

# TECHNICAL NOTE

Title: VOSTOK RECOVERY PARACHUTES  
Project: SPACE RACE 2021 EPFL Rocket Team  
Filename: 2021\_RE\_TN\_0001  
Prepared by: Joshua Cohen-Dumani  
Checked by: Xavier Kervyn  
Approved by: Zaid Kaddour

Responsible signature

## TABLE OF CONTENTS

<b>1 INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
1.1 ABSTRACT	2
1.2 NORMATIVE AND REFERENCE DOCUMENTS	2
1.3 DEFINITIONS AND ABBREVIATIONS	2
<b>2 MAIN PARACHUTE</b>	<b>3</b>
<b>3 DROGUE CHUTE</b>	<b>4</b>
<b>4 SHOCK CORDS</b>	<b>4</b>
4.1 Forces à l'ouverture	4
4.2 Longueur des shock cords	6
4.3 Composition des shock cords	6
<b>5 MANUFACTURE</b>	<b>6</b>
5.1 Choix de la toile	6
5.2 Patrons et CAD	7
5.3 Coutures	7
<b>6 TRACTION TEST</b>	<b>8</b>
<b>7 DROP TESTS</b>	<b>8</b>
7.1 Vortex (Main Chute)	8
7.2 Crans-Montana	8
7.3 Vortex (Drogue Chute)	9

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 ABSTRACT

Considérations pour la conception et la manufacture des parachutes utilisés par la Team Vostok dans le cadre de l'aspect Recovery du projet Space Race.

## 1.2 NORMATIVE AND REFERENCE DOCUMENTS

[If you base your tests on an existing procedure cite the document here.](#)

Table 2-1 Normative Documents

Ref	Description	Doc. Number	Issue
[ND01]	Verification (17 November 1998).pdf	ECSS-E-10-02A	

Table 2-2 Reference Documents

Ref	Description	Doc. Number	Issue
[RD01]	Acceptance REDV test procedure.pdf	S3-D-SET-1-2	1.0

## 1.3 DEFINITIONS AND ABBREVIATIONS

ND	Normative Document
RD	Reference Document
LV	<a href="#">Launch Vehicle</a>
PL	<a href="#">Payload</a>
ST	<a href="#">Structure</a>

## 2 MAIN PARACHUTE

Ce parachute a été conçu de manière à pouvoir être utilisé par l'équipe de Bella Lui II comme drogue parachute dans le cadre de l'édition 2021 de la Spaceport America Cup.

**Diamètre** Le diamètre  $D$  nécessaire pour un parachute obéit à l'équation

$$D = \sqrt{\frac{8mg}{\pi\rho C_d v^2}}, \quad (1)$$

où  $m$  [kg] est la masse de la fusée à l'apogée,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  l'accélération gravitationnelle,  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] la densité volumique de l'air,  $C_d$  le coefficient de traînée du parachute et  $v$  [m/s] la vitesse de descente souhaitée. Les requirements imposent une **vitesse de chute maximale de 9 m/s** (32.4 km/h). Les paramètres pris en compte pour ce calcul sont une masse  $m = 5 \text{ kg}$  à l'apogée et un coefficient de traînée de  $C_d = 1.5$ . Avec ces considérations, un diamètre de  $D = 1.1 \text{ m}$  a été choisi, ce qui correspond à une vitesse de chute  $v \approx 7.946 \text{ m/s}$  sur le site de lancement de Cernier ( $\rho \approx 1.09$ ).

$$D = 110 \text{ cm} \implies v \approx 7.946 \text{ m/s} (m = 5 \text{ kg})$$

**Forme du parachute** Un parachute hémisphérique est fonctionnel, mais pas optimal. D'autres formes permettent d'optimiser les performances du parachute, tout en réduisant la quantité de tissu nécessaire et donc le poids final de l'ensemble. L'idéal semble être une forme hémisphérique de ratio  $b/a$  de 0.707. La Fig. 1 compare les différents profils obtenus pour un parachute hémis-

