

Compte rendu de projet mini fusée



Sébastien JOANNÈS
Année 2000-2001



REMERCIEMENTS

Les membres de ce projet tiennent à remercier tous ceux sans qui Gumnos n'aurait pas pu voler :

- **L'ESTACA** pour nous avoir soutenu, offert des locaux et des moyens de conception.
- Le lycée **Louis Girard** de Malakoff pour son aide à la réalisation de l'ogive en PMMA.

Nos partenaires industriels et financiers :

- Le **Crédit Lyonnais**.
- La société **Leduc** pour la réalisation du ressort de poussée.
- La société **Parker Pneumatique** pour l'ensemble du système de séparation (vérin pneumatique et électrovanne).
- La société **Union thermique** pour l'aluminium AU-4G.

L'ESO tient également à remercier le CNES et tous les membres de l'ANSTJ pour la gestion et l'organisation de l'activité aérospatiale des clubs amateurs français.

Enfin, un grand merci à **Alain DARTIGALONGUE** pour son appui technique et ses conseils.



**Lycée
Louis Girard
MALAKOFF**



LEDUC



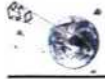
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

Membres du projet :

HESLOUIN Richard
JOANNES Sébastien (Chef de projet)

KERVENDAL Erwan
ZADROZYNSKI Francis





SOMMAIRE

UNE MINI-FUSÉE : QU'EST CE QUE C'EST ?	1
INTRODUCTION	2
1 MÉCANIQUE	3
1.1 CORPS DE LA FUSÉE	3
1.1.1 Choix du matériau translucide	3
1.1.2 Réalisation de l'ogive	3
1.1.3 Utilisation de fibre de verre pour le vol	5
1.2 SÉPARATION & ÉJECTION DU PARACHUTE	5
1.2.1 Principe de fonctionnement	5
1.2.2 Dimensionnement du ressort d'éjection	7
1.2.3 Dimensionnement du vérin pneumatique	10
1.3 RALENTISSEUR : PARACHUTE	11
1.4 BAGUE AILERONS	12
1.5 BAGUE OGIVE	13
2 ÉLECTRONIQUE	14
2.1 PRÉSENTATION	14
2.2 FONCTIONNEMENT	14
2.2.1 Séquenceur analogique	14
2.2.2 Séquenceur numérique	15
2.2.3 Gestion des signaux et d'rcuit de puissance	
2.2.4 Signalisation	17
2.2.5 Alimentation	18





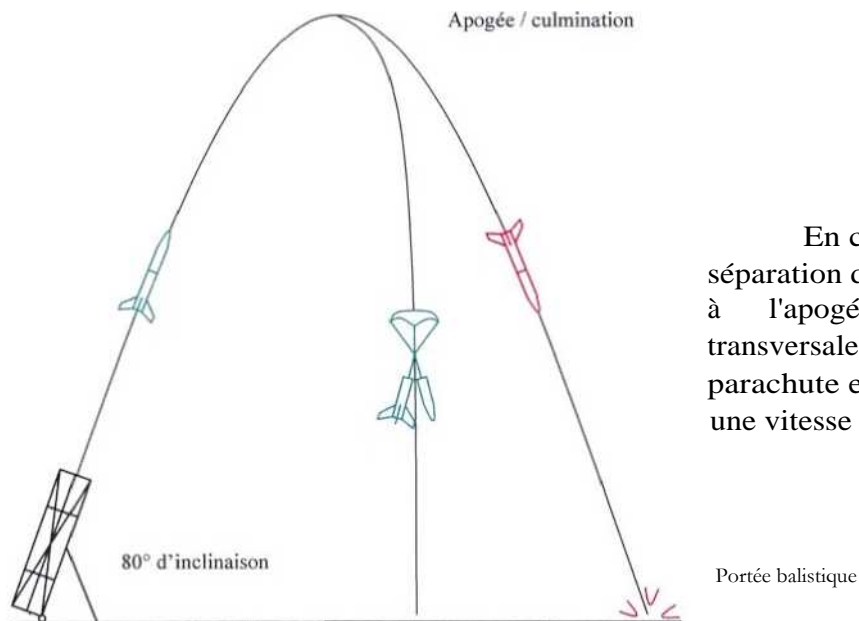
2.3	RÉALISATION	18
2.3.1	Routage, implantation et câblage	18
2.3.2	Intégration de la carte sur la mécanique	19
3	LE VOL DE GUMNOS	20
3.1	SIMULATION SOUS LE LOGICIEL « TRAJEC »	20
3.2	LES CONTRÔLES	20
3.3	JEUDI 23 AOUT 2001 : LE LANCEMENT	20
	CONCLUSION	22
	SOMMAIRE DES ANNEXES	23





UNE MINI-FUSÉE : QU'EST CE QUE C'EST

Les mini-fusées sont des objets propulsés avec des moteurs d'impulsion comprise entre 10 et 160 Newton secondes. En dehors du lancement proprement dit, l'objectif principal est la réalisation d'un système de récupération qui permet à ces mini-fusées de revenir au sol sans être endommagées. En outre, la fusée doit être munie d'un système réglable en temps de manière à mettre en oeuvre un ralentisseur (par exemple un parachute) à culmination.



En ce qui concerne Gumnos, la séparation de la fusée en deux tronçons à l'apogée du vol (séparation transversale) permet d'éjecter un parachute et ainsi de rejoindre le sol à une vitesse d'environ 10 m/s.

Caractéristiques générales de Gumnos :

Caractéristiques mécaniques		
Propulseur	Koudou (impulsion totale : 135 N.s)	
Masse	1,67 kg (sans propulseur)	
Dimensions	diamètre	62 mm
	hauteur	1,1 m
	nombre d'ailerons	4
Type d'initialisation	« Jack » & accéléro-contact	
Type de séparation	Transversale	
Type de ralentisseur	Parachute	
Données de vol (rampe de lancement à 80° d'inclinaison)		
Accélération maximale	40g m/s^2	
Vitesse maximale	240 km/h	
Temps de culmination	6,5 s	
Vitesse à culmination	40 km/h	
Altitude à culmination	207 m	
Portée balistique	138 m	





INTRODUCTION



L'objectif principal de ce projet est de faire découvrir le fonctionnement d'une fusée et le monde des clubs aérospatiaux au plus grand nombre. La destinée de cette fusée est inscrite dans le nom du projet, puisque Gumnos est un terme inspiré du grec qui signifie « mettre à nu ». Ainsi, habillée d'un tube translucide, Gumnos dévoile aux néophytes les différentes parties d'une fusée (propulseur, système de séparation, système de récupération, séquenceur).

Sur un plan plus technique, nous voulions développer des systèmes réutilisables par la suite sur fusée expérimentale et nous avons particulièrement porté notre attention sur la fiabilité de ces systèmes. Nous avons opté pour une séparation transversale pneumatique commandée par un double séquenceur (numérique & analogique).

Cette fusée, transparente pour toutes les présentations, est pourvue d'un deuxième habillage conçu spécialement pour le vol qui est plus léger et plus performant (utilisation de fibre de verre).

Ce compte rendu expose donc les points essentiels du fonctionnement de la fusée. Nous y présentons également les difficultés que nous avons pu rencontrer et nous terminons en analysant le vol nominal de Gumnos.





1 MÉCANIQUE

Tout au long de la conception mécanique de cette fusée, nous avons gardé à l'esprit les deux idées maîtresses du projet : Fiabilité et transparence. Nous avons donc opté pour une séparation transversale commandée par un vérin pneumatique. La réalisation des différentes pièces constituant la fusée est décrite ci-après (tous les plans mécaniques sont disponibles en annexe).

1.1 CORPS DE LA FUSÉE

1.1.1 Choix du matériau translucide :

Le projet a débuté par la recherche d'un matériau translucide dont les qualités esthétiques et mécaniques convenaient pour réaliser un habillage de fusée. Notre choix s'est très vite porté sur un thermoplastique : Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA).

Le PMMA est notamment utilisé pour fabriquer des vitrages et pour réaliser des inclusions d'objets, car son coefficient de transmission lumineuse est tel que 50 % seulement de la lumière visible est absorbée par une épaisseur de 3 m ! Ce matériau existe sous différentes formes (tubes, plaques,...) et en deux qualités : extrudé et coulé. Il est commercialisé par différents fabricants sous les noms de ALTUGLAS[®], PLEXIGLAS[®], PERSPEXE[®]. Son vieillissement est sous garantie décennale puisqu'il y a moins de 3% de perte de luminosité en 10 ans.

	Masse Volumique (kg/m ³)	Module d'Young à 20°C (Gpa)	Temp. de transition vitreuse Tg (°C)	Temp. de fusion Tf (°C)	Indice de réfraction	Trans. lumineuse (%)
PMMA	1180	3,3	120	225	1,49 à 1,56	92

Les tubes translucides disponibles sur le marché ont donc dimensionné toute la partie mécanique. Nous avons opté pour un tube extrudé qui présentait une épaisseur relativement faible (tube 62 x 59).

1.1.2 Réalisation de l'ogive :

L'un des défis du projet a consisté à réaliser une ogive également transparente. Le PMMA se prête relativement bien au thermoformage et pour des raisons techniques, l'ogive translucide a été réalisée à partir de deux demi-coques thermoformées et assemblées par collage (le moulage ou le thermoformage sur plus de 100 mm étant très délicats à réaliser).





Comme son nom l'indique, le thermoformage est une technique qui consiste à former une pièce plastique en la soumettant à la chaleur et à la pression. La pression peut être exercée soit par évacuation d'air sous la feuille, soit par pression d'air, soit par compression de la feuille chaude entre un moule concave et un moule convexe. Notre école ne disposant pas du matériel adéquat, nous avons pris contact avec un lycée professionnel à Malakoff qui nous a permis d'utiliser son matériel de prototypage rapide et de thermoformage sous vide.

Photo S.J.

Thermoformage sous vide :

La technique de thermoformage sous vide consiste essentiellement à fixer la feuille thermoplastique sur un cadre et à la soumettre à la chaleur. Une fois la feuille ramollie, un moule placé en dessous de la feuille, s'élève vers la feuille. L'air résiduel entre le plateau porte-moule et la feuille chaude est alors évacué par une pompe à vide. La pression atmosphérique se charge d'achever le processus en plaquant la feuille chaude sur le moule. La feuille adopte ainsi l'empreinte de ce dernier. Une fois la pièce refroidie, le plateau porte-moule est baissé et la pièce est retirée.

Réalisation du moule à l'imprimante 3D :

Le moule (matrice) a été réalisé à partir d'un fichier de type « Lithography », sur une imprimante 3D. La pièce en 3 dimensions est d'abord analysée et décomposée en sections de faibles épaisseurs par un ordinateur. La machine reconstitue alors chaque section en étalant une fine couche de poudre sur un plateau et en projetant un liant afin de solidifier la poudre suivant la section à reproduire. Le plateau est ensuite abaissé et une nouvelle couche de poudre est étendue, le liant donnant la forme de la nouvelle section. Le procédé se répète jusqu'à l'obtention du modèle 3D. Une fois que la ou les pièces sont terminées, la poudre excédentaire est aspirée et les pièces peuvent être récupérées et stabilisées à l'aide de résine.

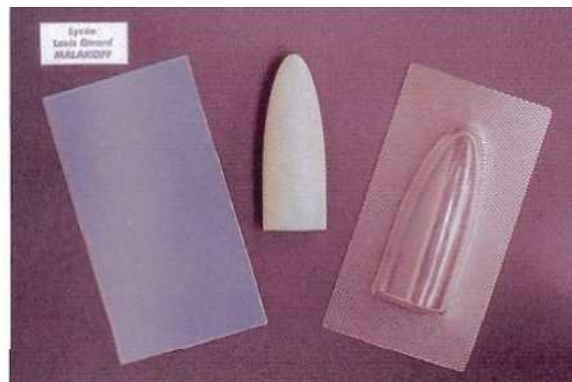


Photo S.J





1.1.3 Utilisation de fibre de verre pour le vol :

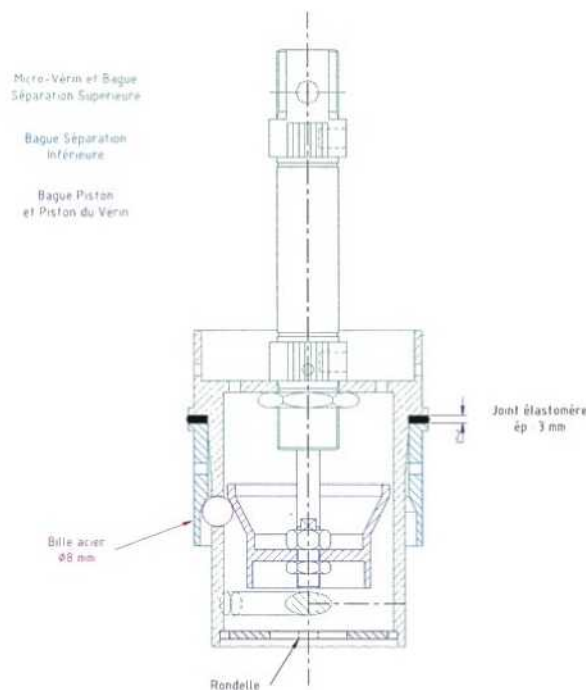
Les contraintes au décollage étant extrêmement importantes (accélération de 40g) nous avons décidé de réaliser une peau en composite (verre-époxyde) plus légère et plus performante pour le vol. La fabrication a consisté à draper de la fibre de verre (taffetas 48 g/m²) sur un tube PVC de 60 mm de diamètre avec un mélange résine-durcisseur. Pour faciliter le démoulage, nous avons intercalé entre le PVC et la fibre un papier sulfurisé peu adhérent à ces matériaux. Nous avons ajusté le diamètre intérieur des tubes en fibre de verre sur ceux en PMMA par l'intermédiaire de bagues également en fibre de verre. Une des ogives thermoformées a été recouverte d'une couche de fibre de verre afin de la solidifier pour le vol.

1.2 SÉPARATION & ÉJECTION DU PARACHUTE

1.2.1 Principe de fonctionnement :

La séparation constitue la partie la plus sensible de la mécanique. Nous souhaitons un système fiable et esthétique et nous avons opté pour une séparation transversale pneumatique. Les fonctions de ce mécanisme sont donc multiples :

- Assurer la fermeture de la fusée tout en contenant l'effort exercé par le ressort d'éjection.
- Préserver l'axe longitudinal de la fusée.
- Permettre une éjection franche du parachute.





Le mécanisme de séparation se compose de 4 sous-ensembles fonctionnels :

{Micro-Vérin pneumatique à simple effet avec ressort de rappel ; bague de séparation supérieure}

{Bague de séparation inférieure}

{Piston du vérin ; Bague piston}

{3 billes disposées à 120^0 }

Le chargement en air du vérin permet de descendre la bague piston et ainsi maintenir en position les 3 billes sur les 2 surfaces coniques. La valeur de l'angle α (inclinaison de ces surfaces) doit être judicieusement choisie de manière à minimiser les contraintes horizontales et permettre un jeu de fonctionnement correct. Nous avons opté pour une valeur comprise entre 25° et 30° . L'effort F , exercé sur la bague supérieure par le ressort d'éjection se retrouve réparti sur les trois billes et une petite analyse de statique permet de montrer que quel que soit l'angle α , le piston du Vérin est soumis à un effort vertical qui vaut :

$$\frac{3}{2} \left(\frac{F_r}{3} \right) = \frac{F_r}{2}$$



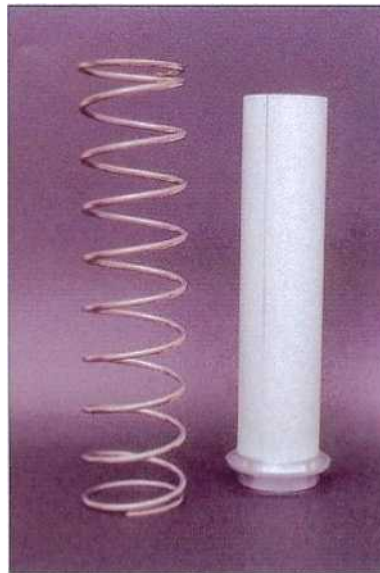
Bague Piston et billes en acier. Photo S.J.

Le ressort d'éjection a été dimensionné conjointement avec le vérin de manière à ce que tout soit compatible.





1.2.2 Dimensionnement du ressort d'éjection :



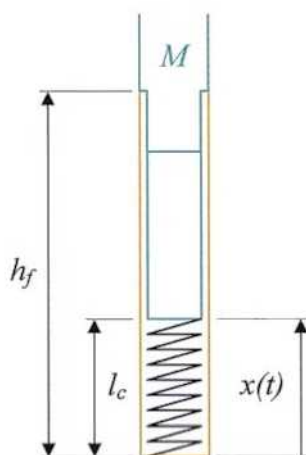
Ressort d'éjection et coquilles. Photo S.J.

Le ressort doit exercer une poussée suffisante de manière à ce que les coquilles contenant le parachute soient correctement éjectées. Afin de garantir ce fonctionnement en condition de vol, le cahier des charges impose une sortie franche des coquilles en soumettant la fusée à la pesanteur suivant son axe longitudinal.

L'étude dynamique qui suit permet de déterminer la constante de raideur du ressort.

