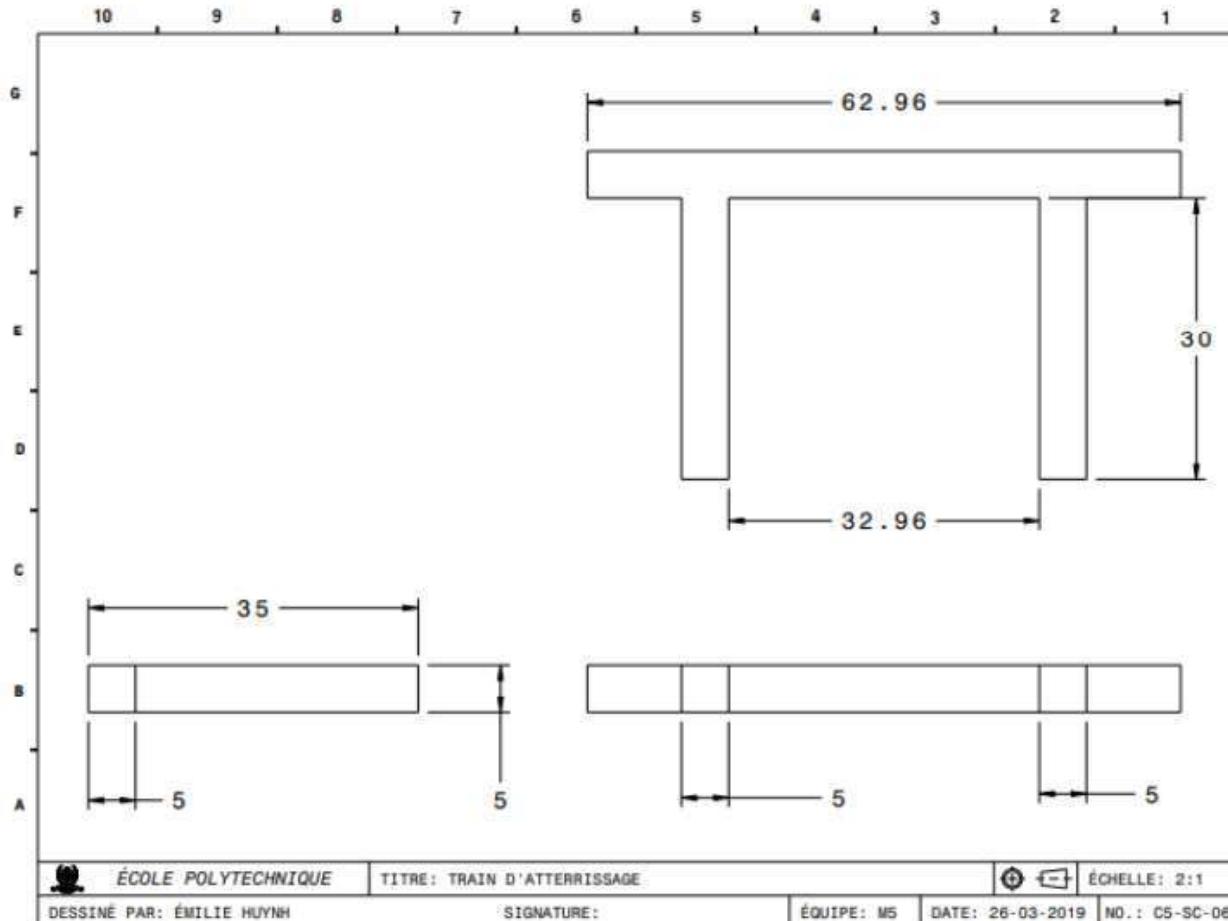
Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A