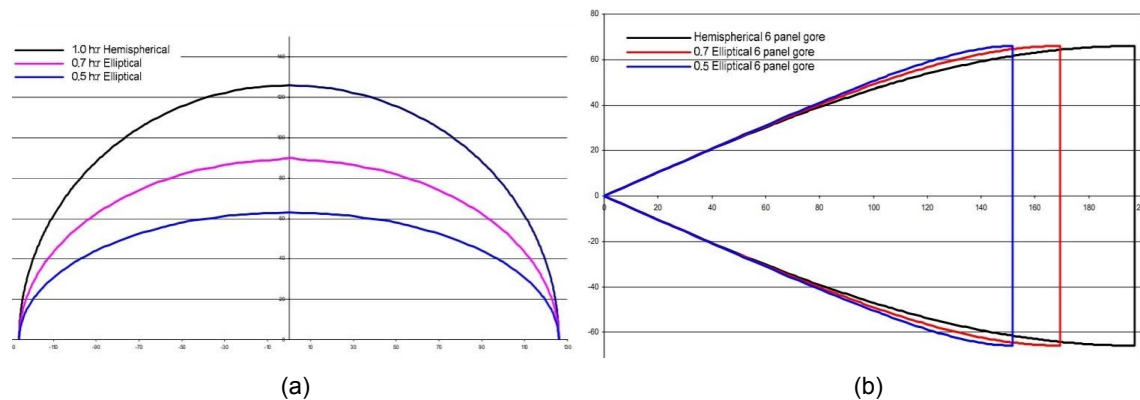


Figure 1: Comparaison des différentes formes de canopy possibles. (a) Vue en coupe verticale des différents profils ; (b) Patrons respectifs nécessaires pour réaliser ces formes. Celui choisi (rouge) permet d'économiser une quantité non-négligeable de tissu.

phérique (noir), semi-ellipsoïdal de ratio 0.7 (rose) et semi-ellipsoïdal de ratio 0.5. Il a finalement été décidé de réaliser un canopy semi-ellipsoïdal de ratio 0.7, assemblé à partir de 12 panneaux de tissu différents.

**Spill hole** Le spill hole permet d'accélérer sensiblement la stabilisation du parachute, sans compromettre ses performances. Il fait en général 20% du diamètre du parachute. Dans notre cas, on obtient

$$D_{spill} = 20\% \cdot D_{chute} = 0.2 \cdot 110 = \boxed{22 \text{ cm}}. \quad (2)$$

**Suspentes** Achetées sur Paragear (modèle 100 YARD ROLL 400 LB FLAT BRAIDED DACRON). Elles résistent jusqu'à 180 kg. La longueur  $L$  des suspentes est calculée en estimant la longueur  $S_{stitch}$  des coutures qui les lient aux chablonis qui constituent le parachute. La formule est ainsi

$$L = 2.25(S_{stitch} + D_{chute}) = 2.25(15\% \cdot 110 + 110) \approx 2.85 \text{ m}. \quad (3)$$

Le pourcentage de 15% a été choisi en sachant qu'un parachute de diamètre d'un mètre correspond en général à environ 10% et que ce chiffre augmente avec le diamètre.  $L$  correspond en fait à la longueur d'une suspente qui part d'un bord du parachute, rejoint la ligne centrale et puis rejoint le bord opposé du parachute. On obtient donc en fait une longueur  $l = L/2 \approx 1.42 \text{ m}$  de suspentes de chaque côté du parachute.

**Bella Lui II** La fusée du projet Bella Lui II a une masse prévue de  $m = 33 \text{ kg}$ . En prenant en compte une densité volumique d'environ  $0.802 \text{ kg/m}^3$  à l'ouverture du parachute au Nouveau-Mexique, on obtient une vitesse de chute d'environ  $23.7978 \text{ m/s}$  avec le diamètre  $D = 110 \text{ cm}$  calculé précédemment. Ceci satisfait les requirements de la compétition, qui exigent une vitesse de chute entre 23 et 30 m/s après le premier event. Avec un facteur de sécurité de 3, les forces exercées sur le parachute à l'ouverture sont de l'ordre de 14 kN.