Système étudié : Partie supérieure de la fusée avec coquilles et parachute

Paramétrage :



Définition des variables :

- h_f : hauteur de la partie inférieure (m)
- l_c : longueur du ressort comprimé (m)
- l_0 : longueur du ressort à vide (m)
- k : raideur du ressort (N/m)
- x : altitude du système (bas des coquilles) (m)
- M : masse du système (kg)
- g : accélération de la pesanteur (m/s^2)
- t_1 : temps mis par le système pour atteindre l_0 (s)
- t_2 : temps mis par le système pour atteindre x_{max} (s)

*Application du principe fondamental de la dynamique au système :*

Il y a une évolution des efforts exercés sur le système au cours du temps. L'effort de poussée exercé par le ressort est :

- dépendant de l'allongement du ressort pour $l_c \leq x \leq l_0$.
- inexistant pour $x > l_0$.

Nous scinderons donc l'étude en deux parties.

1^{ère} Partie :

Pour $l_c \leq x \leq l_0$ le PFD nous donne : $-Mg + k(l_0 - x(t)) = M \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$

Par intégration, il vient : $x(t) = \left(l_c - l_0 + \frac{M}{k} g \right) \cos\left(\sqrt{\frac{k}{M}} t \right) + l_0 - \frac{M}{k} g$

Déterminons t_1 tel que $x(t_1) = l_0$: $t_1 = \sqrt{\frac{M}{k}} \arccos\left(\frac{Mg}{k(l_c - l_0) + Mg} \right)$

2^{ème} Partie :

En ce qui concerne $x > l_0$, on a : $-Mg = M \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$

Ce qui permet d'écrire :

$$x(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + C_1t + C_2$$

$$\text{avec } C_1 = gt_1 - \sqrt{\frac{k}{M}} \left(l_c - l_0 + \frac{M}{k} g \right) \sin\left(\sqrt{\frac{k}{M}} t_1 \right)$$

$$\text{avec } C_2 = \frac{1}{2}gt_1^2 - C_1t_1 + l_0$$



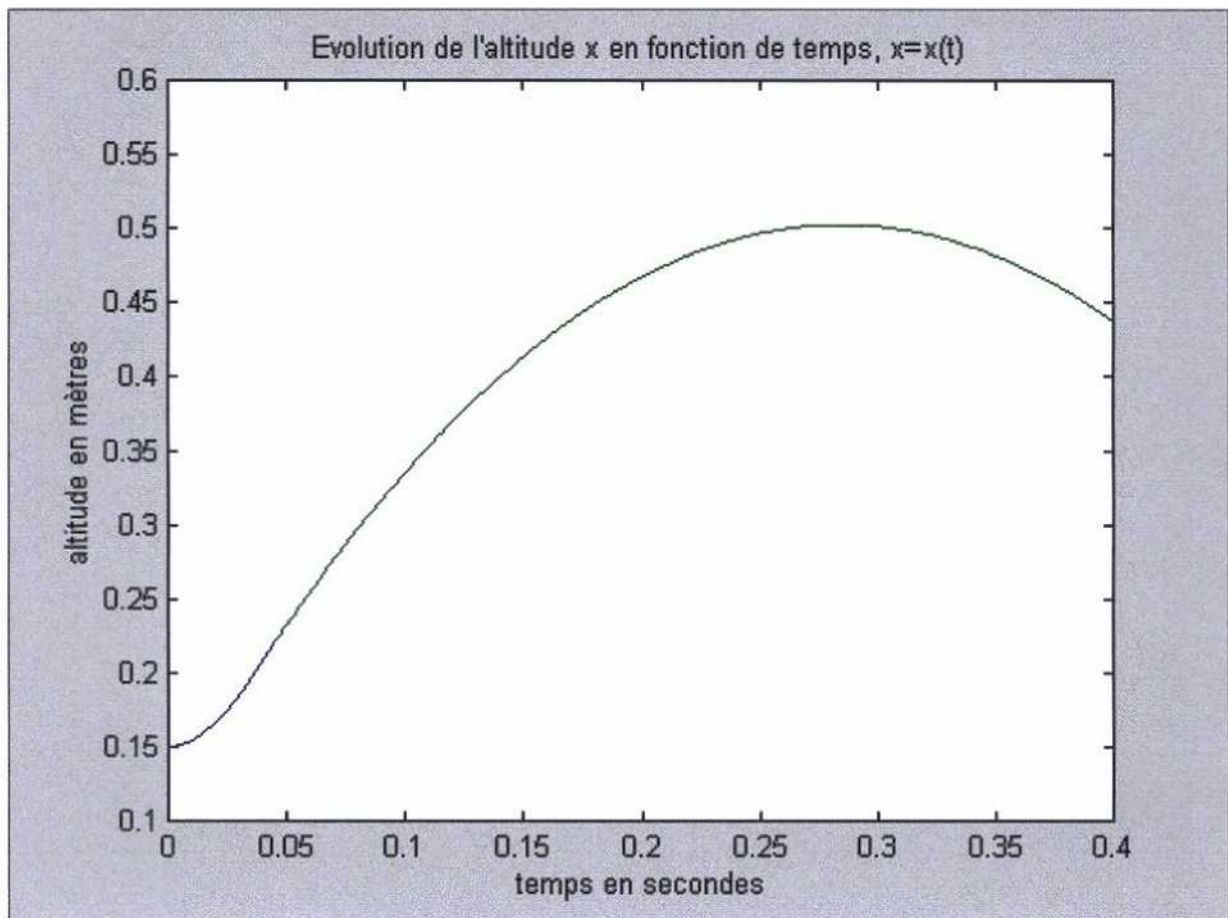


Obtention de k :

La dernière équation obtenue permet de déterminer par itérations successives la valeur de k nécessaire pour soulever les coquilles d'une hauteur $x(t_2) = x_{max} = h$

En particulier, pour obtenir $h > 0.5m$, il faut :

$$\left. \begin{array}{l} k \geq 1300 \text{ N/m} \\ t_1 \approx 44 \text{ ms} \\ t_2 \approx 288 \text{ ms} \end{array} \right\} \Rightarrow x(t_2) \geq 510 \text{ mm}$$



Modélisation du mouvement sous MATLAB.

Valeurs numériques :

$$h_f = 400 \text{ mm}, l_c = 150 \text{ mm}, l_0 = 220 \text{ mm}, M = 900 \text{ g}, g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$





1.2.3 Dimensionnement du vérin pneumatique :

L'effort maximum appliqué par le ressort sur la partie supérieure est donc :

$$F_r = k(l_o - l_c)$$

En choisissant $k = 1300 \text{ N/m}$, on obtient $F_r = 91 \text{ N}$

Le piston du vérin est donc soumis a un effort de 45,5 N.

Le cahier des charges préconise un CS de 2 où CS est le coefficient de sécurité (rapport entre la valeur maximale que peut supporter un équipement et la valeur normale).

Aussi, nous avons choisi un vérin ($\phi 16 \text{ mm}$) qui permet de transmettre un effort de poussée de l'ordre de 90 N (sous une pression de 6 bars).

Nous avons opté pour une course de 15 mm qui nous paraissait le meilleur compromis entre l'encombrement et les jeux de fonctionnement.

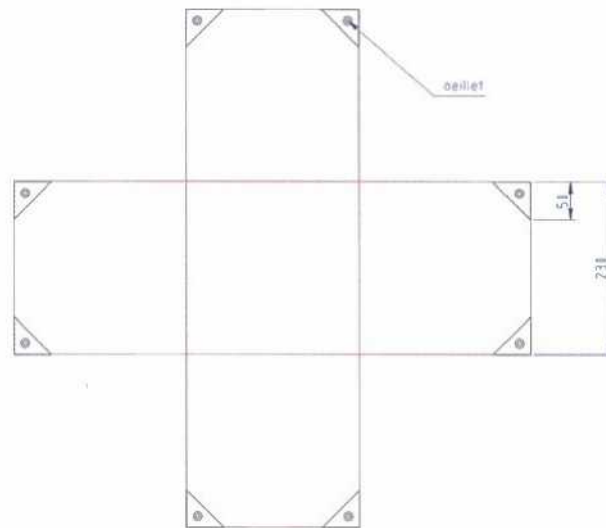


Micro-Vérin Parker et son électrovanne. Photos S.J





2.3 RALENTISSEUR : PARACHUTE



Le parachute en forme de croix a une surface de $26,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ de manière à obtenir une vitesse de descente proche de 10 m/s. Il a été réalisé en toile de cerf-volant et cousu à la main. Le ralentisseur doit être suffisamment solide pour résister au choc à l'ouverture car le parachute et ses fixations subissent une force directement proportionnelle à la vitesse de la fusée au moment de l'ouverture :

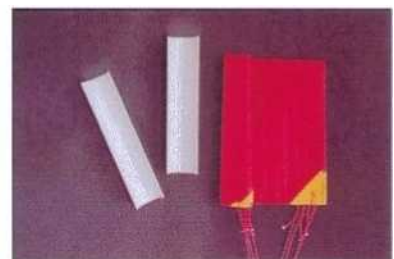
$$F = 1/2 \rho C_x V_{\text{ouverture}}^2 S_{\text{projetée}}$$

(Avec un C_x de 2 (CS inclus), et une rampe à 80° d'inclinaison, on obtient $F=3,8 \text{ kg.}$)

Les coins du parachute ont donc été renforcés par une épaisseur de tissu supplémentaire ainsi que par des Oeillets.

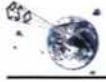
Les suspentes en polyéthylène haut module (Dyneema) peuvent résister à des chocs importants puisque la ténacité de ce matériau est très élevée 320 cN/ Tex (la ténacité est la résistance à la propagation brutale de fissures). Cette fibre est notamment utilisée pour réaliser des gilets pare-balles (absorption importante d'énergie) et des suspentes de parapentes (un diamètre de 1,5 mm suffit à supporter une centaine de kilos).

Que ce soit l'émerillon en laiton, les fixations sur la fusée ou le parachute en lui même, un test pratique a permis de vérifier que tous ces éléments résistent au moins à une force de traction



Pliage du parachute et mise en place dans les coquilles. Photos Si.





Le parachute a également été muni d'un anneau anti-torche, c'est à dire un anneau dans lequel passe chacune des suspentes ce qui leur évite de s'emmêler en les maintenant écartées. Cet anneau permet également de tendre toutes les suspentes, ce qui rend plus efficace l'émerillon et évite ainsi la mise en torche du parachute. Il a été réalisé dans une plaque de polyuréthane de 1 mm d'épaisseur qui procurait souplesse, solidité et compatibilité avec le polyéthylène des suspentes.



Photo S.J.

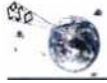
1.4 BAGUE AILLERONS

Cette bague est à triple fonction : elle doit à la fois maintenir le propulseur, les ailerons et elle sert de liaison entre la partie inférieure et le parachute. En outre, elle doit résister aux contraintes du vol.

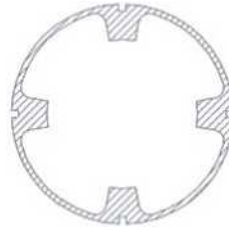


Photo S.J.





Afin de centrer le propulseur, réduire la masse et permettre de souder les ailerons correctement, nous voulions adopter un profil mécanique particulier :



Ne disposant pas des outils adéquats, nous n'avons pas pu usiner le profil sur la longueur désirée et nous avons donc du nous contenter de ce profil sur une vingtaine de millimètres. Le propulseur a ensuite été bloqué par des vis de pression et l'attache parachute a été vissée dans la plaque de poussée.

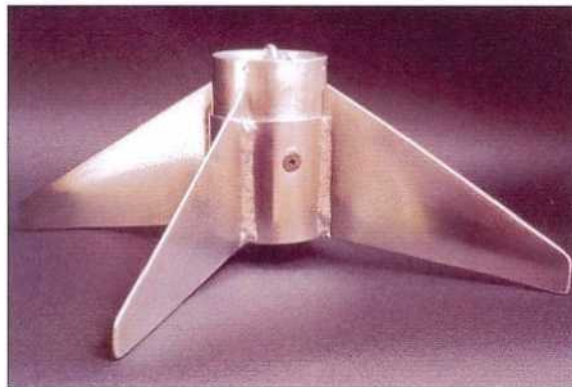
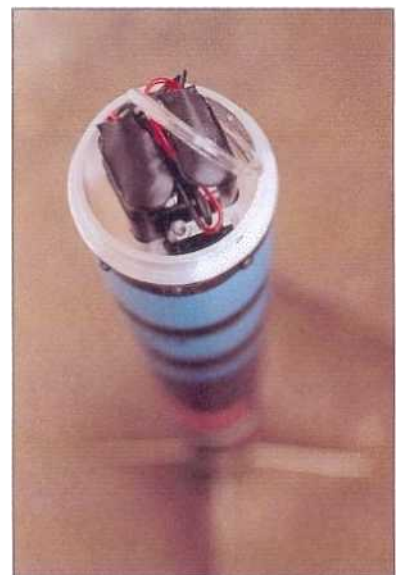


Photo S.J.

1.5 BAGUE OGIVE

Outre sa fonction de maintien de l'ogive, cette bague permet de rassembler l'ensemble des éléments qui doivent être facilement accessibles, notamment les piles, l'accéléro-contact et le tuyau permettant de remplir le vérin.



Photo





2 ÉLECTRONIQUE

2.1 PRÉSENTATION

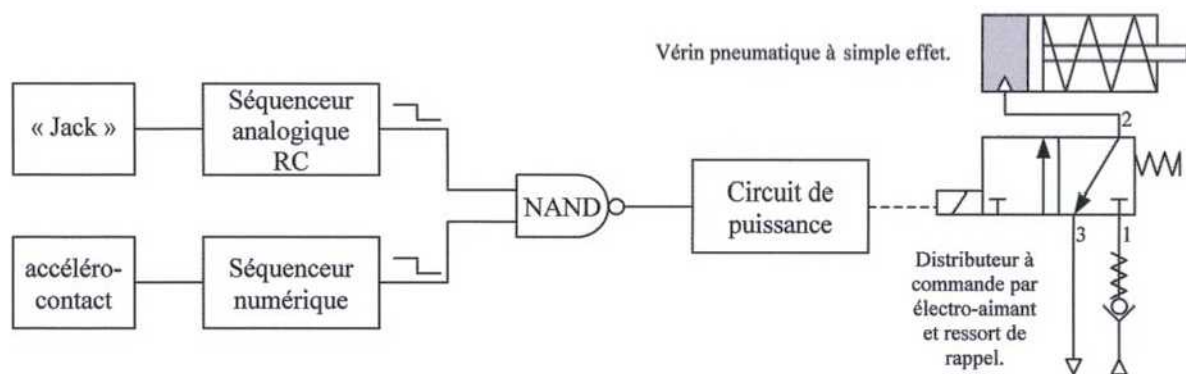
Le séquenceur est un élément de base de la fusée et une attention toute particulière doit y être accordée. Le cahier des charges précise que chaque fusée doit être munie d'un système permettant la mise en oeuvre du ralentisseur à culmination, le but du séquenceur est donc de détecter le décollage et de commander le mécanisme de récupération en temps voulu.

Nous souhaitons réaliser un séquenceur qui puisse être très précis, qui bénéficie d'un réglage simple du temps de culmination, et qui puisse servir de plate-forme pour les fusées expérimentales à venir.

Une simulation du vol avec le logiciel « traject » permet de connaître avec une précision relativement correcte le temps que la fusée mettra pour atteindre l'apogée. Il suffit alors de réaliser un dispositif électronique capable de restituer ce temps à partir du décollage.

Pour une plus grande fiabilité, nous avons décidé de mettre en oeuvre deux séquenceurs dont les modes d'initialisation et de fonctionnement sont différents :

- ❑ Un premier séquenceur (analogique) est initialisé par l'intermédiaire d'un connecteur de type « Jack ».
- ❑ Le deuxième séquenceur (numérique et facilement programmable) est déclenché par un accéléro-contact.



2.2 FONCTIONNEMENT

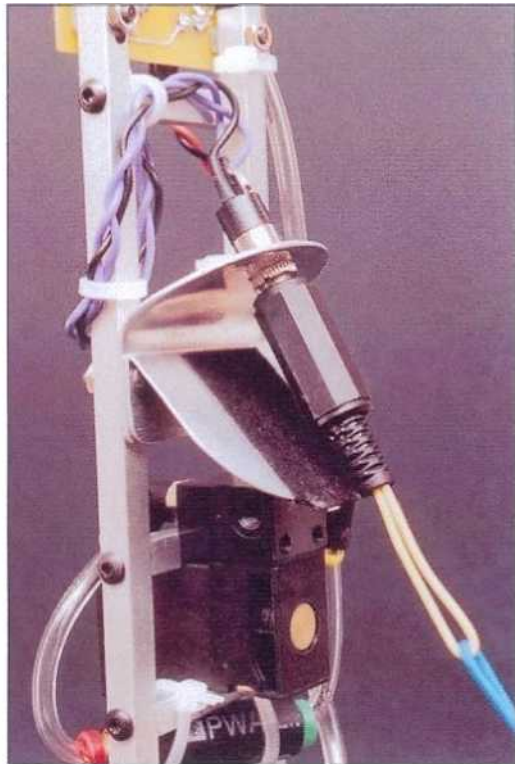
2.2.1 Séquenceur analogique :

Ce type de séquenceur consiste à utiliser la réponse progressive d'un circuit RC à un échelon de tension et comparer cette réponse à une tension de référence. Un signal de commande est alors généré lorsque la tension aux bornes du condensateur atteint et dépasse la tension de référence.