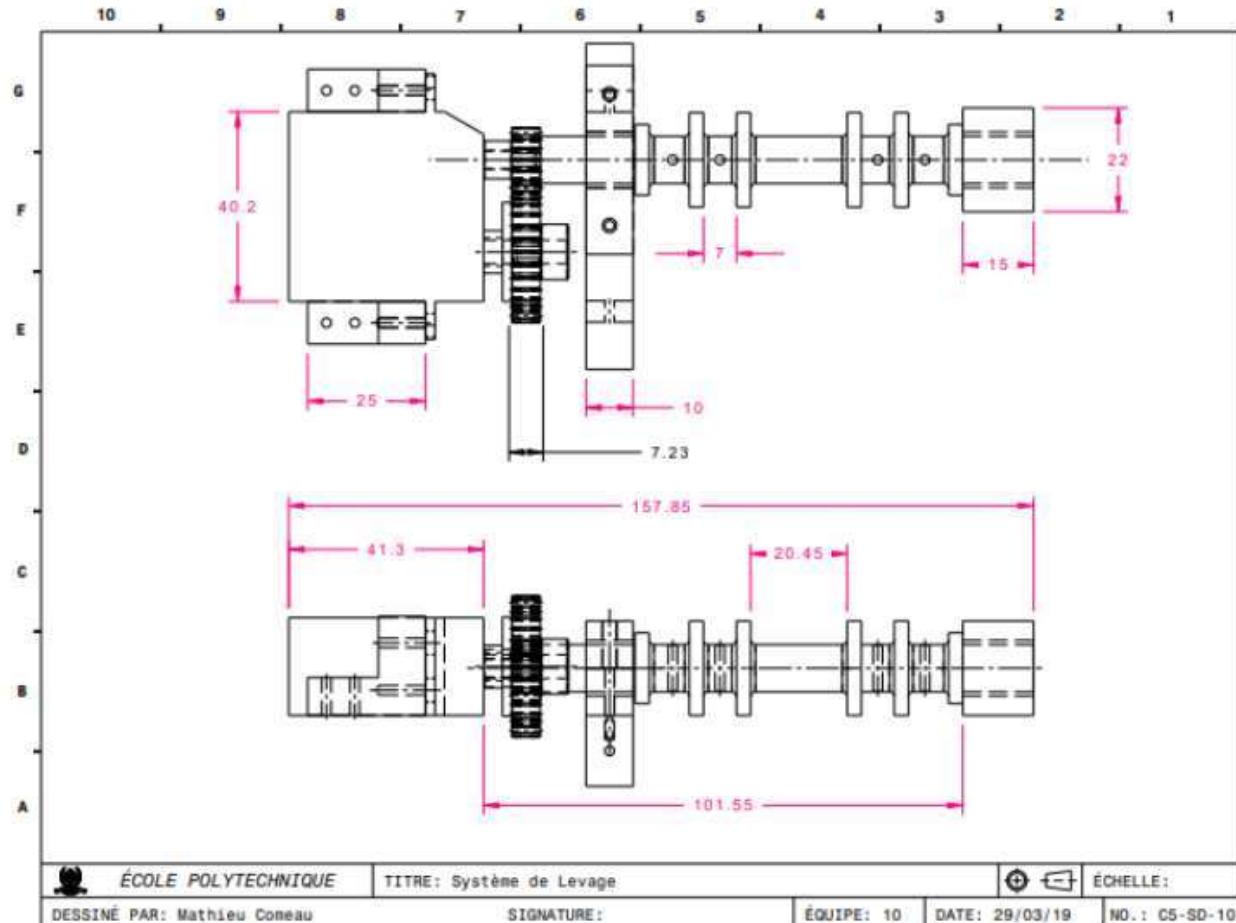
Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe A

Le *Phénix*



LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe B Fiche de marketing Phénix



AER1110 – Projet initial en génie aérospatial
2 Avril 2019

Design général:

- Quadcopter
- Stabilisation en vol
- Caméra en temps réel
- Transmission de données à l'écran
- Système de levage intégré
- Vol autonome par transmission
- autonome

Masse:

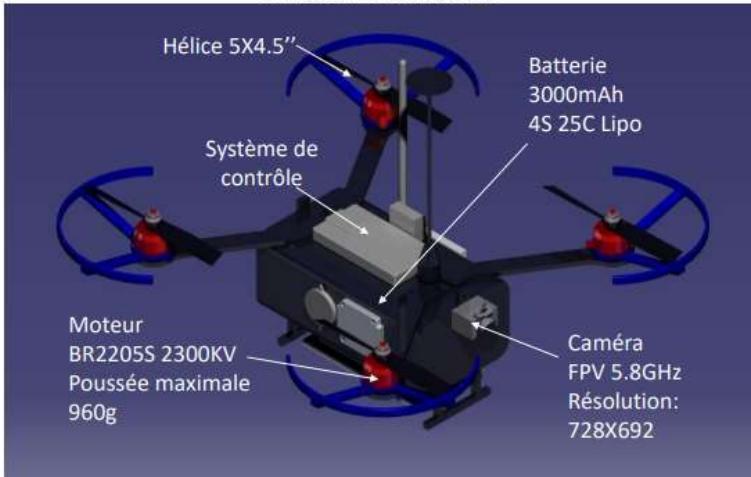
Propulsion :	484g
Contrôle :	195g
Structure :	290g
Levage :	210g
Total :	1179g