### 3 DROGUE CHUTE

Les considérations faites pour la conception du drogue chute sont identiques à celles faites pour le main parachute. En supposant toujours une masse à l'apogée de  $m = 5 \text{ kg}$ , une densité volumique  $\rho \approx 9 \text{ kg/m}^3$  et un coefficient de traînée  $C_d = 1.5$ , on aboutit à un diamètre  $D = 35 \text{ cm}$ , le tout pour une vitesse de chute de  $v \approx 24.97 \text{ m/s}$  déterminée selon l'équation (1).

$$\boxed{D = 35 \text{ cm} \implies v \approx 24.97 \text{ m/s} (m = 5 \text{ kg})}$$

**Suspentes & spill hole** Par des calculs similaires en tous points à ceux effectués pour le main chute, la longueur des suspentes du spill hole a été estimée à  $L \approx 0.87 \text{ m}$  (soit  $l = 43.31 \text{ cm}$ ) et le diamètre du spill hole à 7 cm.

### 4 SHOCK CORDS

#### 4.1 Forces à l'ouverture

Cette section fournit différentes estimations des forces subies par les shock cords à l'ouverture du parachute. Ce document explicite ce calcul.

**Estimation grossière** Avec un facteur de sécurité de 3,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  et en supposant que la fusée subisse 15G (simulation OpenRocket), on obtient pour une masse  $m = 5 \text{ kg}$

$$F = (3 \cdot 15 \cdot g) \cdot m = 2207.25 \text{ N.} \quad (4)$$

**Méthode de Pflanz** La méthode dite "de Pflanz", décrite plus en détail dans ce document, a aussi été utile dans le raisonnement. Elle suppose que la force  $F$  subie par les shock cords au moment de l'ouverture du parachute vaut:

$$F_i = q_i(C_D S_0) C_d X_i, \quad (5)$$

avec  $i = 1, 2$  le premier ou le 2e event,  $q_i$  la pression dynamique à l'ouverture,  $C_D$  un coefficient de traînée,  $S_0$  la surface de traînée (cross-sectional area, effective dans le ralentissement),  $C_d$  le facteur de charge à l'ouverture (coef. de traînée du parachute) et  $X_i$  le facteur de réduction de charge, qui suppose que la fusée a déjà ralenti un peu avant l'ouverture du parachute.  $X_i$  est déterminé à l'aide de  $A$ , un facteur balistique relatif à l'ouverture du parachute.

Pour connaître  $A$ , on doit dans un premier temps estimer le temps  $t_{infl}$  d'ouverture du parachute, à l'aide de la relation:

$$t_{infl} = \frac{n D_0}{(V_{open})^k}, \quad (6)$$

où  $n$  et  $k$  sont des facteurs propre à la géométrie du parachute,  $D_0$  le diamètre théorique déterminé précédemment,  $V_{open}$  la vitesse à laquelle le parachute s'ouvre. Pour un parachute ellipsoïdal, on a  $n \approx 4$  et  $k \approx 0.85$ .

On obtient ensuite

$$A = \frac{2m}{(C_D S_0) \rho v_1 t_{infl}}, \quad (7)$$

grâce auquel on détermine  $X_i$  dans le graphique donné dans ce document. Sachant que  $q_i$  s'obtient par la relation  $q_i = \rho v^2 / 2$ , on peut alors calculer la force s'appliquant sur les shock cords à l'ouverture.