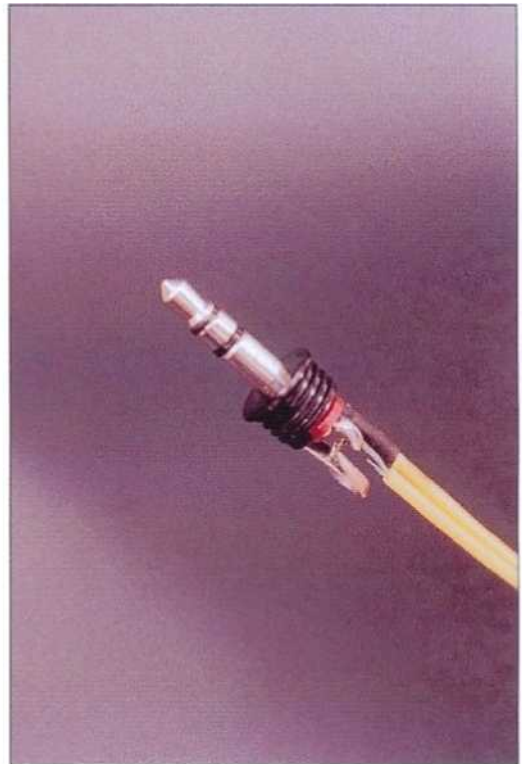


Initialisation (déclenchement au décollage)

Pour soumettre le circuit RC à un échelon de tension au décollage, il suffit de shunter le condensateur et d'arracher ce shunt au décollage. Pour cela nous avons utilisé un connecteur « Jack » stéréo. La partie femelle est fixée dans la fusée et la partie mâle qui réalise le shunt est reliée à la rampe de lancement.



Photos S.J.



Comparaison de la charge à une tension de référence :

Pour comparer la charge du condensateur à une tension de référence nous avons utilisé un AO spécialement étudié pour fonctionner en comparateur : le 393. Son alimentation est compatible avec une logique 0-5 V du circuit de puissance.

La référence de tension est obtenue par un montage diviseur de tension. Afin de garantir une précision suffisante, nous avons minimisé la valeur de la résistance variable en choisissant une résistance de valeur fixe convenable.

Le principe de ce montage réside sur le fait que la charge exponentielle peut être assimilée à une droite si le temps de culmination (t_c) est petit devant la constante de temps $\tau=RC$ du circuit. Nous avons donc réglé τ de manière à ce que $t_c \leq \tau$.

[Note du relecteur : il est aussi possible de placer t_c à τ avec un seuil à 63% de 5V.

On sait alors que ce seuil sera atteint en $\tau=RC$ secondes.]

2.2.2 Séquenceur numérique :

Le principe de ce type de séquenceur repose sur le comptage d'impulsions générées à une fréquence connue. La technologie numérique permet donc de commander entièrement le séquenceur et de connaître à tout moment son état.





Génération des impulsions.

Pour être compatible avec la majorité des compteurs, le signal correspondant à la base de temps doit être carré et de rapport cyclique faible (le créneau positif doit avoir une durée comprise entre 1 % et 5 % de la période).

Il existe de multiples dispositifs permettant de générer de tels signaux, parmi lesquels :

- ❑ Les horloges à quartz (pour des fréquences plutôt élevées).
Les multivibrateurs astables qu'ils soient à base de composants discrets ou de circuits intégrés (CI) (double inverseur + Rc, inverseur à trigger de schmitt, 555 ou tout oscillateur analogique).
- ❑ Les générateurs de fonction (VCO) comme le 8038 ou le 2206.

Pour sa facilité de mise en place et sa fiabilité, nous avons choisi d'utiliser un générateur de fonction 8038.

Sans rentrer dans les détails, un dispositif d'initialisation doit permettre d'autoriser le compte ou le décompte à partir du décollage et il faut utiliser les réponses du compteur pour commander le circuit de puissance en temps voulu.

Pour obtenir un pas de réglage de 1 seconde, le plus simple aurait été de générer directement un signal de 1 Hz . Cependant, pour synchroniser au mieux le décollage avec l'autorisation de comptage, nous avons utilisé un signal d'horloge de 10 Hz et employé un 1er compteur (BCD 4 bits 74190) pour générer des impulsions toutes les secondes.

Remarque : Le code BCD (Binary Coded Decimal) a été créé pour rattacher le système binaire au système décimal, c'est-à-dire en créant des « unités de comptage » capables de compter de 0 à 9 et non au-delà. Comme 9 est représenté par 1001 en binaire, il faut 4 rangs binaires (4 bits) pour représenter le système décimal. L'avantage d'un compteur BCD (4 bits) réside dans le fait qu'il permet de diviser par 10 la fréquence d'horloge initiale.

Comptage :

Pour compter (ou plutôt décompter) les impulsions, nous avons opté pour un compteur-décompteur synchrone pré-positionnable de type 74191. Il s'agit d'un compteur qui comporte entre autre une sortie « Max-Min ». Cette sortie permet de détecter le passage à 0 et donc la fin du décompte s'il est pré-positionné sur la valeur correspondant au temps de culmination. Comme tous les compteurs, il permet de suivre en temps réel le décompte par l'intermédiaire de ces quatre sorties binaires.

Pré-positionnement de la valeur correspondant au temps de culmination :

Le compteur 74191 est un compteur binaire qui permet donc de compter de 0 à 15. Avec une fréquence d'impulsions de 1-14 il est alors possible de déterminer un temps allant jusqu'à 15 secondes. Afin de faciliter le pré-positionnement des valeurs, nous avons utilisé une roue codeuse.



2.2.3 Gestion des signaux et circuit de puissance :

Une double bascule D de type 7474 et une quadruple porte NAND (7400) permettent de gérer l'ensemble des états du séquenceur. Ces deux composants forment en quelque sorte le « cerveau » du montage. Ils servent à déclencher et maintenir l'autorisation de comptage le temps nécessaire. Il servent également à recueillir et conditionner les signaux de commande des deux séquenceurs.

Remarque : L'initialisation des deux compteurs et de la bascule est effectuée automatiquement lors de l'allumage de la carte par l'intermédiaire d'un comparateur 393.

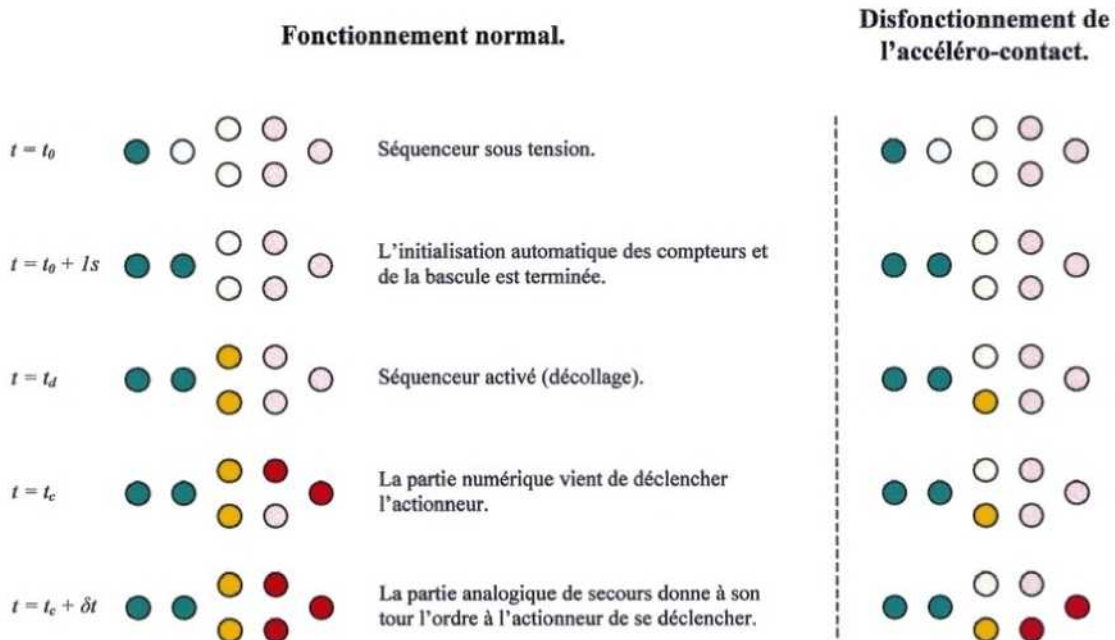
Le circuit de puissance est constitué par un transistor MOSFET canal N (BUZ 10). Celui-ci n'enverra un signal à l'électrovanne que si le signal sur son entrée dépasse un certain seuil de tension.

2.2.4 Signalisation :

La signalisation est extrêmement importante puisqu'elle permet de connaître à tout moment l'état du séquenceur :

- Séquenceur sous tension ou hors tension.
- Séquenceur actif (la fusée a décollé) ou inactif (la fusée attend le décollage).
- Actionneur actif (séparation commandée) ou inactif (séparation non commandée).

La signalisation de Gumnos est la suivante (les leds supérieures correspondent à la partie numérique) :



Un afficheur 7 segments a été ajouté de manière à visualiser le décompte en temps réel.





2.2.5 Alimentation :

Le séquenceur doit avoir la puissance nécessaire pour déclencher le mécanisme de séparation. Tous les composants de la carte électronique sont alimentés en 5 V sauf le 8038 qui est alimenté en 12 V et la consommation de la carte est de l'ordre de 30 mA. L'électrovanne fonctionne sous 12 Vcc pour une consommation de 1,2 W (100 mA). Afin d'obtenir une tension de 12 V fiable, nous avons décidé d'utiliser deux piles 9 V en série et de réguler la tension par l'intermédiaire de régulateurs 7812 et 7805.

2.3 RÉALISATION

2.3.1 Routage, implantation et câblage :

En raison du nombre important des liaisons et de la place réduite (50 x 185), nous avons décidé de router la carte en double face. Afin de limiter l'oxydation des pistes de cuivre, nous avons étamé à froid l'ensemble de celles-ci. L'interrupteur a été placé de manière à basculer horizontalement lorsque la fusée est verticale. De cette façon, nous minimisons les effets de l'accélération et de la décélération sur l'interrupteur. Les régulateurs et le MOSFET ont été vissés sur la carte et associés à des dissipateurs thermiques. Tout le câblage a été effectué en fil souple multibrins de manière à éviter une rupture brutale du conducteur.

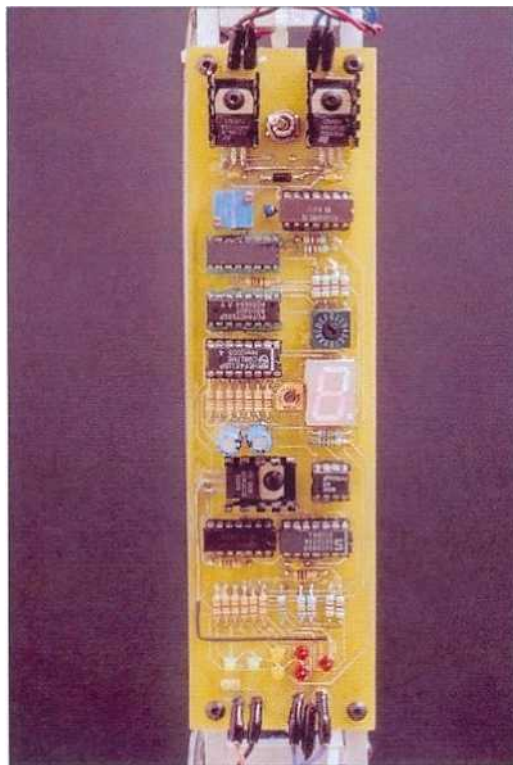


Photo S.J.





2.3.2 Intégration de la carte sur la mécanique :

La carte est fixée sur des tiges en aluminium de 6 x 6. Des écrous en téflon servent d'entretoises afin d'éviter que les tiges en aluminium ne soient en contact avec les points de soudure de la carte. Le connecteur « Jack » femelle est fixé sur une plaque en aluminium située sous la carte. Les piles, qui doivent rester facilement accessibles, sont positionnées sur une plaque en époxy au niveau de l'ogive. Enfin, les deux tiges aluminium sont elles même vissées sur la bague de séparation supérieure.



Photo S.J.

Des trous et des fentes ont été percés dans la peau en fibre de verre du corps supérieur afin de laisser les diodes apparentes et l'interrupteur accessible.





3 LE VOL DE GUMNOS

3.1 SIMULATION SOUS LE LOGICIEL « TRAJEC »

L'ANSTJ met à notre disposition un logiciel appelé « trajec » qui permet de simuler le vol de la fusée en fonction des caractéristiques mécaniques. Grâce à ce logiciel, il est possible d'obtenir rapidement des données essentielles influant sur la stabilité : vitesse en sortie de rampe, portance, marge statique , ...

Il est également possible de déterminer le temps de culmination avec une assez bonne précision et ainsi ajuster le séquenceur.

Inclinaison de la rampe	70°	80°
Vitesse en sortie de rampe	27 m/s (97,2 km/h)	27 m/s (97,2 km/h)
Temps de culmination	6,21 s	6,52 s
Vitesse à culmination	21 m/s (75,6 km/h)	11 m/s (39,6 km/h)
Altitude à culmination	188 m	207 m
Masse équivalente suspendue au parachute à l'ouverture	7 22 kg	3,78 kg
Accélération maximale	393 m/s ²	393 m/s ²
Vitesse maximale	67 m/s (241,2 km/h)	67 m/s (241,2 km/h)
Données balistiques : tps impact (s) // vitesse (m/s) // portée (m)	12,60 // 59 // 256	13,21 // 59 // 138

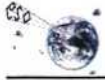
3.2 LES CONTRÔLES

Avant le lancement, de nombreux contrôles sont effectués par des personnes compétentes pour vérifier le respect des règles du cahier des charges. Dans le cas où la fusée est conforme (aussi bien au niveau de la conception que de la stabilité), une fiche de contrôle est émise et la fusée est déclarée apte au vol. Nous n'avons pas connu de problème durant cette phase de qualification. Le fait d'être arrivé à la campagne de lancement avec une fusée finie à 99 % nous a permis d'être très serein et de passer tous les contrôles relativement rapidement.

3.3 JEUDI 23 AOUT 2001 : LE LANCEMENT

Une fois les étapes du contrôle passées avec succès, le décollage est proche. Cependant, il ne faut pas se précipiter et les derniers préparatifs réclament encore pas mal d'application. Après de long jours de préparation, pas question de négliger un petit détail qui pourrait faire tout capoter. Nous avons donc suivi à la lettre la chronologie préalablement établie.





Nous n'avons pas rencontré de réelles difficultés pendant la phase de préparation en « tente club » et nous sommes donc descendus en rampe « Idéfix » pour réaliser les ultimes tests de compatibilité. La compatibilité de la fusée avec la rampe était bonne, mais nous avons dû attendre que deux fusées expérimentales soient lancées avant d'avoir l'autorisation tant attendue du décollage.

Le décollage est un plaisir intense mais fugace car la séparation est source de nombreuses craintes. Non seulement il faut que la fusée se sépare à l'apogée, mais il faut également que le parachute se déploie correctement. Gumnos a franchi avec succès ces deux étapes (même si l'ouverture fut un peu tardive) et le lancement s'est donc soldé par un nominal. Nous avons donc pu récupérer la fusée intacte et remplir parfaitement notre objectif.



Photo F.C. (MIDI LIBRE)





CONCLUSION

Ce projet a été très formateur puisque nous avons réussi à développer une fusée malgré le peu de connaissances pratiques que nous avons dans certains domaines (usinage, thermoformage, soudure à l'arc,...). Ce projet s'est donc révélé passionnant puisqu'il nous a permis de mettre en application nos connaissances théoriques et de nous confronter à la mise en oeuvre d'un véritable travail de conception. En outre, il faut avoir une vision globale du projet et envisager toutes les défaillances possibles en les éliminant une par une.

Le vol nominal de Gumnos nous motive pour concevoir des fusées plus élaborées mais également pour faire partager nos connaissances acquises durant la réalisation.





SOMMAIRE DES ANNEXES

MÉCANIQUE

Annexe 1 : Plans mécaniques détaillés.

Annexe 2 : Simulation sous « trajec ».

Annexe 3 : Répartition de la masse.

ÉLECTRONIQUE

Annexe 4 : Schéma de principe.

Annexe 5 : Routage et implantation des composants.

Annexe 6 : Chronogrammes. *

Annexe 7 : « Data-Sheets » des composants. *

DIVERS

Annexe S : Chronologie. *

(*) : ces annexes ne sont disponibles que dans la version complète du compte rendu.