Compagnie 5 : Feu de forêt Le Phénix

Coût : 803\$

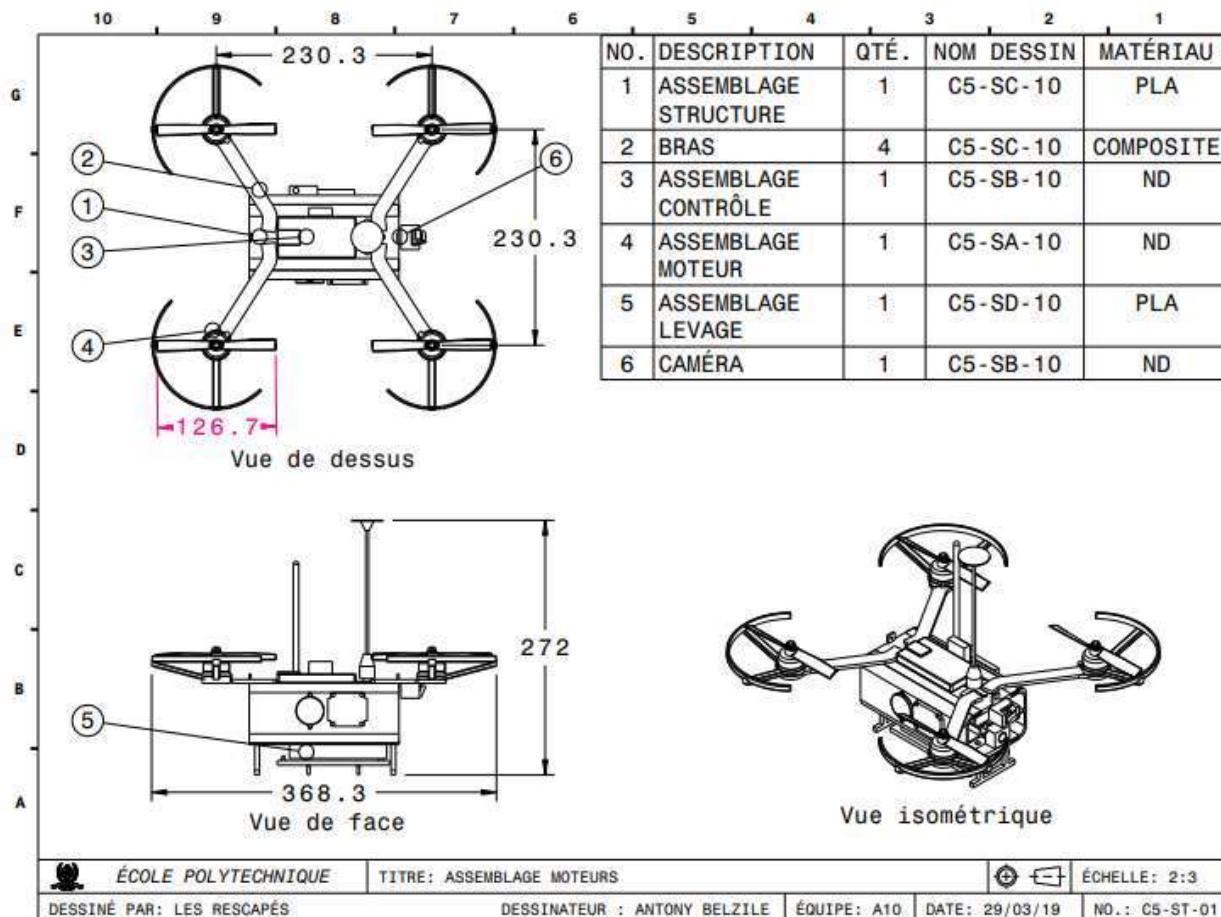
Charge utile : 741g

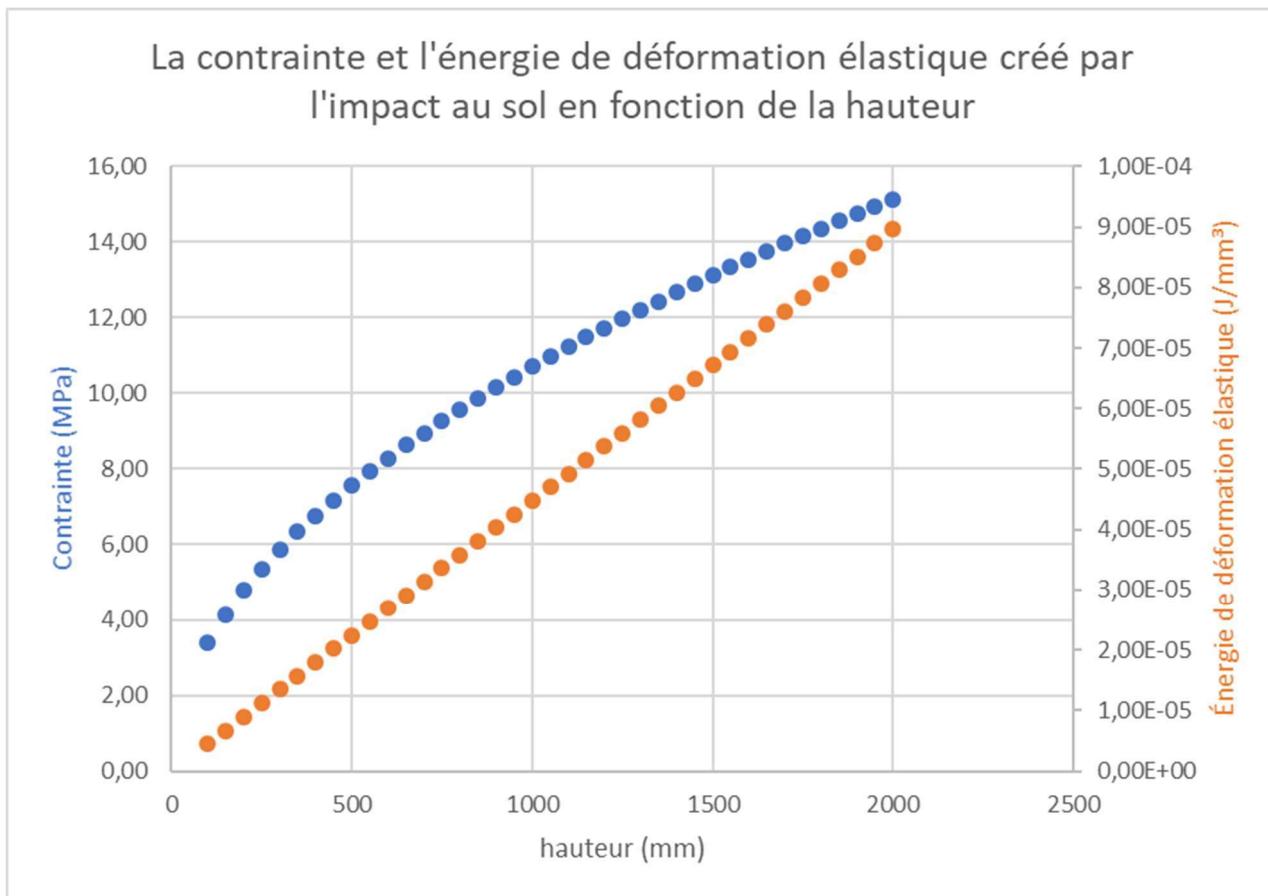
Autonomie : 12 minutes



LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe B Fiche de marketing Phénix