**Forces au premier event (drogue)** Dans le pire des cas, on suppose une ouverture 2 s après l'apogée, quand la fusée chute librement à une vitesse de 20 m/s. Ceci donne

$$t_{infl,1} \approx 0.1097 \text{ s.}$$

En réutilisant les densités volumiques utilisées dans les sections précédentes et en considérant que le coefficient  $C_D$  vaut 0.76 pour une ellipse (médiane entre conique et hémisphère (cf ici, p.18), on obtient après calcul de  $A_1$  et détermination de  $X_1$ :

$$F_1 \approx 23.9104 \text{ N.} \quad (8)$$

**Forces au deuxième event (main)** La fusée est supposée avoir une vitesse de chute de 24.97 m/s avant le deuxième event. L'ouverture du parachute est déclenchée à 300 m au-dessus du site de lancement, ce qui correspond à  $\rho_2 \approx 1.09 \text{ kg/m}^3$ . Le temps de déploiement est

$$t_{infl,2} \approx 0.2855 \text{ s.}$$

On obtient similairement la force au deuxième event :

$$F_2 \approx 294.5723 \text{ N.} \quad (9)$$

Avec un facteur de sécurité de 3, la force maximale endurée par le système de récupération de la fusée vaut environ 883.7 N, ce qui équivaut à une masse de 90.04 kg. Ces calculs ne prennent pas en compte la possibilité d'avoir du vent induisant une vitesse de dérive supplémentaire, de même que les forces induites par l'explosion de la poudre noire (en particulier pour le 2e event).

## 4.2 Longueur des shock cords

La longueur des shock cords est déterminée de manière à ce que les différentes parties de la fusée ne s'entrechoquent pas une fois séparées. Le module supérieur fait  $\approx 100$  cm de longueur et le nosecone  $\approx 40$  cm. Les longueurs des shock cords sont visibles à la Fig. 2.

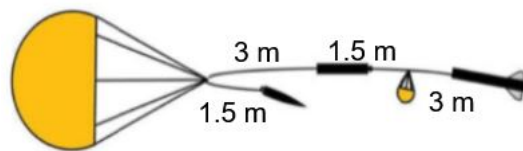


Figure 2: Dispositif de shock cords

## 4.3 Composition des shock cords

Les parties entre la charge de poudre noire et le piston seront en Kevlar pour résister aux brûlures. Le reste sera en nylon. Etant donné que les parties en Kevlar ne seront pas achetées mais récupérées de fusées déjà existantes, nous adapterons la longueur de la partie en Nylon à celle de Kevlar pour obtenir la distance comme sur la Fig. 2. Dans la mesure du possible on préférera des coutures à des noeuds aux extrémités et aux points d'attache des parachutes car ces derniers diminuent la résistance de la corde.

Les 9 m de shock cords en Nylon ont été achetées à OBI et correspondent au modèle en polypropylène de 25 mm de largeur, offrant une résistance de 85 kg pour un poids de 150g.

# 5 MANUFACTURE

## 5.1 Choix de la toile

Le règlement de la SA Cup 2021 impose d'avoir deux parachutes de couleur différentes. Le main parachute a donc été réalisé à partir de toile découpée dans un ancien parachute récupéré par l'EPFL Rocket team, de couleur jaune et noir. Différentes étapes de la manufacture du main parachute sont visibles en Figure 3. La toile utilisée pour la confection du drogue chute a quant à elle été achetée sur Paragear (modèle).



## 5.2 Patrons et CAD

Les patrons ont été réalisés sur Catia puis imprimés au service de reprographie de l'EPFL. Les différents patrons réalisés sont disponibles ici.