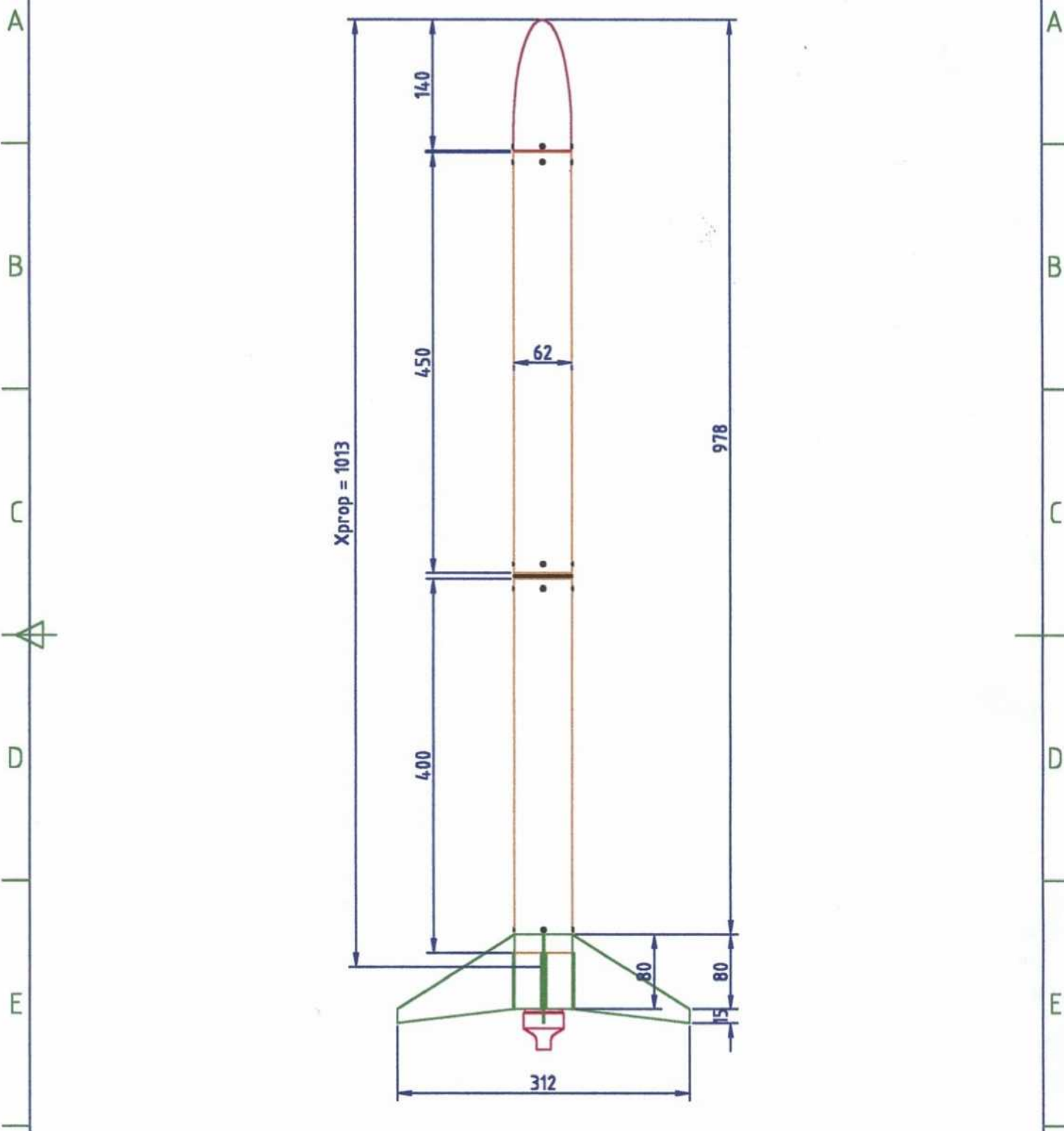




Annexe 1 :
Plans mécaniques détaillés.

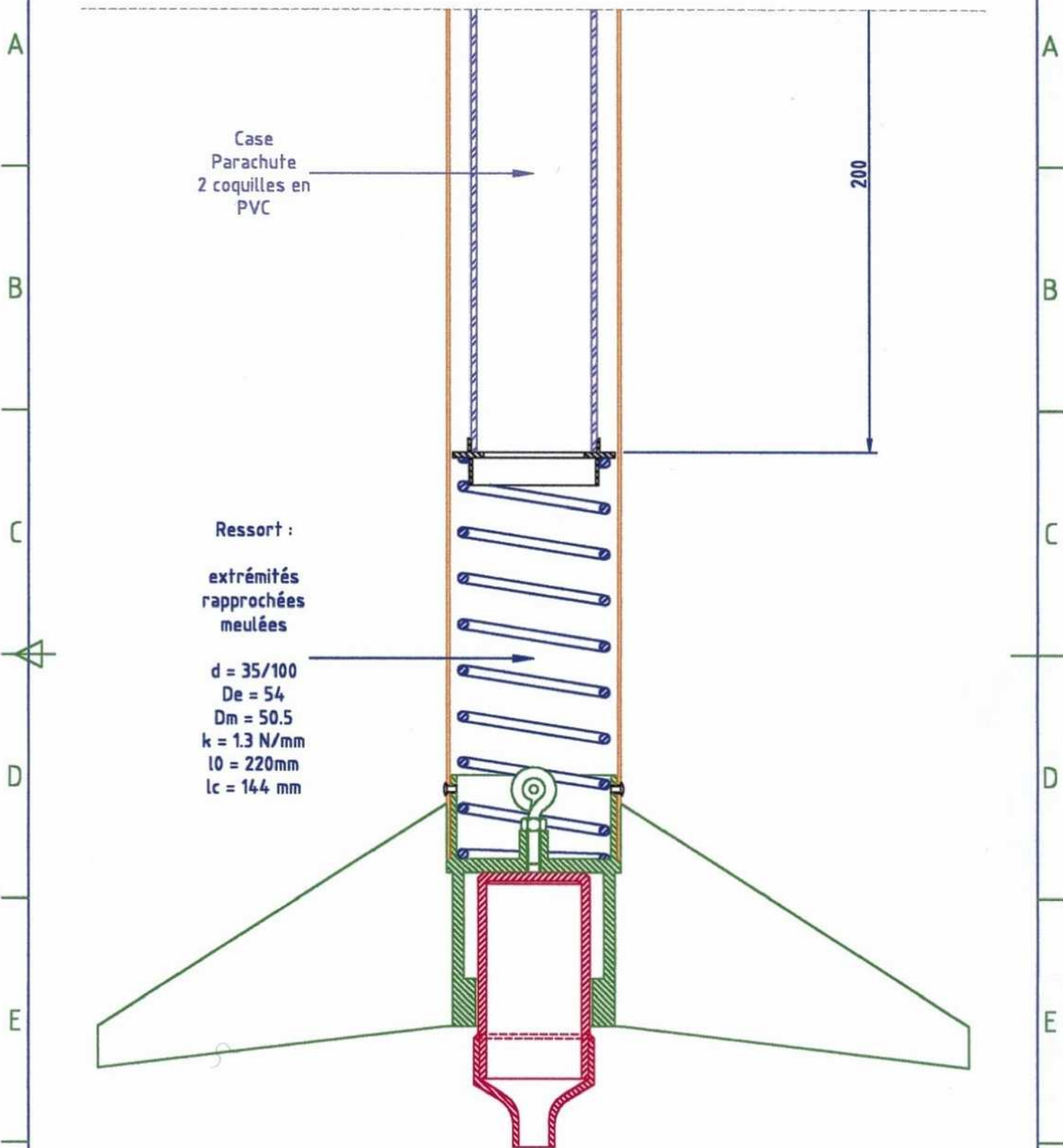


1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename Gumnos	Date année 2000/01	Scale 1:6	
Estaca Space Odyssey			Gumnos			
			1	Edition 1	Sheet 1/1	

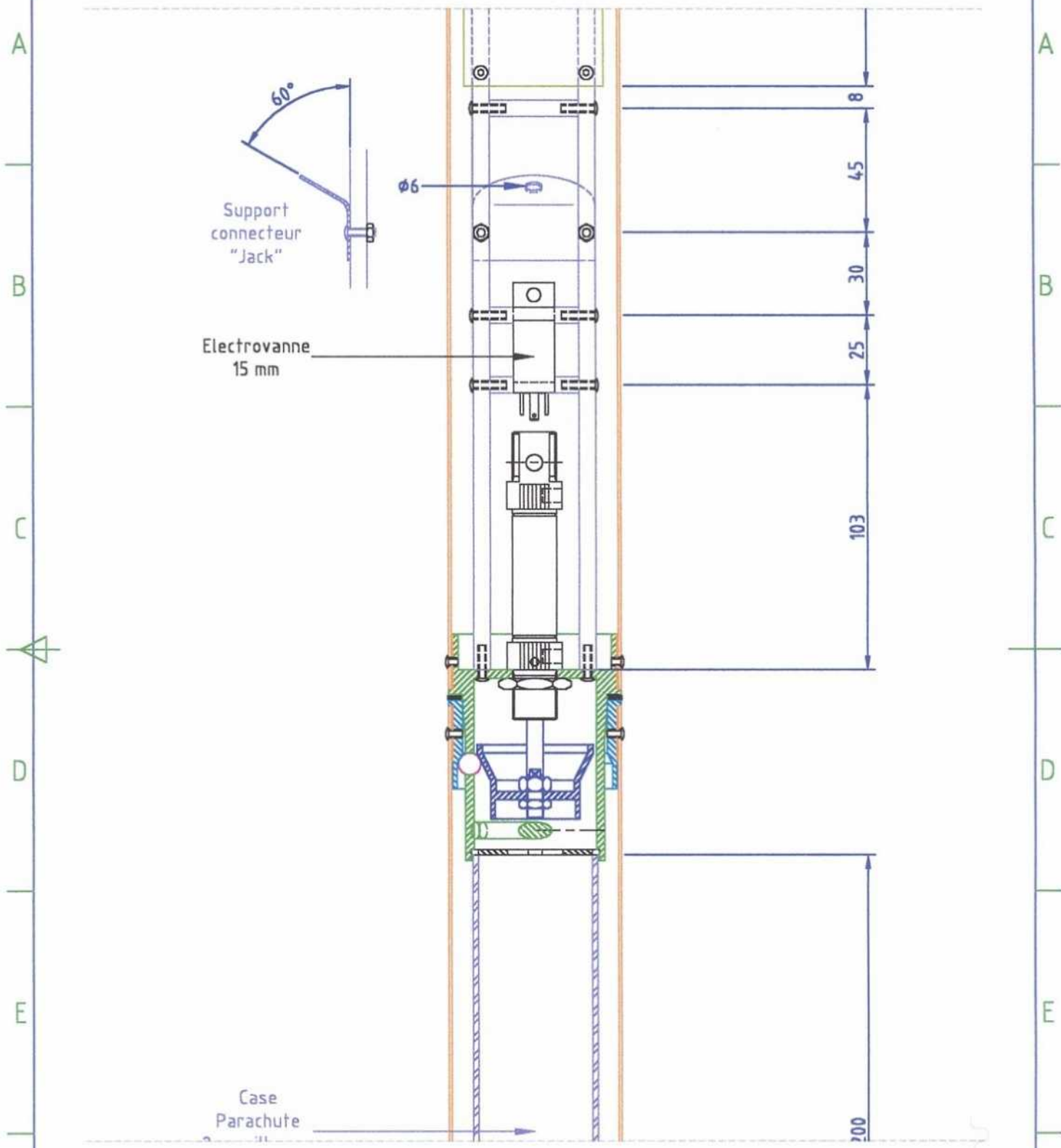
1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename Gumnos1	Date année 2000/01	Scale 1:2
Estaca Space Odyssey			Gumnos		
			1	Edition 1	Sheet 1/3