LA RENAISSANCE DU PHENIX**Annexe C**
Graphique - Impact au sol

On remarque que l'évolution de la contrainte en fonction de la hauteur (courbe bleu) de chute semble suivre une fonction racine carré ce qui est sensé, car la contrainte varie au carré par rapport à l'énergie.

L'énergie de déformation est linéaire par rapport à la hauteur (courbe orange)

Il serait intéressant de vérifier si expérimentalement nous allons obtenir les mêmes tendances surtout pour la contrainte en fonction de la hauteur de chute.

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe C Graphique - Impact au sol

Le tableau suivant présente les valeurs calculées de contrainte, d'énergie et de vitesse d'impact selon la hauteur de chute du drone. Notre équipe à pour but de survivre à une chute de 600 mm.

masse (kg)	g (m/s^2)	E (Mpa)	Volume (mm^3)
3	10	1280	6,698E+05

h (mm)	Ep (J)	We	contrainte	Vitesse à l'impact (m/s)
		(J/mm^3)	(Mpa)	
100	3,00	4,48E-06	3,39	1,414
150	4,50	6,72E-06	4,15	1,732
200	6,00	8,96E-06	4,79	2,000
250	7,50	1,12E-05	5,35	2,236
300	9,00	1,34E-05	5,87	2,449
350	10,50	1,57E-05	6,33	2,646
400	12,00	1,79E-05	6,77	2,828
450	13,50	2,02E-05	7,18	3,000
500	15,00	2,24E-05	7,57	3,162
550	16,50	2,46E-05	7,94	3,317
600	18,00	2,69E-05	8,29	3,464
650	19,50	2,91E-05	8,63	3,606
700	21,00	3,14E-05	8,96	3,742
750	22,50	3,36E-05	9,27	3,873
800	24,00	3,58E-05	9,58	4,000
850	25,50	3,81E-05	9,87	4,123
900	27,00	4,03E-05	10,16	4,243
950	28,50	4,26E-05	10,44	4,359
1000	30,00	4,48E-05	10,71	4,472
1050	31,50	4,70E-05	10,97	4,583
1100	33,00	4,93E-05	11,23	4,690
1150	34,50	5,15E-05	11,48	4,796
1200	36,00	5,37E-05	11,73	4,899
1250	37,50	5,60E-05	11,97	5,000
1300	39,00	5,82E-05	12,21	5,099
1350	40,50	6,05E-05	12,44	5,196
1400	42,00	6,27E-05	12,67	5,292

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe C Graphique - Impact au sol

1450	43,50	6,49E-05	12,89	5,385
1500	45,00	6,72E-05	13,11	5,477
1550	46,50	6,94E-05	13,33	5,568
1600	48,00	7,17E-05	13,54	5,657
1650	49,50	7,39E-05	13,75	5,745
1700	51,00	7,61E-05	13,96	5,831
1750	52,50	7,84E-05	14,17	5,916
1800	54,00	8,06E-05	14,37	6,000
1850	55,50	8,29E-05	14,56	6,083
1900	57,00	8,51E-05	14,76	6,164
1950	58,50	8,73E-05	14,95	6,245
2000	60,00	8,96E-05	15,14	6,325

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe D Fiche technique

Équipe Feu



FICHE TECHNIQUE

Dimensions des pièces de la structure du drone (mm)

Plafond	164x70x15	Avant	77x90x2
Plancher	160x70x20	Arrière	77x90x2
Mur de côté (2x)	160x64x32.5	Train d'atterrissement (2x)	50x5x30
Bras (4x)	130x50x4		

Matériaux

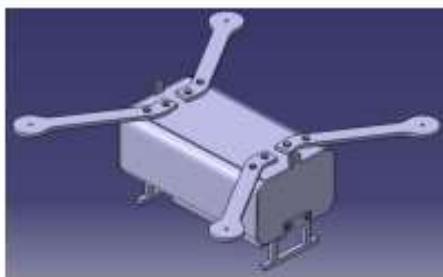
	Pièce utilisée	Masse (g)	Masse volumique (g/cm ³)
PLA	Toute la structure	240	1.25
Fibre de carbone	Bras soutenant les moteurs	60	1.80

Propriétés mécaniques

	E (GPa)	R _m (MPa)	R _c (MPa)	Résistance flexion (MPa)
PLA	1.28	14-114	93.8	6-145
Fibre de carbone	294	5407	-----	1730