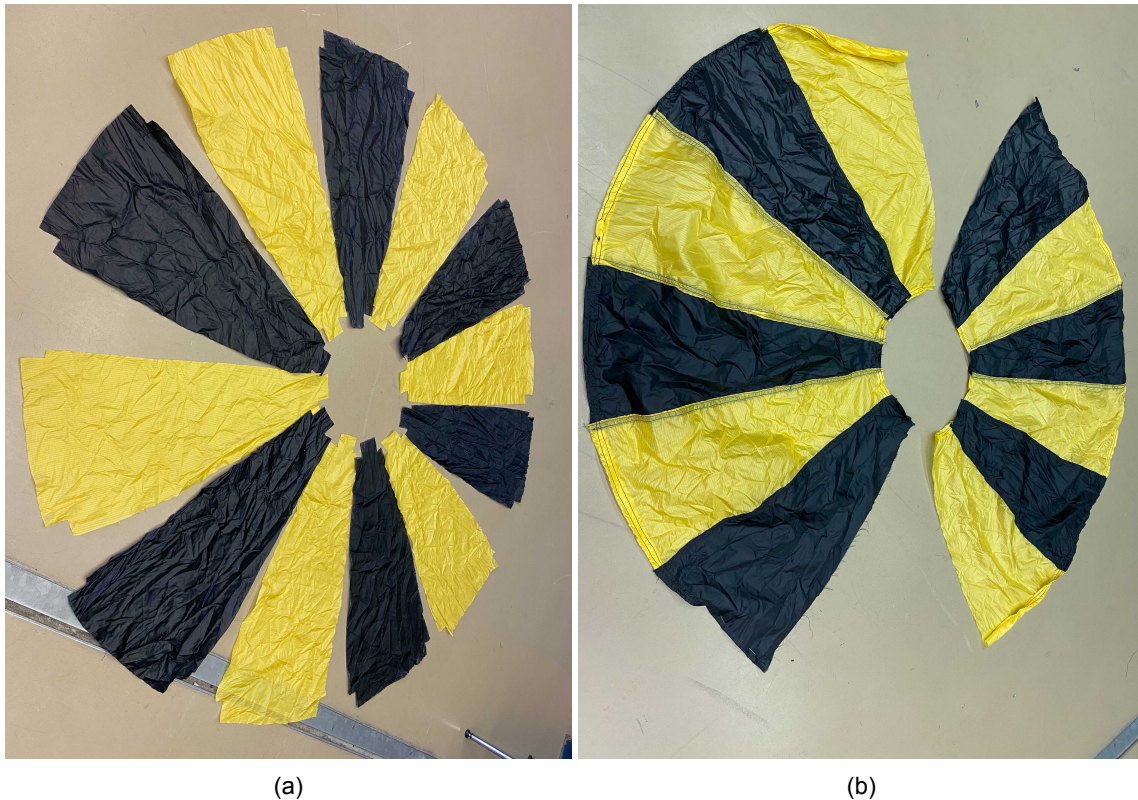


Figure 3: Manufacture de la canopy du main. (a) Après la découpe des différents patrons. Les ourlets prévus pour faire les coutures sont clairement visibles ; (b) Après assemblage des deux moitiés avant de finaliser la canopy et d'ajouter les suspentes.

## 5.3 Coutures

Il a été choisi de réaliser des coutures dites *flat-felled seam*, qui sont réputées pour leur robustesse. Les coutures ont été effectuées avec la machine acquise par la Rocket Team ainsi que des aiguilles empruntées au SKIL. Les finitions des coutures (fil qui dépasse, etc.) ont été ajustées à l'aide d'un briquet.

## 6 TRACTION TEST

Afin de vérifier la robustesse de nos coutures, nous avons décidé de faire un traction test. Les résultats et les vidéos de celui-ci se trouvent ici. Nous avons donc mesuré  $F_{max,cisaillement} = 596N$  et  $F_{max,traction} = 733N$ . À noter que ces valeurs sont plus basses que la réalité. En effet, les attaches sont renforcées sur le parachute et le choc sera plus concentré sur les coutures (car il provient des suspentes) lors du test. C'est bien le tissu qui a lâché en premier ce qui laisse supposer qu'il s'agit donc d'une valeur *lower bound*.

En faisant l'hypothèse que la force totale est plus ou moins bien répartie selon les 12 suspentes, nous avons donc

$$F_{yield,traction} \approx 9000 \text{ N.} \quad (10)$$

Ce qui est largement supérieur à la force maximale de la fusée de Space Race avec un SF de 3 et qui, même avec les imperfection du test, se rapproche du facteur de sécurité avec la masse et l'accélération *upper bound* de  $35kg$  et  $11G$  respectivement de Bella Lui II.