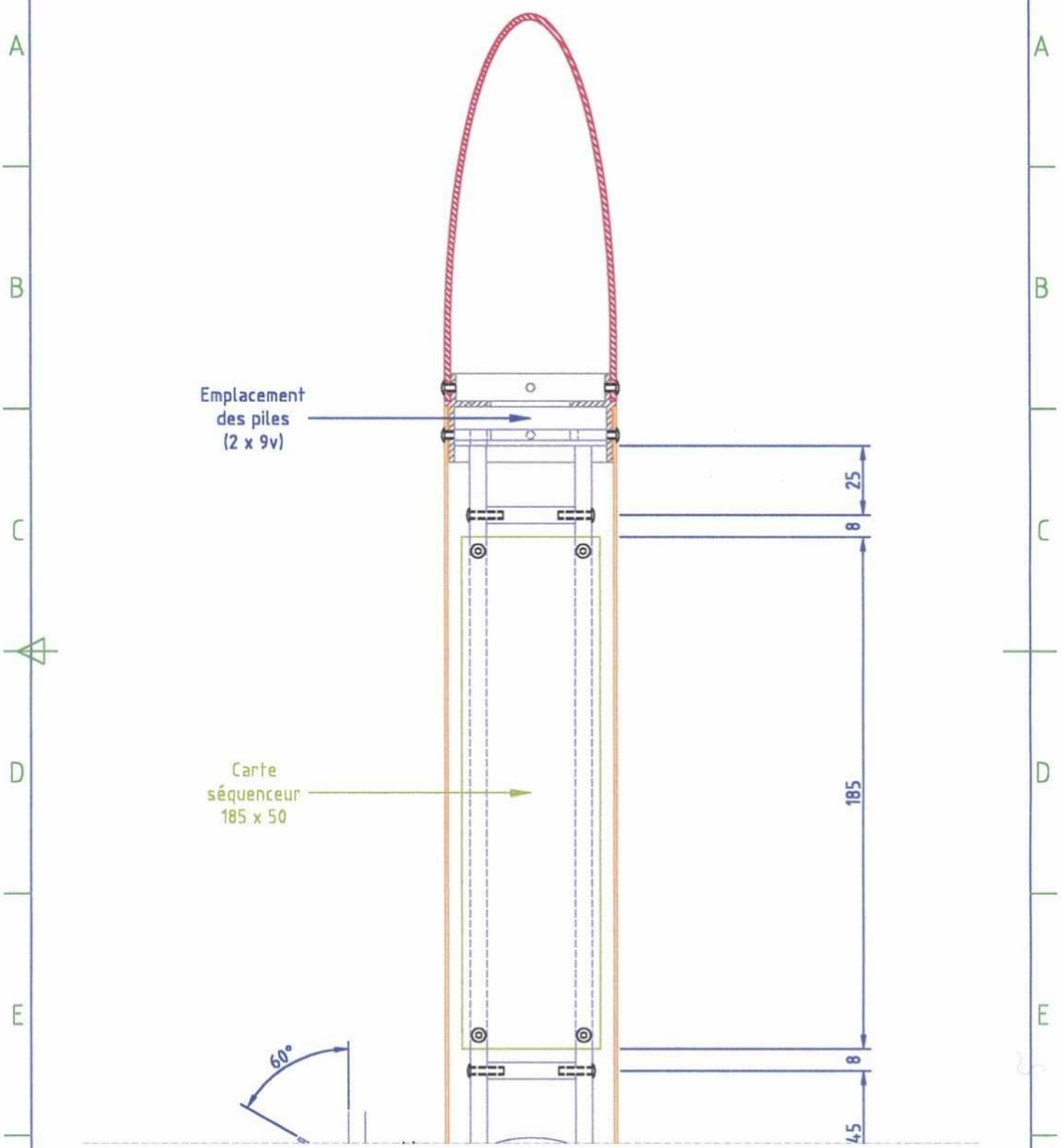


1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



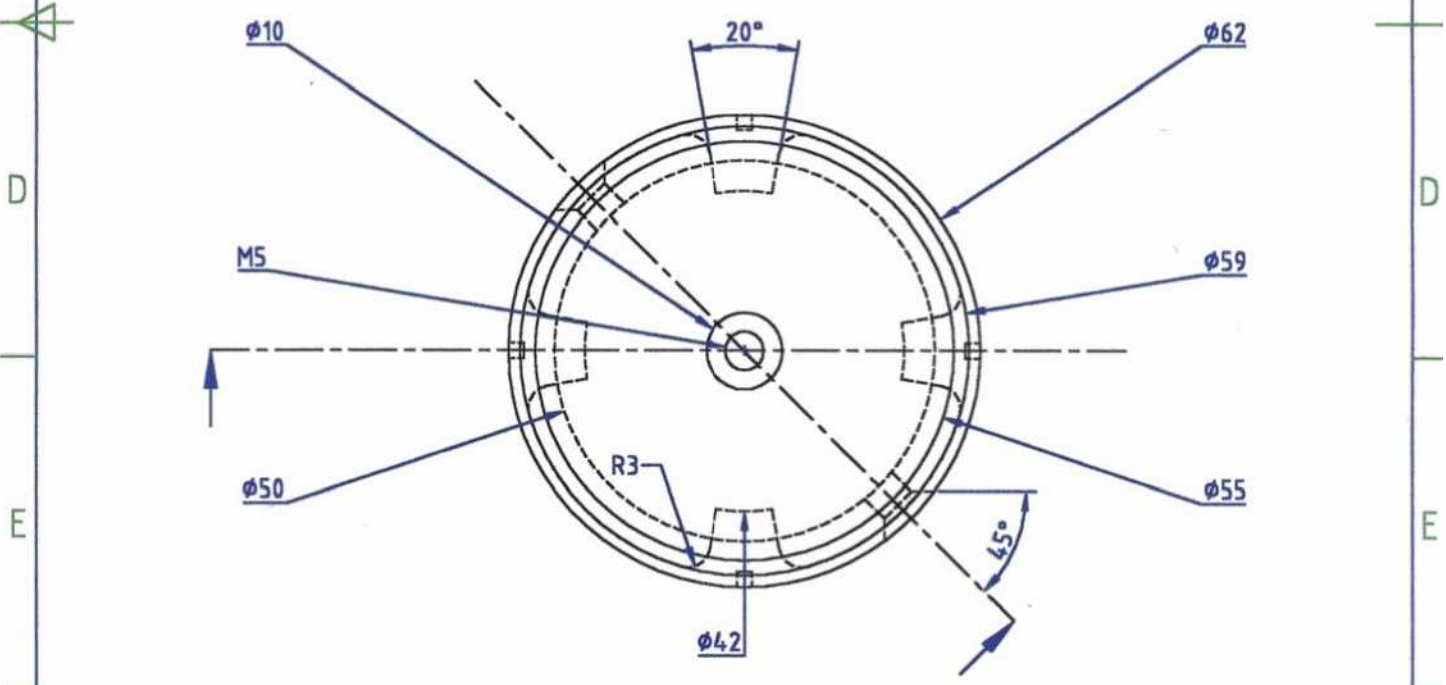
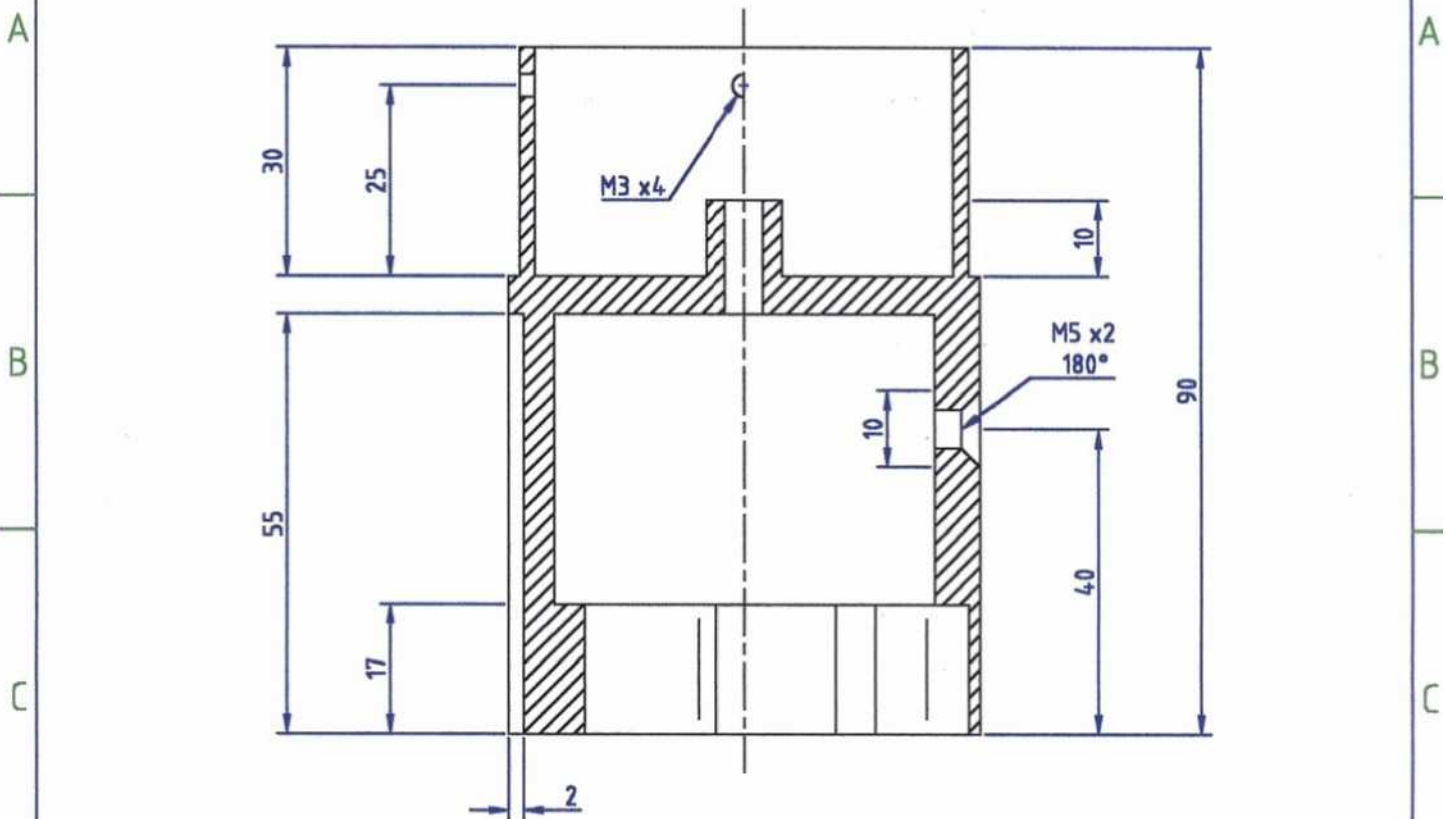
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename Gumnos2	Date année 2000/01	Scale 1:2
Estaca Space Odyssey			Gumnos		
			1	Edition 1	Sheet 2/3

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



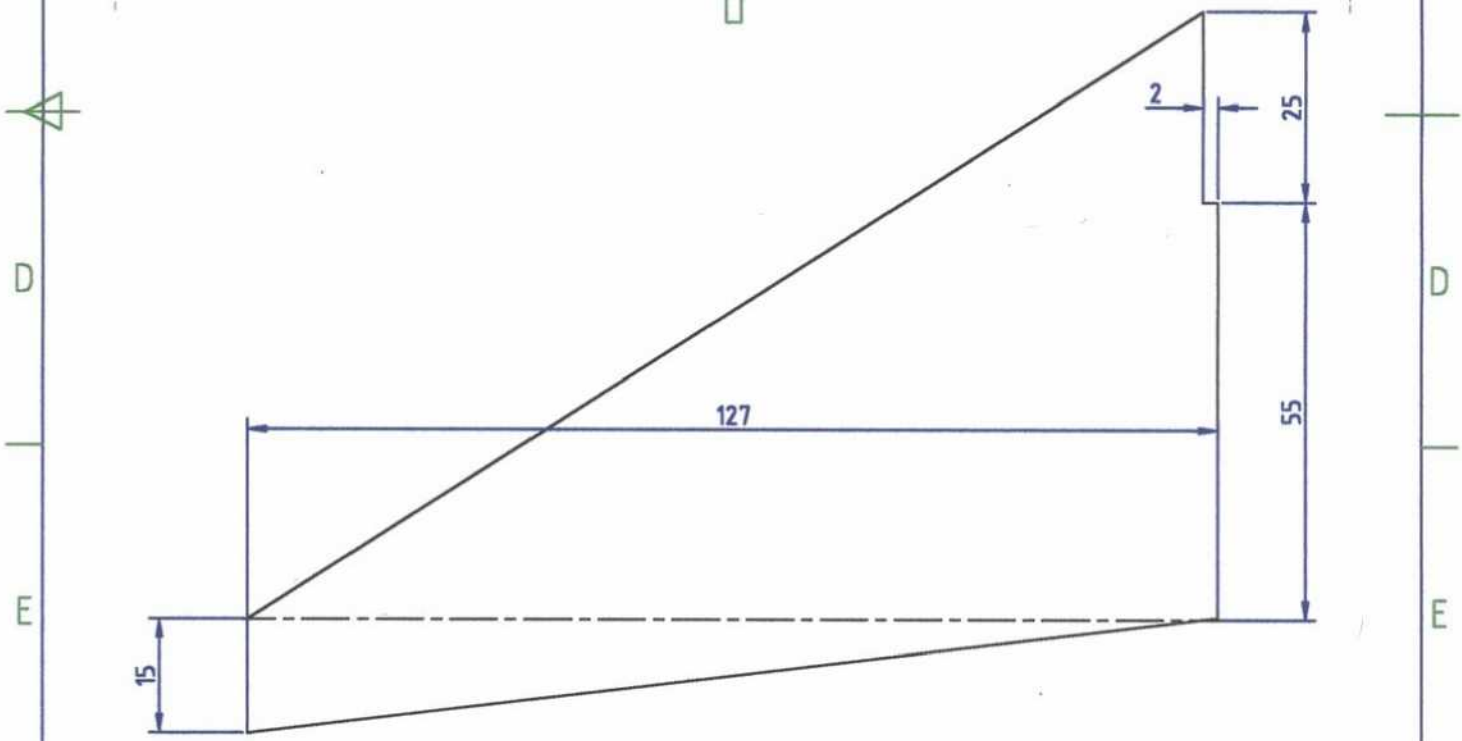
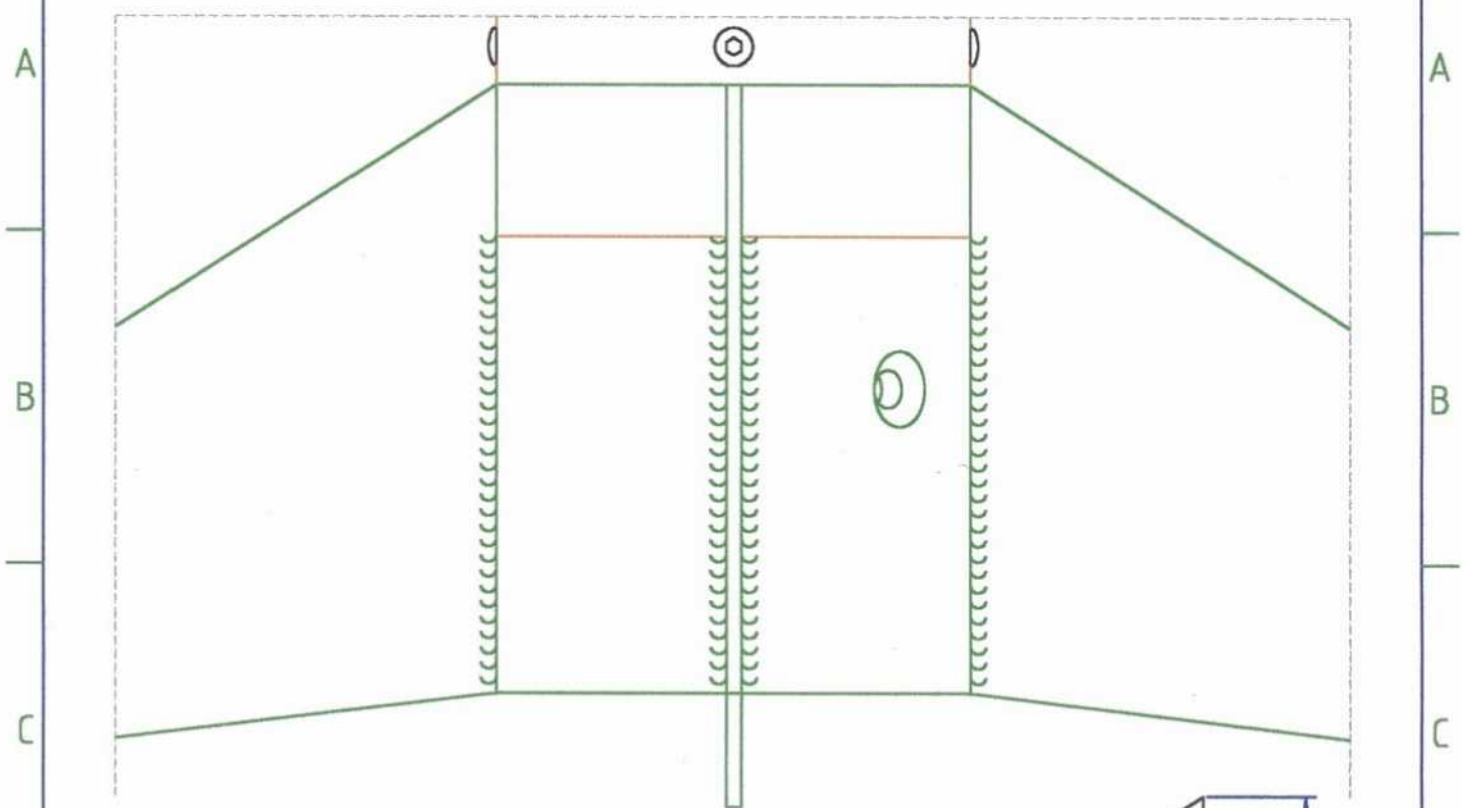
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename Gumnos3	Date année 2000/01	Scale 1:2
Estaca Space Odyssey			Gumnos		
			1	Edition 1	Sheet 3/3

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference		
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename BagAilerons	Date année 2000/01	Scale 1:1
Estaca Space Odyssey			Bague Ailerons		
			1	Edition 1	Sheet 1/1

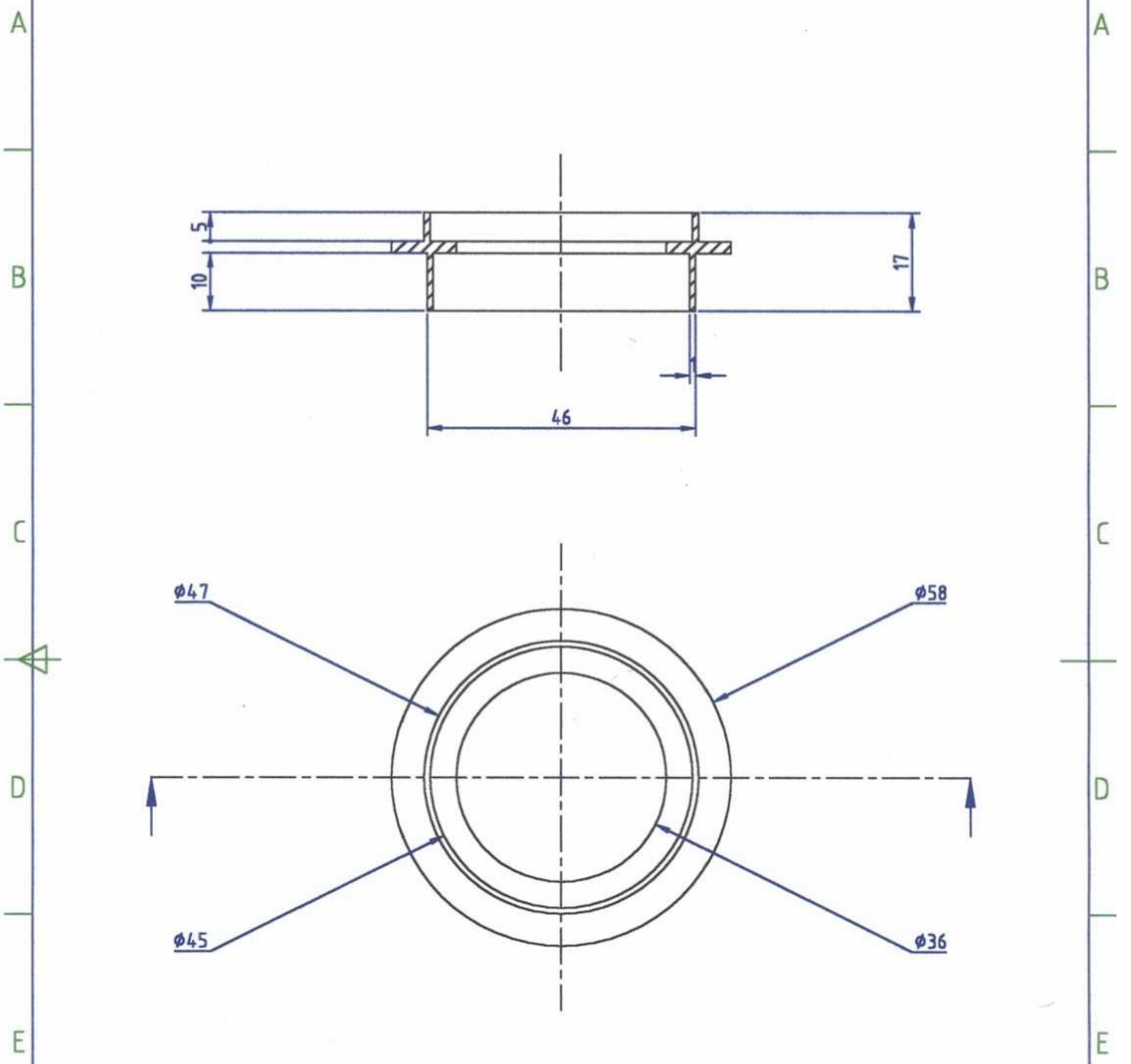
1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename Aileron	Date année 2000/01	Scale 1:1
Estaca Space Odyssey			Découpe Aileron		
			1	Edition 1	Sheet 1/1



1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename BagResPVC	Date année 2000/01	Scale 1:1
Estaca Space Odyssey			Bague Ressort-PVC		
			1	Edition 1	Sheet 1/1