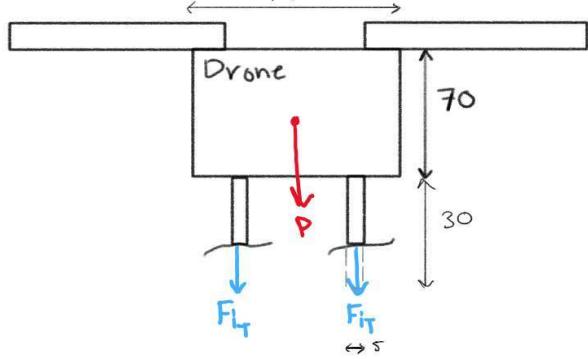
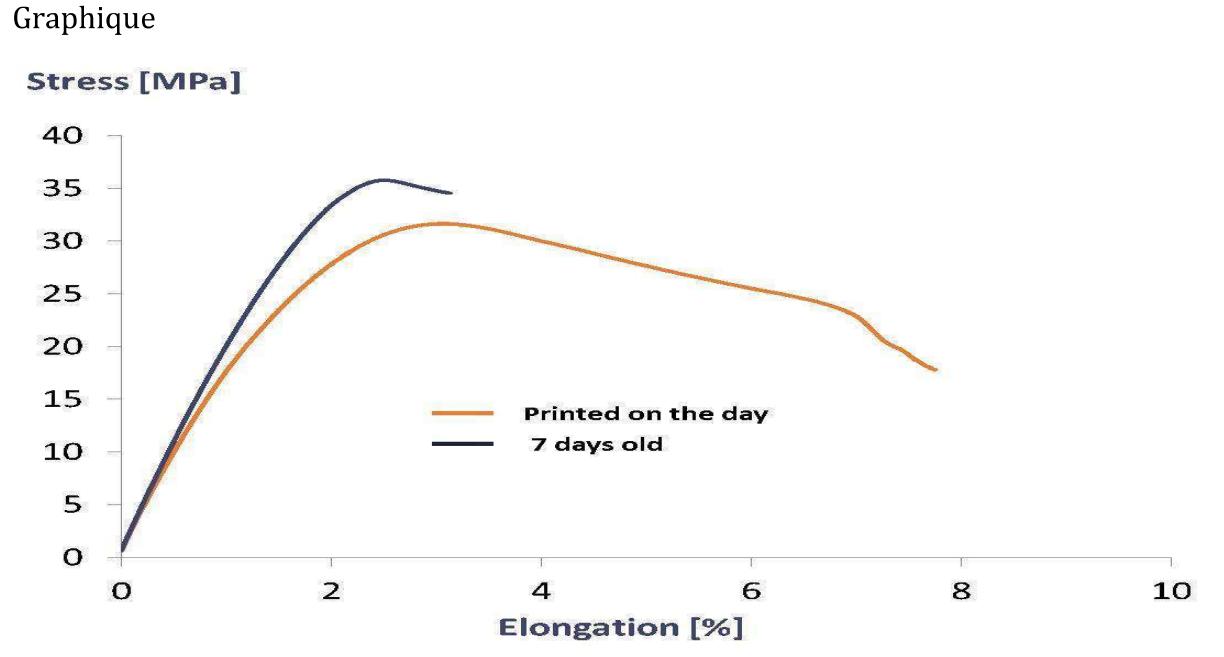
Pièces standard

	Quantité	Dimension (mm)	Masse (g)	R _m (MPa)
Boulon	14x	M3x15	12	800
Charnière	2x	20x10	7	-----



LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe E Fiche d'analyse

DCL pour le train d'atterrissage 	Définition des symboles P =Poids de la structure F_{it} =Force interne sur les pattes A_p =Surface des pattes F_y =Forces appliquées en y $L_k=2L$ L =Longueur de la patte																										
Équations $F_{it} = -P \quad (\text{éq.1})$ $\sigma_c = \frac{F}{A_p} \quad (\text{éq.2})$ $F = \frac{(\pi^2 * EI)}{l_k} \quad (\text{éq.3})$	Valeurs des constantes $g = 9.81 \text{ m}^2/\text{s}$ $\text{Poids} = 3\text{kg}$ $\pi = 3.1416$																										
Graphique  <table border="1"> <caption>Data points estimated from the graph</caption> <thead> <tr> <th>Elongation [%]</th> <th>Stress [MPa] (Printed on the day)</th> <th>Stress [MPa] (7 days old)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>~15</td> <td>~18</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>~25</td> <td>~32</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>~30</td> <td>~35</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>~28</td> <td>~32</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>~25</td> <td>~28</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>~22</td> <td>~30</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>~18</td> <td>~25</td> </tr> </tbody> </table>	Elongation [%]	Stress [MPa] (Printed on the day)	Stress [MPa] (7 days old)	0	0	0	1	~15	~18	2	~25	~32	3	~30	~35	4	~28	~32	6	~25	~28	7	~22	~30	8	~18	~25
Elongation [%]	Stress [MPa] (Printed on the day)	Stress [MPa] (7 days old)																									
0	0	0																									
1	~15	~18																									
2	~25	~32																									
3	~30	~35																									
4	~28	~32																									
6	~25	~28																									
7	~22	~30																									
8	~18	~25																									

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe E Fiche d'analyse

Interprétation des résultats

Nous allons construire 2 patins plus large pour éviter le flambage et augmenter la résistance lors d'un atterrissage atypique. Le graphique ci-haut démontre que le matériau a des meilleures propriétés quelques jours suivant son impression.