De plus, les suspentes individuelles tiennent un choc de  $180kg$  d'après leur fiche technique, ce qui nous donne  $21180 \text{ N.}$ , ce qui correspond à un facteur de sécurité supérieur à 4.

## 7 DROP TESTS

### 7.1 Vortex (Main Chute)

En vue du drop test à Crans-Montana, il a été décidé de faire quelques tests au Vortex, à Chavannes-Près-Renens. Les vidéos de ceux-ci se trouvent ici. Le produit du coefficient de drag avec la surface de référence peut être déterminé avec l'équation

$$C_d \cdot A = \frac{2mg}{\rho v^2}, \quad (11)$$

où  $m$  [kg] est notre dumb mass,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  l'accélération, et  $\rho = 1.22 \text{ kg/m}^3$  la masse volumique de l'air.

En déterminant de manière empirique les valeurs de  $v$  en faisant varier  $m$ , nous pouvons estimer ce produit en prenant ensuite la moyenne des valeurs obtenues. Les valeurs utilisées sont:

$$\begin{cases} h=18 \text{ ou } 4 \text{ m} \\ t=3.33 \text{ ou } 1.33 \text{ s} \\ m=2.5 \text{ ou } 5 \text{ kg} \end{cases}$$

$$C_d \cdot A \approx 1.566 \quad (12)$$

### 7.2 Crans-Montana

Afin de vérifier la viabilité des parachutes de la Rocket Team, un drop test à Crans-Montana a été organisé. Le déroulement de celui-ci se trouve ici et les médias se trouvent ici.

Le test a mis en évidence un problème avec notre système de suspentes: n'étant pas attachées, elles étaient libres de glisser dans le swivel, ce qui ne permettait pas au parachute de rester stable.



Ceci a été résolu pour le deuxième drop avec de simples zip-ties tenant les suspentes ensemble. Cependant les suspentes n'étaient pas parfaitement symétrique, il y a donc eu une certaine dérive lors du vol.

Cependant, le test a aussi validé le dimensionnement du parachute, qui s'est déployé comme prévu et a atteint une vitesse acceptable. Le même calcul que ci-dessus peut être fait et nous obtenons donc comme valeur plus raffinée de  $C_d \cdot A$

$$C_d \cdot A \approx \text{TBD} \quad (13)$$

Avec l'usage de notre module de lancement nous avons pu tester la visibilité depuis la GoPro ainsi que la fonctionnalité du module de protection de l'oeuf. Un baromètre a aussi été intégré au module de vol.

**Conclusions Main Chute** Il est important de bien attacher les suspentes. Le drop de Crans-Montana a démontré que de simples zip-ties suffisaient mais il faut s'assurer que ces suspentes soient symétriques afin d'avoir le vol le plus stable et rectiligne possible.

### 7.3 Vortex (Drogue Chute)

Afin de calculer expérimentalement le coefficient de drag de notre drogue chute, nous avons effectué un deuxième drop test au Vortex. les vidéos du test se trouvent ici.

Avec 4 itérations, nous avons pu avoir une valeur assez représentative du produit  $C_d \cdot A$ . Nous avons également utilisé le Raven3 pour calculer la hauteur, et nous avons estimé la longueur du régime linéaire à environ  $67ft$ , ou  $20,42m$ . Les temps de vol respectifs sont 2.4 sec, 2.62 sec, 2.33 sec, et 2.42 sec, ce qui nous fait une moyenne de 2.4425 secondes. Nous en déduisons la valeur

$$C_d \cdot A \approx 0.095 \quad (14)$$

Afin d'avoir une estimation du coefficient de drag, nous considérons le quart d'ellipse comme environ équivalent à un triangle rectangle. nous trouvons donc un rayon effectif  $r_{eff}$  d'environ 13.43 cm. Nous prenons une valeur légèrement supérieure à celle-ci pour avoir une valeur *lower bound* (+10%) ce qui nous donne donc

$$C_d \approx 1.39 \quad (15)$$

Ce qui est assez encourageant et correspond plus ou moins à nos estimations de 1.5.