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked

A

A

B

B

C

C

D

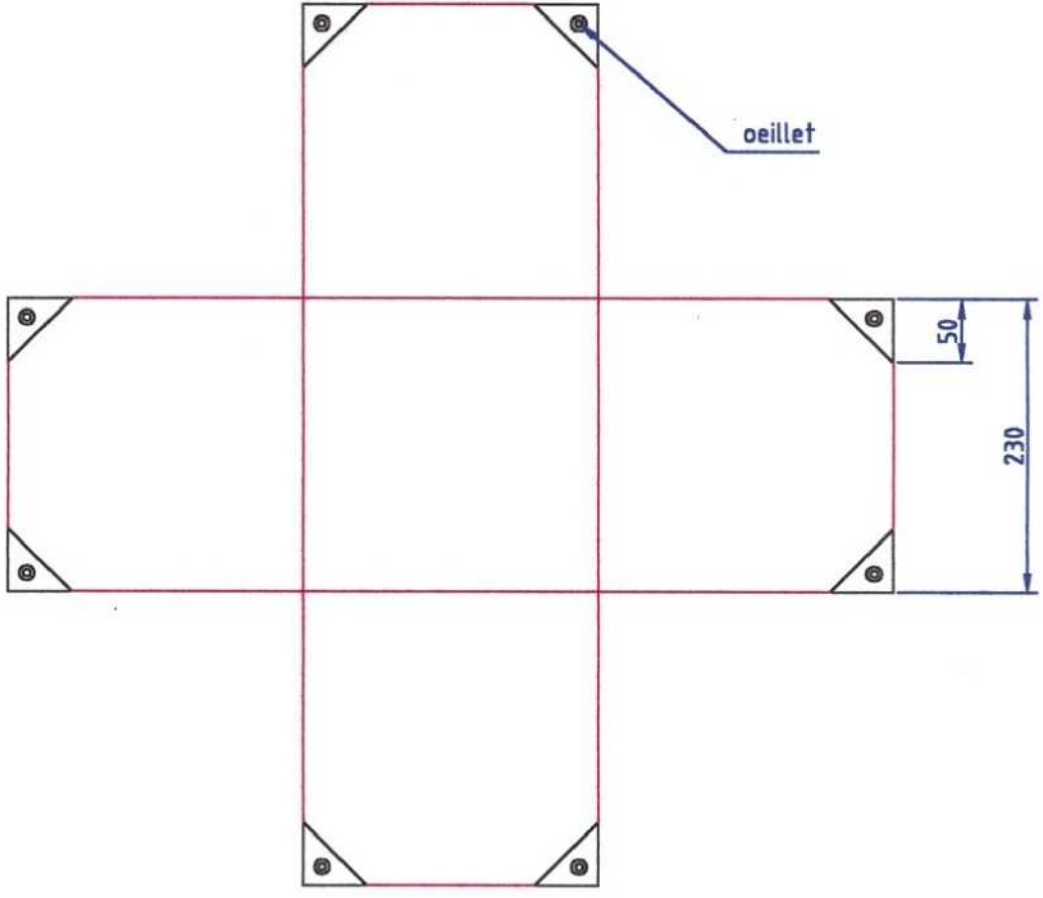
D

E

E

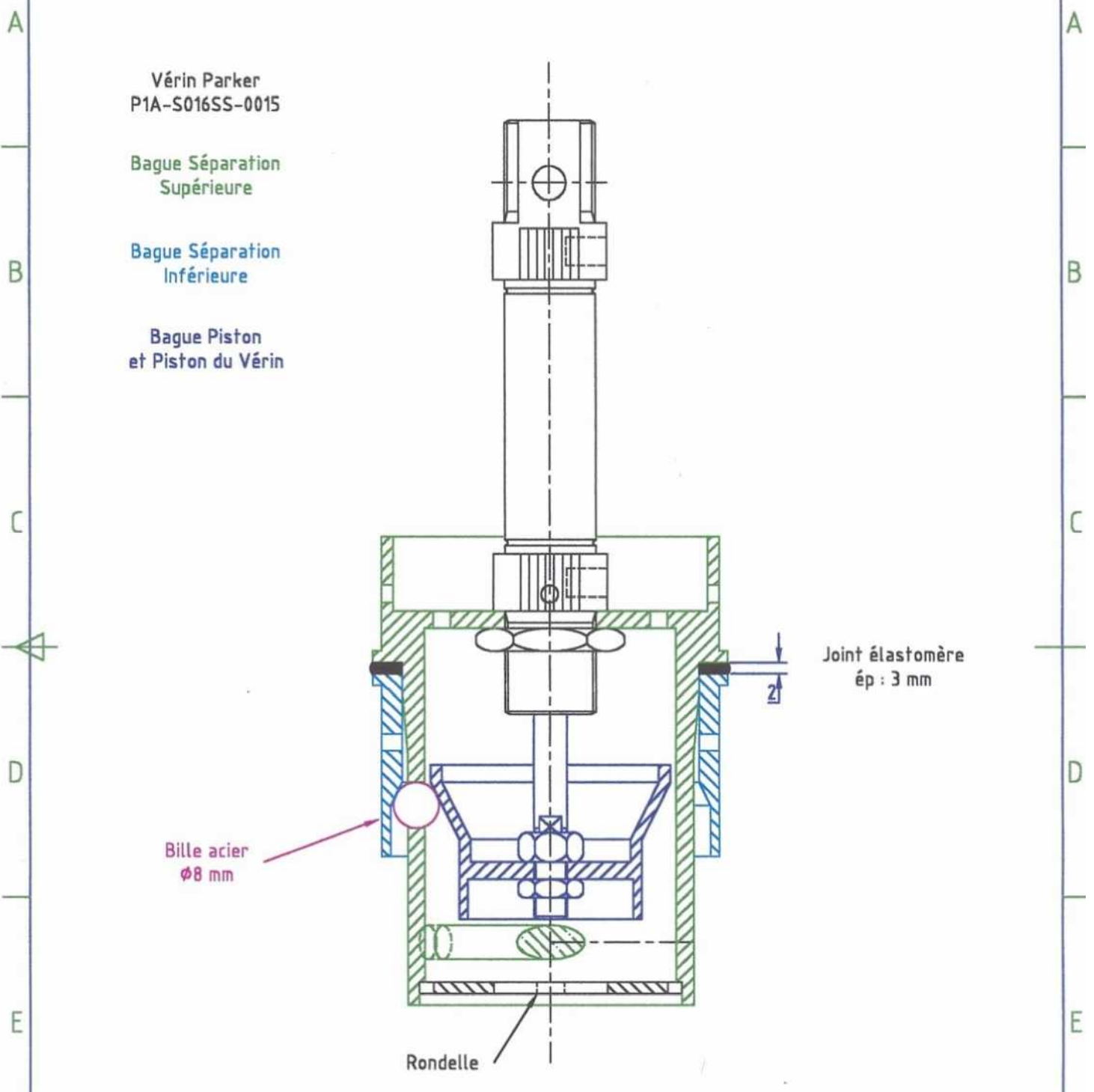
F

F



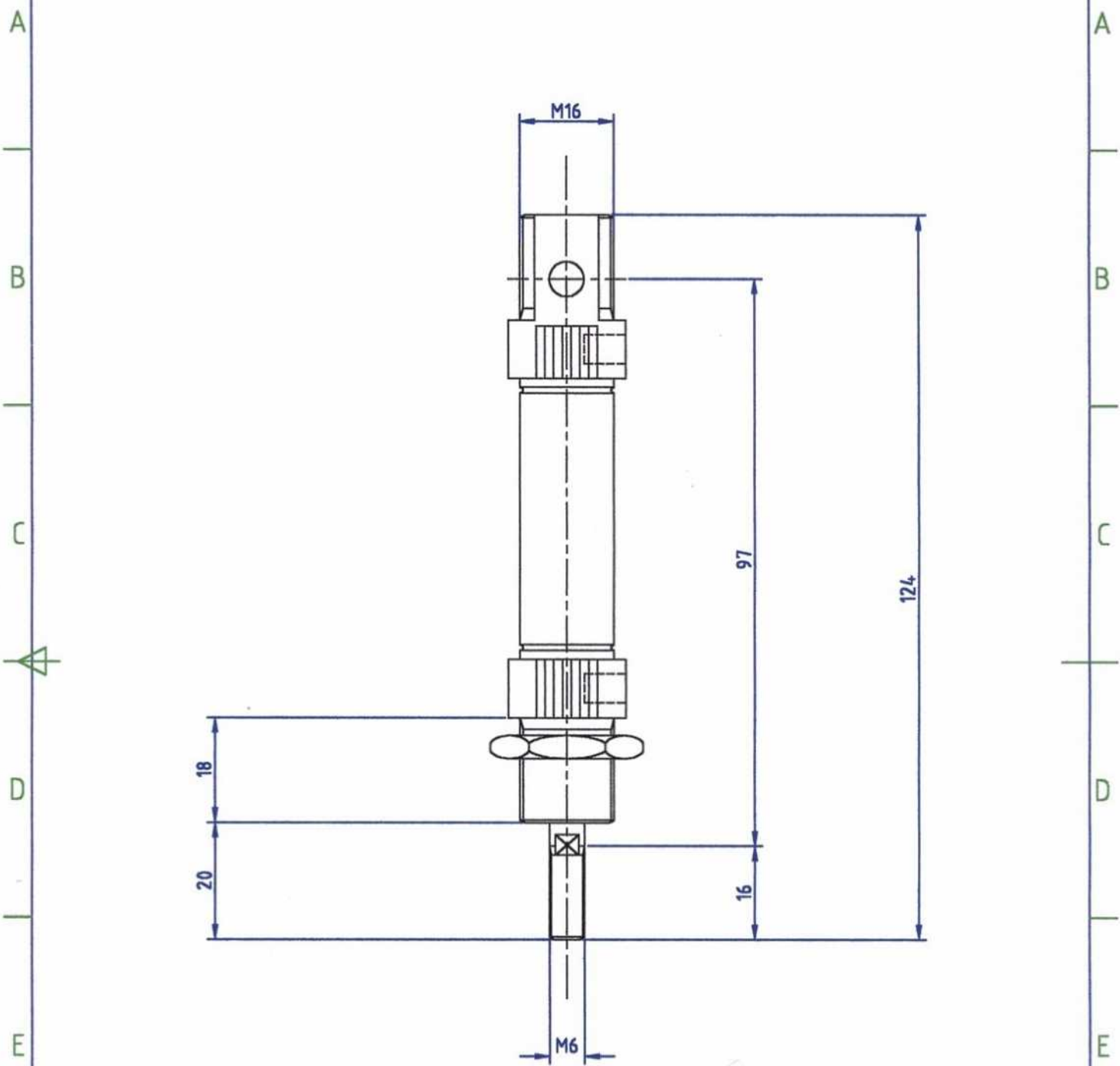
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename Parachute	Date année 2000/01	Scale 1:6
Estaca Space Odyssey			Parachute		
			1	Edition 1	Sheet 1/1

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



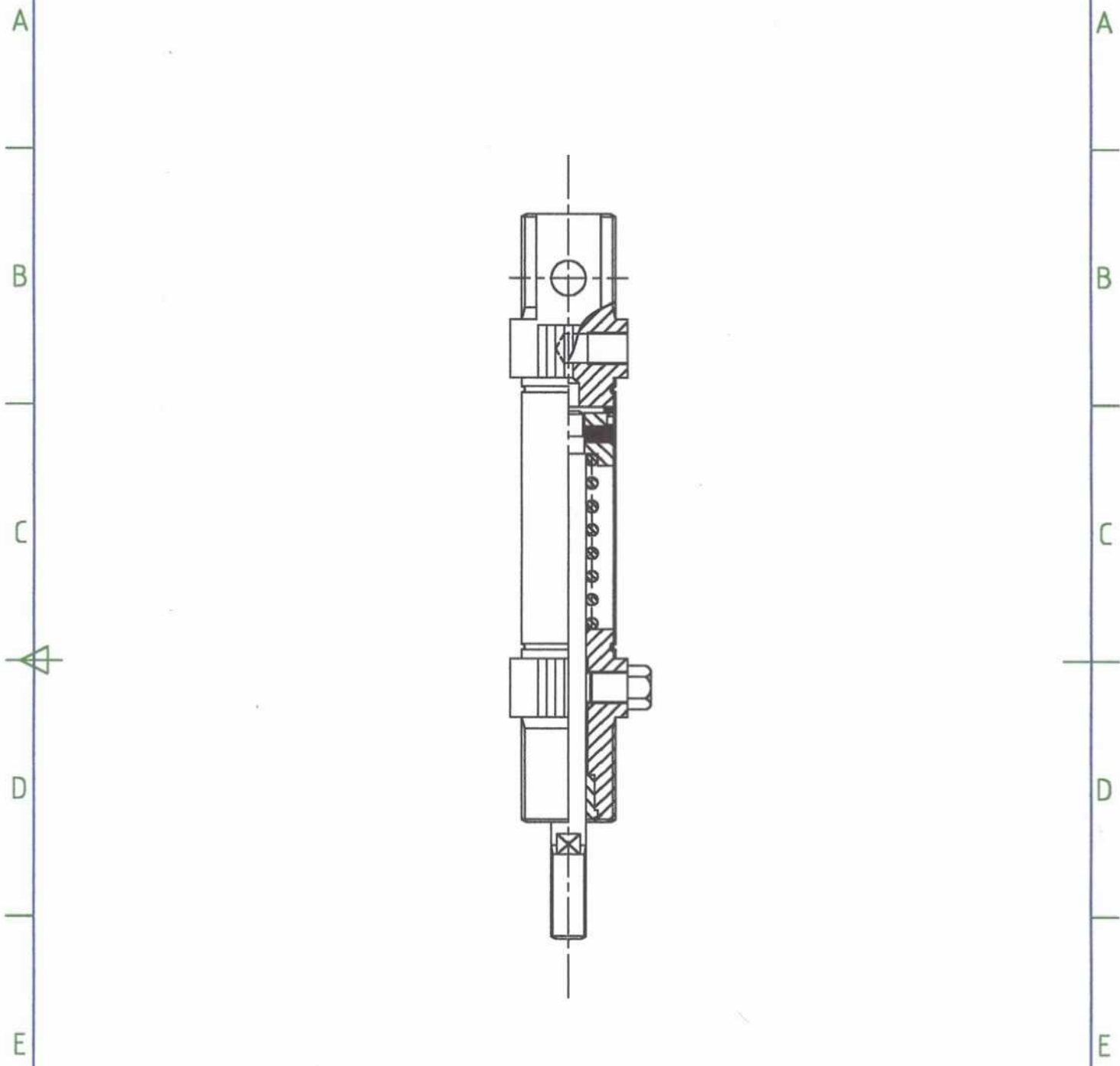
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename Sepa	Date année 2000/01	Scale 1:1	
Estaca Space Odyssey			Séparation Pneumatique			
			1	Edition 1	Sheet 1/1	

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



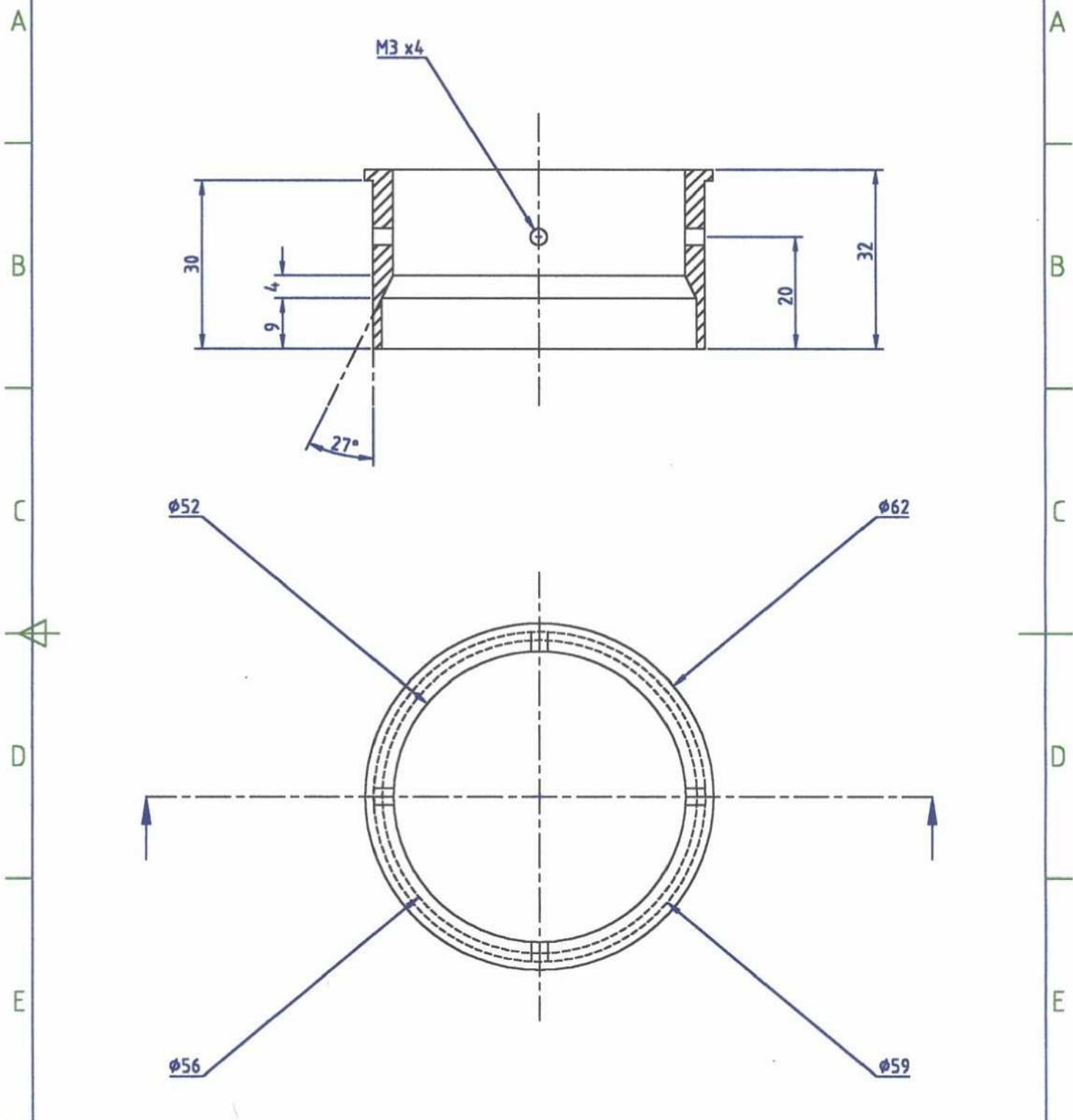
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename VeParker	Date année 2000/01	Scale 1:1
Estaca Space Odyssey			Micro-Vérin Parker		
			1	Edition 1	Sheet 1/1