MEC1110 – Projet intégrateur I, groupe n° 5 Étude de cas n° 3; Équipe n° 5 ; 26-03-19	Drone intervention en feu de forêt – Réactions aux trains d'atterrissement du drone. Fiche V01
---	--

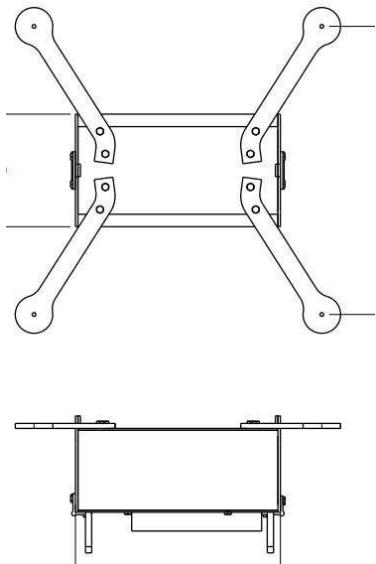
Matériau et propriétés	Pièce standard cataloguée
PLA (Acide Polylactique)	Everbilt M3 - 0.8 x 10mm
Allongement à la rupture	Longueur de la pièce 10 mm
Module d'élasticité	Pas de filetage 31.749
Résistance en cisaillement <u>65.0 - 90.0 kN/m</u>	Diamètre 3 mm
Résistance en flexion	Coût par unité 0.45 CAD
Résistance à la traction	Référence : https://www.homedepot.com/p/Everbilt-M5-0-8-x-10-mm-Plain-Steel-Socket-Cap-crew-2-Piece-803268/204274285?fbclid=IwAR2gjb
Résistance à la compression	
Référence :	

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe E Fiche d'analyse

Dessin

de définition (dimensions nominales)



Sommaire de fabrication

Impression 3D x2

- 2 pattes

Satisfaction du besoin (équations, facteur efficace de sécurité, ...)

Poids utilisé = poids réel x 2

$$\sigma_{compression \text{ admissible}} = \frac{\sigma_{compression \text{ ultime}}}{3}$$

Facteur de sécurité total = résultat final x 2

Poids, coûts et conditions limites

Masse, poids et coûts unitaires : 15 (g) ; 0.147 (N) ; 1.5 \$ (CAD)

MEC1110 – Projet intégrateur I, groupe n° 5
Étude de cas n° 3 ; Équipe n° 5 ;

26-03-19

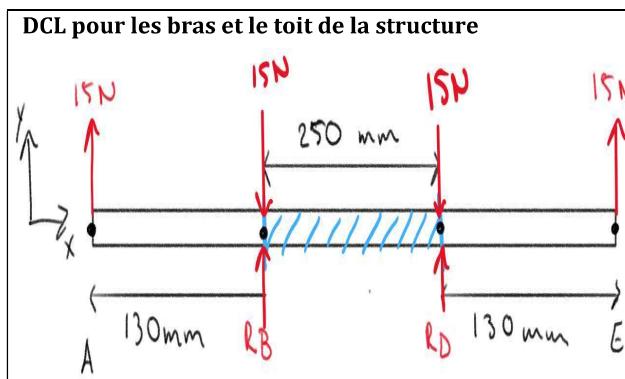
Train d'atterrissement

V01

Fiche

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe E Fiche d'analyse

DCL pour les bras et le toit de la structure 	Définitions La zone en bleu est en impression 3D avec du PLA R_B : réaction à l'appui B R_D : réaction à l'appui D σ_x : contrainte en flexion M_{max} : moment fléchissant maximale y : la distance entre l'extrémité et le centroïde I_z : le deuxième moment de surface
Équations Les moteurs créent une poussée ce qui fait entrer toute la structure en flexion. La partie 3D en PLA est reliée aux bras en fibre de carbone par deux boulons/écrous qui transmettent le moment des bras à la structure.	Valeurs des constantes $R_B = 0 \text{ N}$ $R_D = 0 \text{ N}$ $\sigma_x = 48,8 \text{ MPa}$ $M_{max} = 1,95 \text{ Nm}$ $y = 2 \text{ mm}$

$$\sigma_x = \frac{M_{max} y}{I_z} \quad \text{eq. (4)}$$

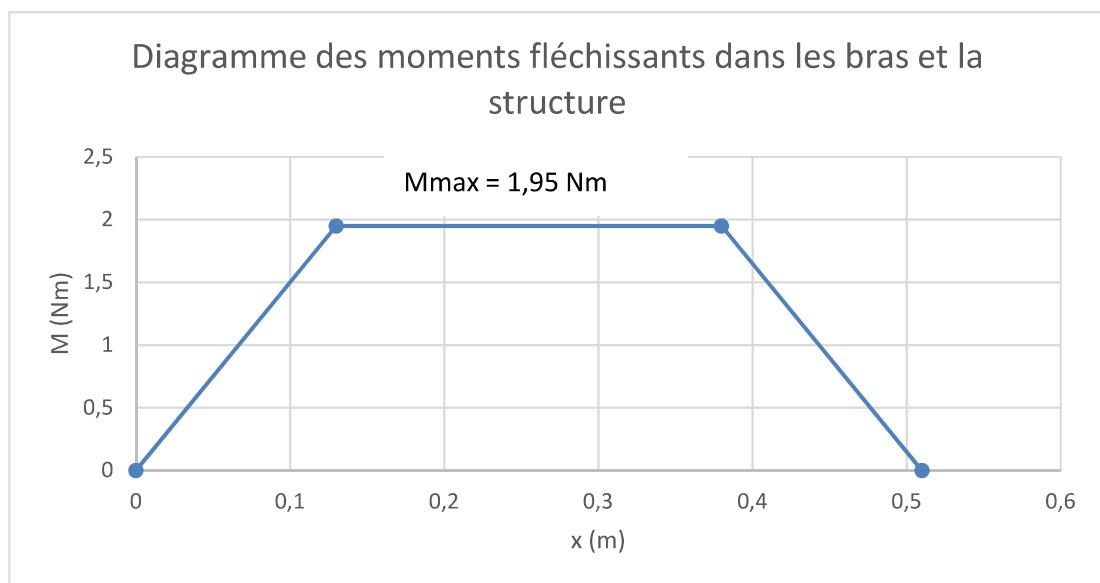
$$\sum \vec{F}_y = \vec{0} \quad \text{eq. (5)}$$

$$\sum \vec{M}_{zB} = \vec{0} \quad \text{eq. (6)}$$

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe E Fiche d'analyse

Graphique – (réf. fichier MS-Excel graphiqueDET_DMF_drone.xls)



Interprétation

On remarque que le moment fléchissant est maximal à la jonction entre les bras et la structure et qu'il reste constant dans la structure jusqu'à l'autre bras, c'est donc notre point critique.

MEC1110 – Projet intégrateur I, groupe n° 5
Étude de cas n° 3 ; Équipe n° 5
26-03-19

Drone intervention en feu de forêt
Réaction dans les bras et la structure
Fiche V02

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe E Fiche d'analyse

PLA (voir fiche v01)		
Fibre de carbone		
Masse volumique	1,79 g/cm ³	Pièce standard cataloguée
Contrainte ultime	5407 MPa	Everbilt M3 - 0.8 x 10mm
Allongement à la rupture	1,75 %	Longueur de la pièce 10 mm
Module d'élasticité	294 GPa	Pas de filetage 31.749
Contrainte max en flexion		Diamètre mm 5
Référence : http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c274b902689e4c358aa402e9f27a62bc&ckck=1	Coût par unité 0.45 CAD	
		Référence : https://www.homedepot.com/p/Everbilt-M5-0-8-x-10-mm-Plain-Steel-Socket-Cap-screw-2-piece-803268/204274285?fbclid=IwAR2gjb
Dessin de définition (dimensions nominales)		<u>Sommaire de fabrication</u>
		Perçage x12 <ul style="list-style-type: none">- X8 dans les bras- X4 Dans le plafond de la structure
		Impression 3D pour le toit
Satisfaction du besoin (équations, facteur efficace de sécurité,...)		
<i>Poids utilisé = poids réel x 2</i>		
<i>$\sigma_{flexion\ admissible} = \frac{\sigma_{flexion\ ultime}}{2}$</i>		
<i>Facteur de sécurité total: modélisation minimale de la reprise des efforts</i>		
Masses, poids et coûts		
Masse, poids et coûts totaux :	97 (g) ; 0.95 (N) ; 75 \$ (CAD)	

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe E Fiche d'analyse

MEC1110 – Projet intégrateur I, groupe n° 5 Étude de cas n° 3 ; Équipe n° 5 26-03-19	Bras et toit de la structure Fiche V02
--	---