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename VeParker2	Date année 2000/01	Scale 1:1
Estaca Space Odyssey			Schéma Vérin Simple Effet		
			1	Edition 1	Sheet 1/1

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename BagSepIn	Date année 2000/01	Scale 1:1
Estaca Space Odyssey			Bague Séparation inférieure		
			1	Edition 1	Sheet 1/1

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked

A

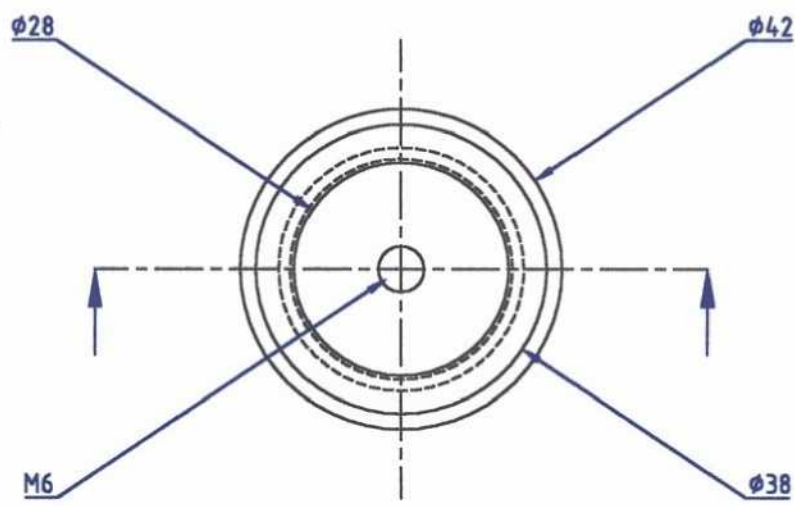
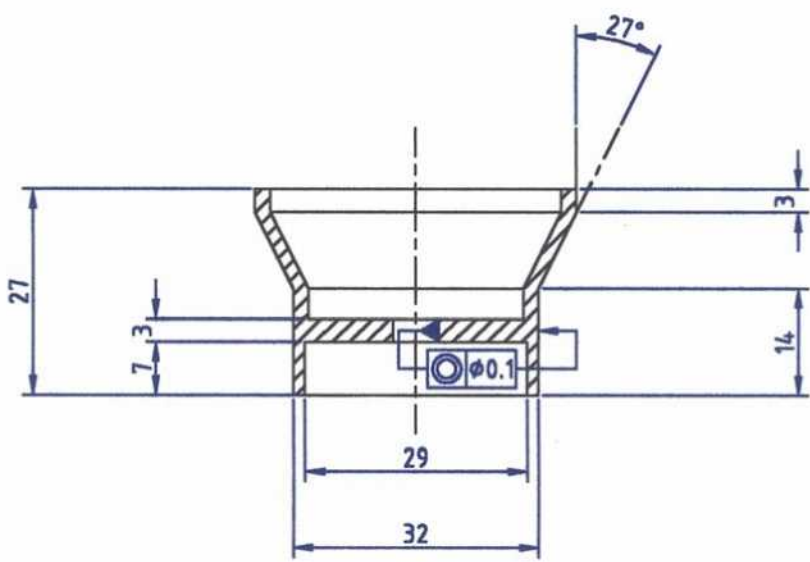
B

C

D

E

F



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename BagPiston	Date année 2000/01	Scale 1:1
Estaca Space Odyssey			Bague Piston		
			1	Edition 1	Sheet 1/1

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked

A

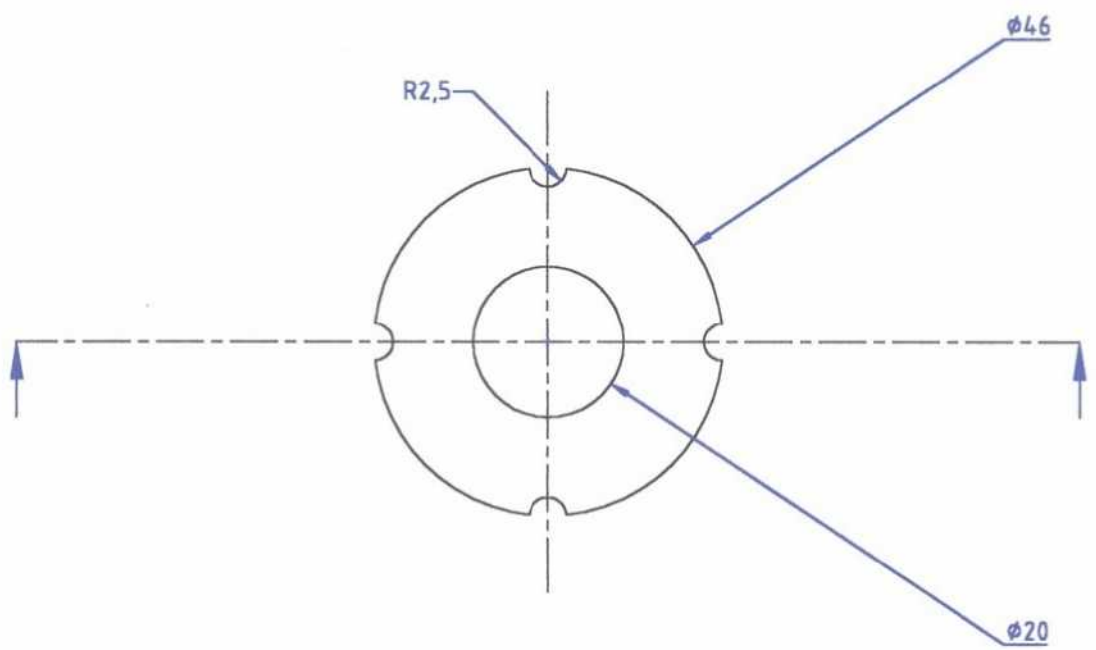
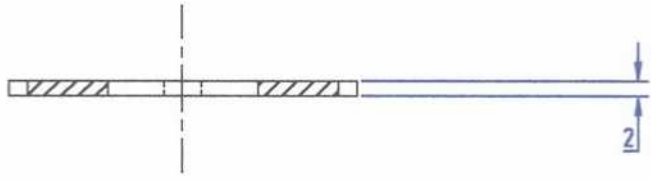
B

C

D

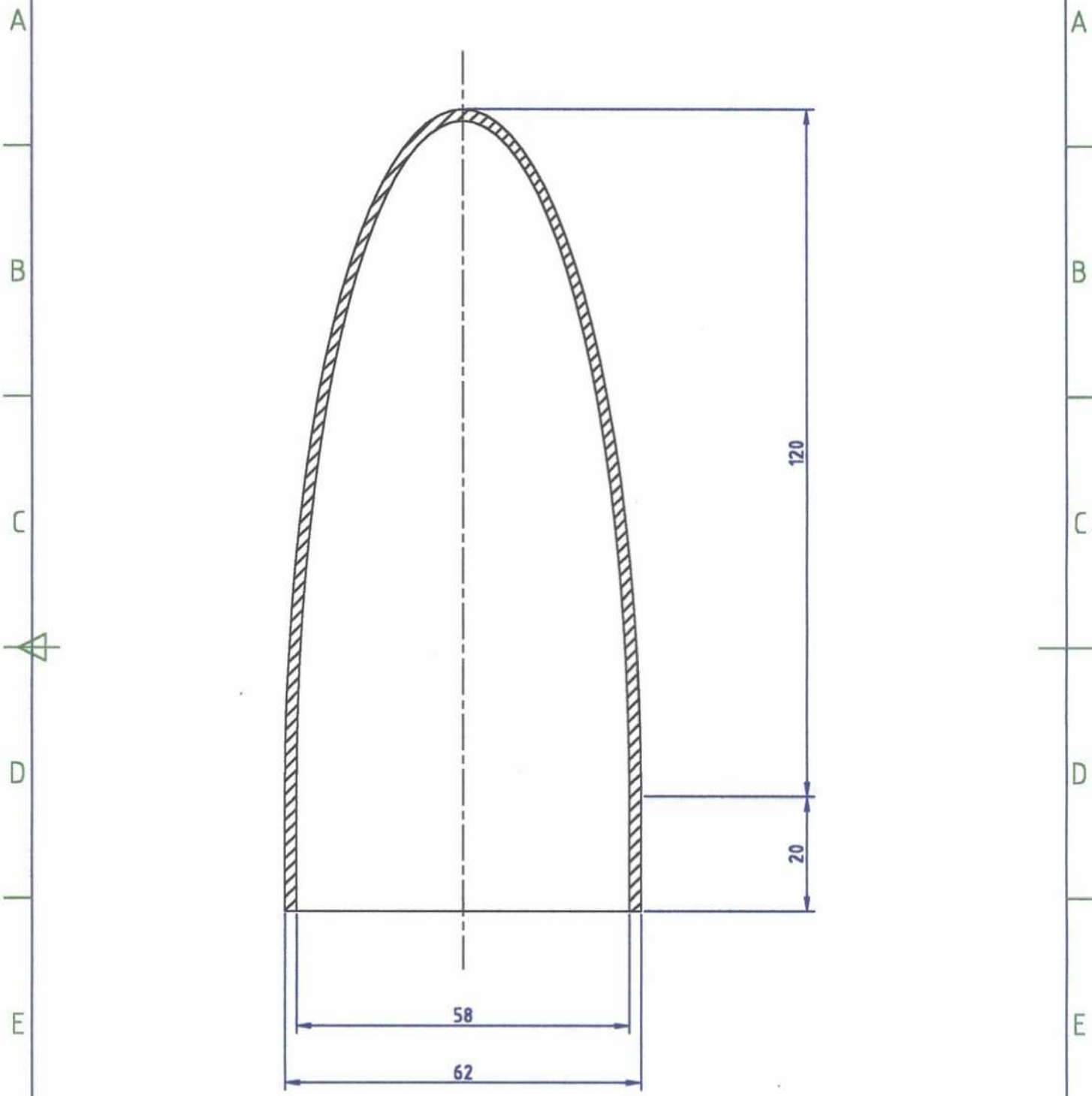
E

F



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename Rondelle	Date année 2000/01	Scale 1:1	
Estaca Space Odyssey			Rondelle			
			1	Edition 1	Sheet 1/1	

1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature
			Checked

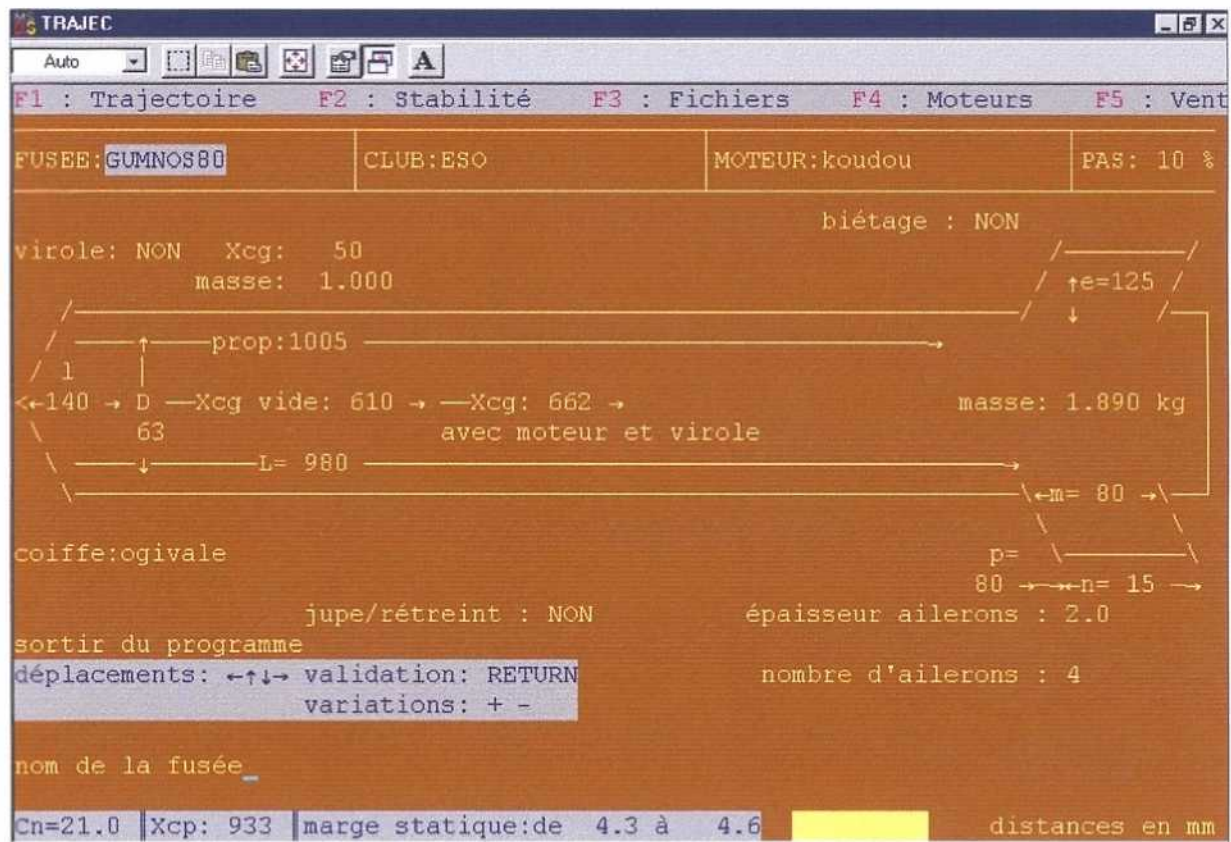
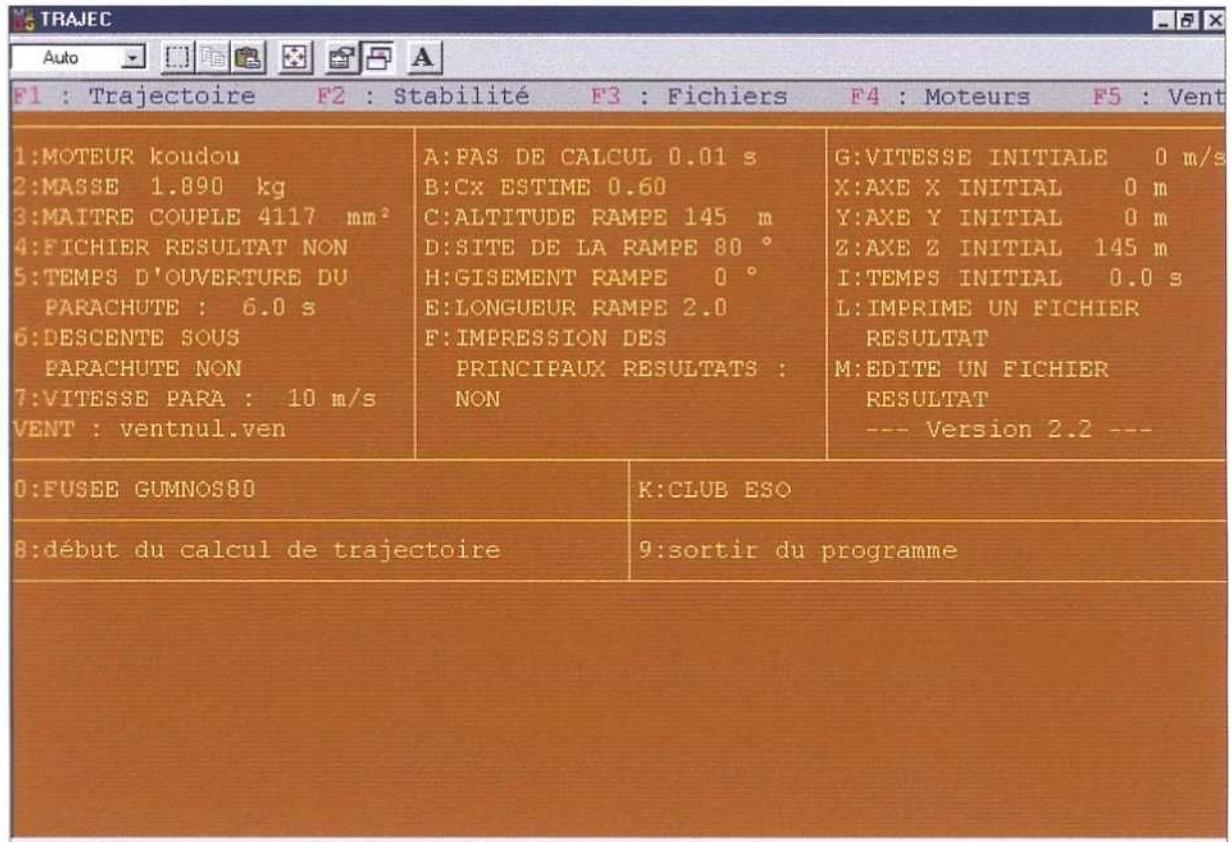


Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by Heslouin	Checked by Joannès	Approved by - date Joannès - 2001	Filename Ogive	Date année 2000/01	Scale 1:1
Estaca Space Odyssey			Ogive en PMMA		
			1	Edition 1	Sheet 1/1



Annexe 2 :
Simulation sous « trajec ».







Annexe 3

Répartition de la masse.