LA RENAISSANCE DU PHENIX

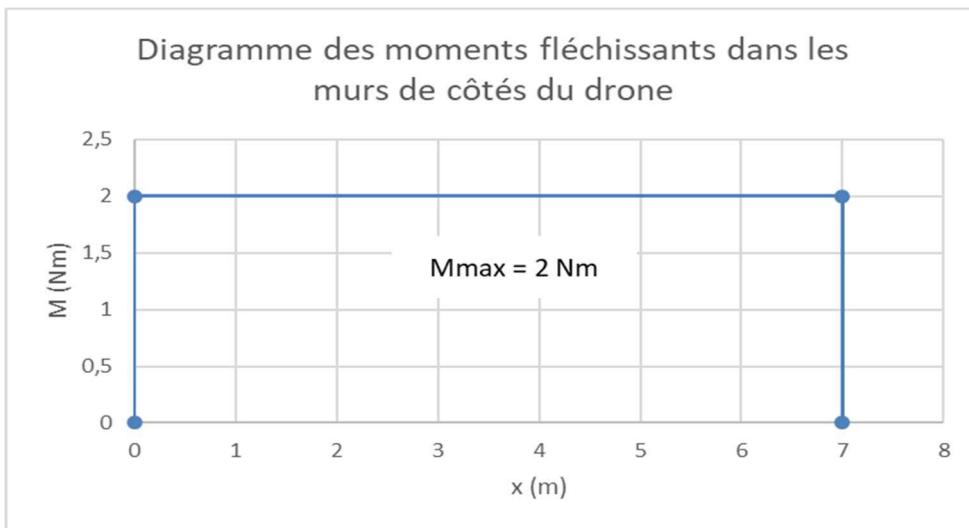
Annexe E Fiche d'analyse

Croquis		Définitions
		F_m Force motrice, appliquée par les moteurs en puissance maximale (N) P Poids total du drone (N) M_A Moment créé par la poussée des moteurs (Nm) M_B Moment à l'appui B R_B Réaction à l'appui B (N) σ_x Contrainte en flexion (MPa) σ_c Contrainte en compression (MPa)
Équations	Les moteurs créent une poussée qui met toute la structure en flexion. Cet effort sera transmis au mur de côté par les boulons qui les relient au toit. Le mur se retrouva donc en traction et en flexion.	Valeurs des constantes
	$\sigma_x = \frac{M_{max} y}{I_z}$ eq. (4) $\sum \vec{F}_y = \vec{0}$ eq. (5) $\sum \vec{M}_{zB} = \vec{0}$ eq. (6)	$F_m = 60 \text{ N}$ $P = 30 \text{ N}$ $M_A = 2 \text{ Nm}$ $M_B = 2 \text{ Nm}$ $R_B = 30 \text{ N}$ $\sigma_x = 75 \text{ MPa}$ $\sigma_c = 15 \text{ MPa}$

LA RENAISSANCE DU PHENIX

Annexe E Fiche d'analyse

Graphique- (réf. fichier MS-Excel graphiqueDET_DMF_drone.xls)



Interprétation

Le diagramme démontre que le moment maximal dans la section est de 2 Nm et qu'il est constant sur toute la longueur du mur de côté.

MEC1110 – Projet intégrateur I, groupe n° 3
 Étude de cas n° 3 ; Équipe n° M5
 26-03-19

Drone d'intervention en feu de forêt –
 Réaction dans les murs de côtés du drone
 Fiche
 V03

PLA (Acide Polylactique)

Allongement à la rupture	5,2 %
Module d'élasticité	1.28 GPa
Résistance en cisaillement	<u>65.0 - 90.0</u> kN/m
Résistance en flexion	<u>6.00 - 145</u> MPa
Résistance à la traction	<u>14.0 - 114</u> MPa
Résistance à la compression	93,8 MPa

Référence : [https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/cid:kPHE00012/cid:kt010RSQG2/viewerType:khtml//root_slug:pla-polylactic-acid?url_slug:pla-polylacticacid?toc-within=pla&b=toc-cid=kPHE00012&b=toc-rootslug=&t=toc-urlslug=pla-polylactic-acid&b=toc-title=Handbook%20of%20Polymers%20\(2nd%20Edition\)&q=pla&b=toc-within=pla&page=244&view=collapsed&zoom=1&fbclid=IwAR2X_NSWc5qJ5FwWsuFIKSjmLjbAHUdI8krhu0C736M5hY86mJ_IY0kZEh0](https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/cid:kPHE00012/cid:kt010RSQG2/viewerType:khtml//root_slug:pla-polylactic-acid/url_slug:pla-polylacticacid?toc-within=pla&b=toc-cid=kPHE00012&b=toc-rootslug=&t=toc-urlslug=pla-polylactic-acid&b=toc-title=Handbook%20of%20Polymers%20(2nd%20Edition)&q=pla&b=toc-within=pla&page=244&view=collapsed&zoom=1&fbclid=IwAR2X_NSWc5qJ5FwWsuFIKSjmLjbAHUdI8krhu0C736M5hY86mJ_IY0kZEh0)

Pièce standard cataloguée

Everbilt M3 - 0.8 x 10mm

Longueur de la pièce mm	10
Pas de filetage	31.749
Diamètre	5 mm
Coût par unité CAD	0.45
Référence :	https://www.homedepot.com/p/Everbilt-M5-0-8-x-10-mm-Plain-Steel-Socket-Cap-crew-2-Piece-803268/204274285?fbclid=IwAR2gjb

LA RENAISSANCE DU PHENIX

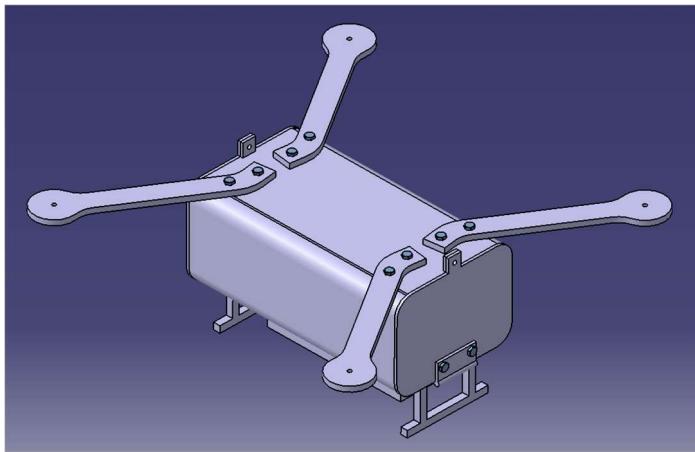
Annexe E Fiche d'analyse

Dessin de définition (dimensions nominales)

Sommaire de fabrication

Impression 3D

Perçage 4x



Satisfaction du besoin (équations, facteur efficace de sécurité,...)

Poids utilisé = poids réel x 2

Facteur de sécurité total: modélisation minimale de la reprise des efforts

Masses, poids et coûts – unitaires et au cric

Masse, poids et coûts unitaires : 46 (g) ; 0.45 (N) ; 15\$
(CAD)

MEC1110 – Projet intégrateur I, groupe n° 3

Étude de cas n° 3 ; Équipe n° M5

26-03-19

Mur de côté

Fiche V03