La masse de chaque composant est donnée en grammes :

Niveau 0		Niveau 1		Niveau 2		%M fin prod.
Partie supérieure	900	Electronique	192	Carte séquen. & fils	100	5.6%
				Piles (9V x 2)	92	5.1%
		Peau	210	Fibre de verre 120	120	6,7%
				Ogive	90	5,0%
		Pièces aluminium	299	Bag. sépa. Sup. 125	125	6.9%
				Bague Ogive	45	2,5%
				Bague piston	20	1,1%
				Billes (3)	9	0.5%
				Rondelle, tige para.	20	1.1%
				Structure (tiges)	80	4.4%
				Supports divers	34	Support "Jack"
		Support piles	20			1.1%
		Syst. pneumatique	165	Accessoires	10	0,6%
				Clapet anti-retour	7	0.4%
				Electrovanne	38	2,1%
				Vérin	110	6,1%
Partie inférieure	770	Peau	95	Fibre de verre	95	5,3%
		Pièces aluminium	415	Bag. sépa. Inf,	45	2.5%
				Bague ailerons	370	20.6%
		Système d'éjection	260	Bague coquilles	15	0,8%
				Coquilles (2)	76	4,2%
				Parachute	44	2,4%
				Ressort	125	6.9%
Propulseur (plein)	220					
Propulseur (vide)	130				7,2%	

Electronique	10,7
Peau	16,9%
Pièces aluminium	41,6%
Propu (vide)	7,2%
Système d'éjection	4,4%
Sys pneumatique	9,2%

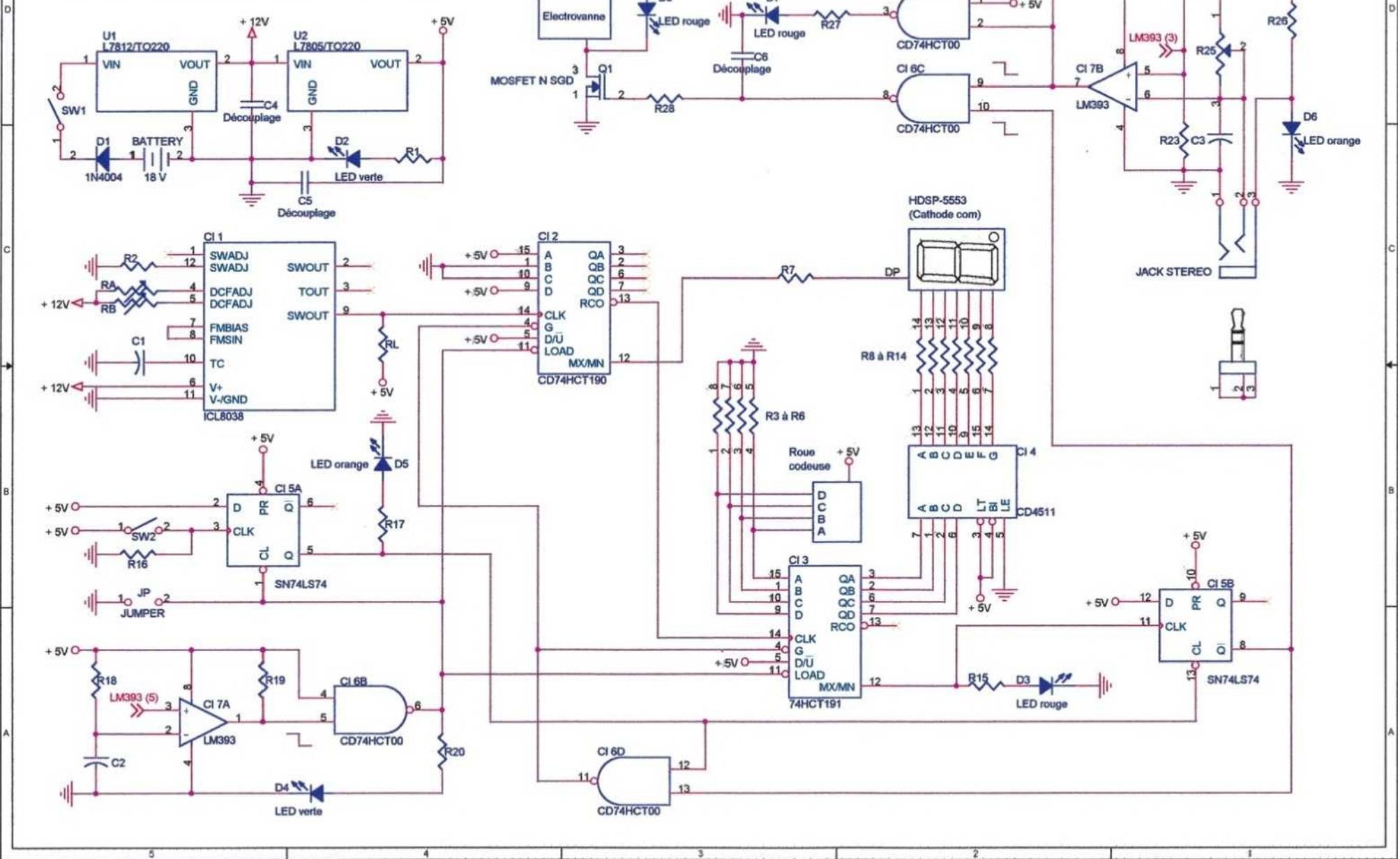


Annexe 4

Schéma de principe.



Title		
Séquenceur Gumnos		
Size	Document Number	Rev
A4	1	1
Date:		Sheet 1 of 1



Liste des composants du circuit :

CI 2	ICL8038
CI 2	74HCT190
CI 3	74HCT191
CI 4	CD4511
CI 5	74LS74
CI 6	74HCT00
CI 7	LM393
C1	0,68 microF
C2, C3	100 microF
C4, C5, C6	Découplage 100 nF
DI	1N4004
D2, D4	leds vertes (2 mA)
D3, D7, D8	leds rouges (2 mA)
D5, D6	leds oranges (2 mA)
JP	Jumper
J2	Jack stéréo
Q1	Mosfet N BUZ10
RA	ajust. 94 K
RB	ajust. 2,7 K
R19, R21, RL	4,7 K
RI, R7, R25, R26, R17, R20, R26, R27, R3 à R6, R8 à R14	1,5K
R2	82 K
R18, R22, R24	10K
R23	15 K
R25	ajust. 200 K
R28	1 K
R29	5,1 K
SW1	Interrupteur général
SW2	Contacteur bas profil
U1	7812 / TO220
U2	7805 / T0220

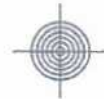
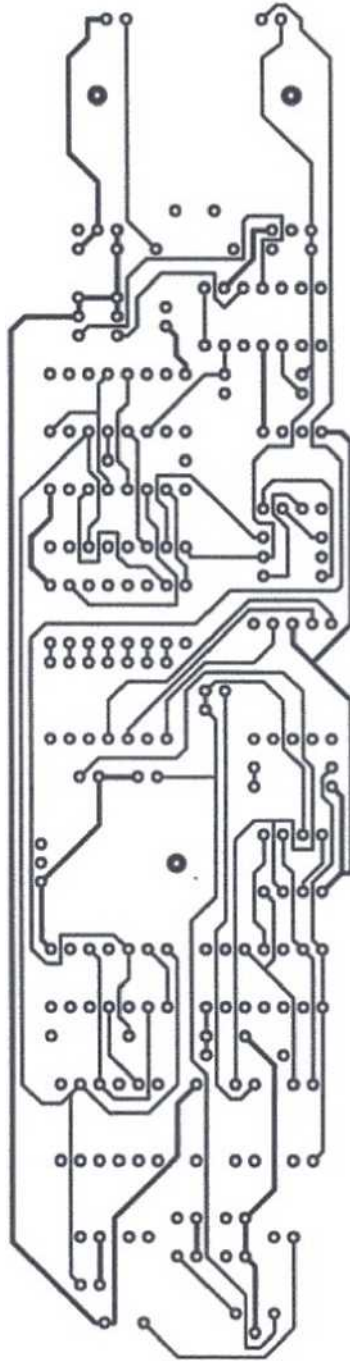


Annexe 5 :

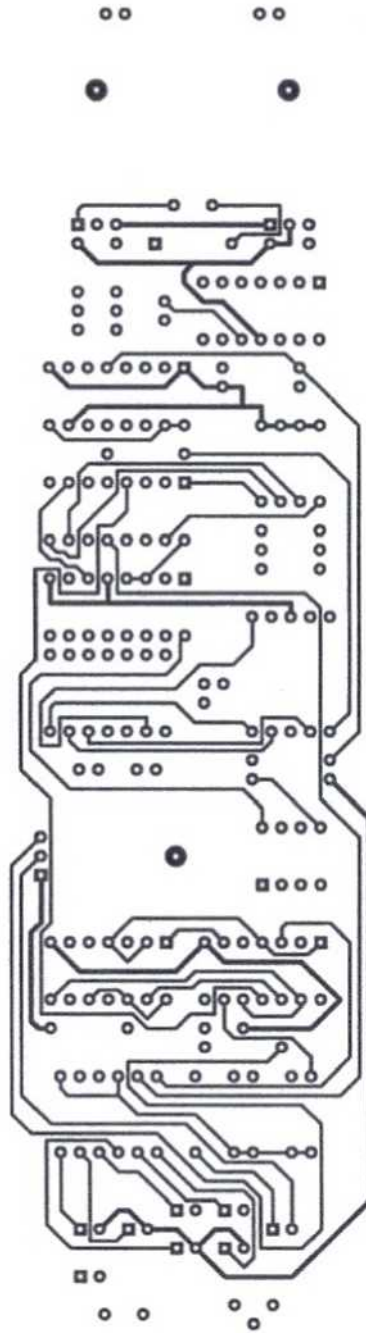
Routage et implantation des composants.



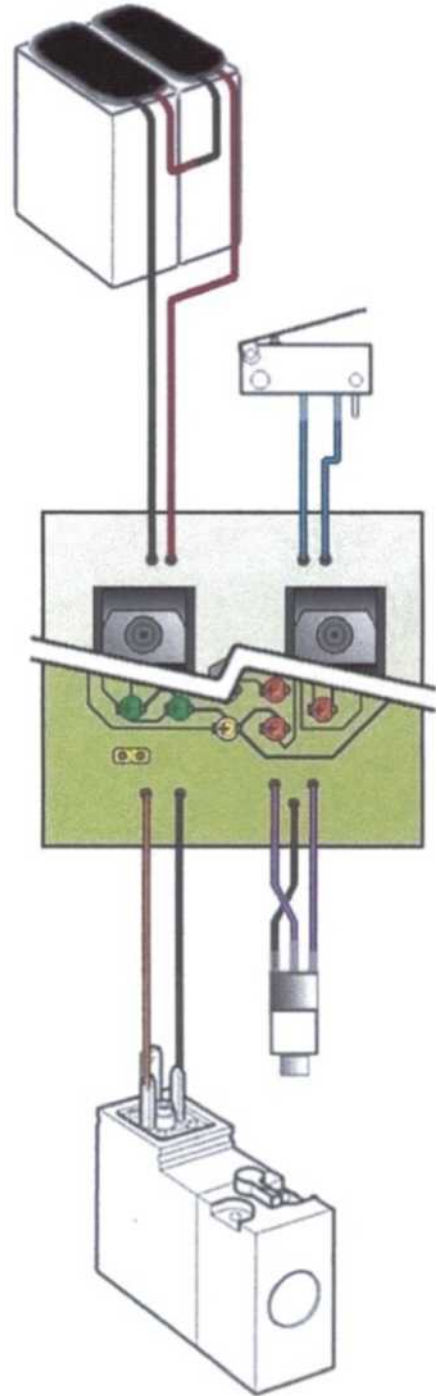
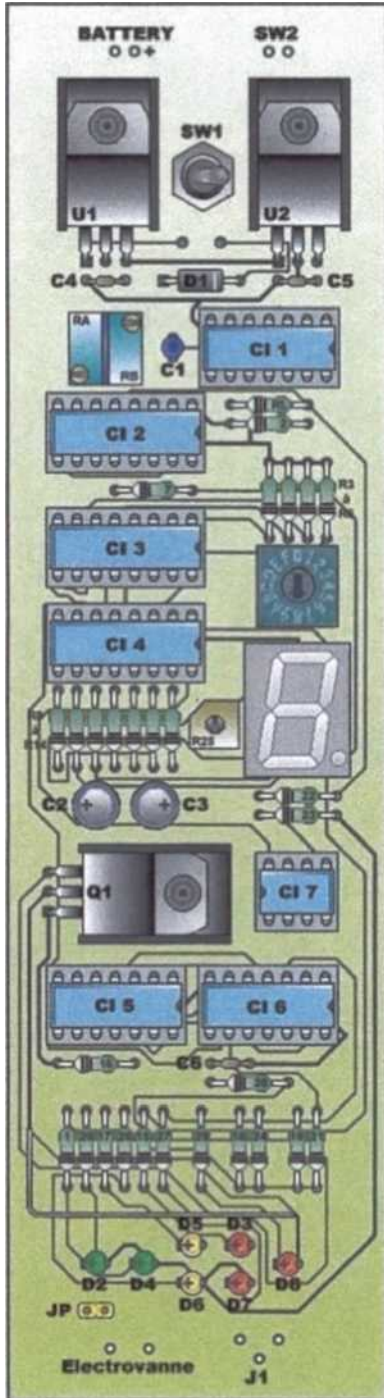
Côté pistes :



Côté composants :



Implantation des composants et câblage :



FICHE DE LANCEMENT MINI FUSEE

Nom de la fusée : Gummos

Nom du club : E50

Membres de l'équipe :
(précisez le chef de projet en premier)

Sebastien

Richard

Remarques diverses :

Pneumatique

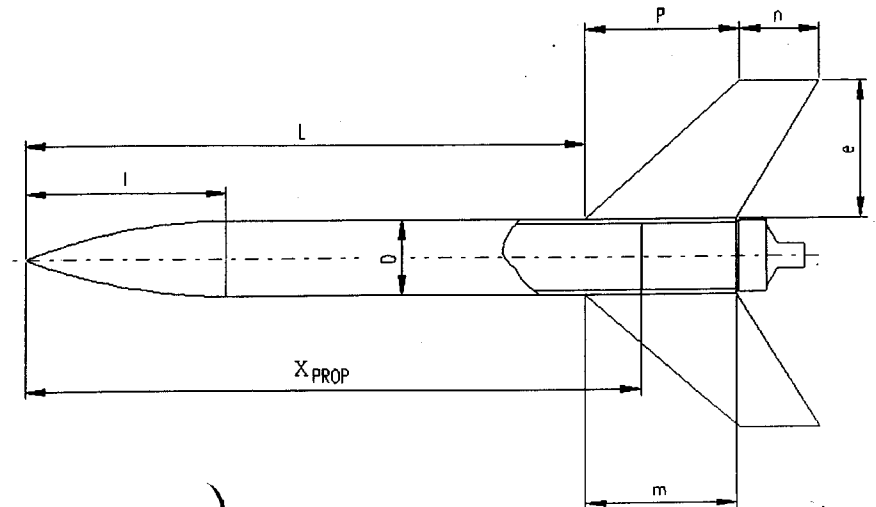
2 minuterics

CARACTÉRISTIQUES DE LA FUSÉE

DONNÉES	
Cx	0,6
Type ogive	Ogivale
Longueur ogive l	140 mm
Diamètre D	63 mm
Longueur L	985 mm
N ^{bre} ailerons	4
e	125
m	80
n	15
p	80
Epaisseur ailerons	2
Masse M	1,6000 kg
X _{CG}	615
Type propulseur	Koudou
X _{PRO}	1003
Cn	21,0
MS	4,3 à 4,6

DONNÉES	
Type d'initialisateur	Jack et Accéléto
Couleur fusée	Noir
Type de rampe	Rampe
Longueur de rampe	2
Type de ralentisseur	Parachute
Couleur du ralentisseur	Rouge
Surface de ralentisseur	0,2645 m ²
Type d'éjection	Transversale

RÉSULTATS		
Angle de lancement	70°	80°
Temps de culmination	6,4	6,7
Vitesse de culmination	27	11
Altitude culmination	210	220
Vitesse maximale	70	70
Accélération maximale	408	408
Vitesse parachute	9,55	
Portée balistique	252	136



FICHE DE CONTROLE POUR MINI-FUSEE

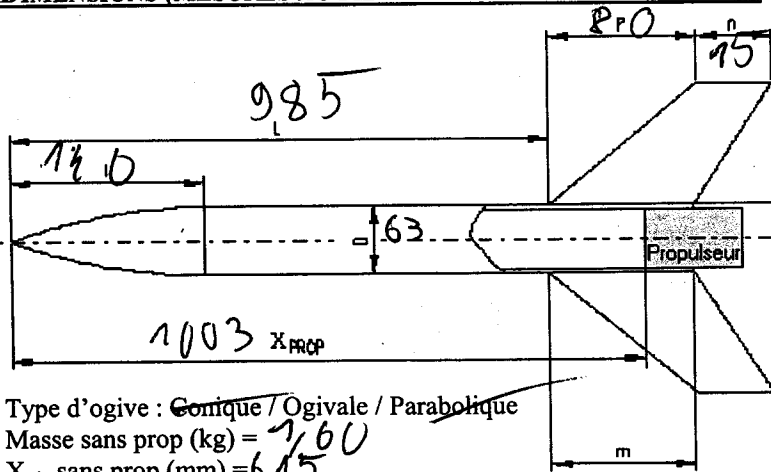
NOM DU CLUB : E.S.O.

NOM DU PROJET : Gumano

NOMS DES PARTICIPANTS :

NOMS DES CONTROLEURS : Sylvain JOLLY

DIMENSIONS (MESURES AU PIED A COULISSE ET AU REGLET) :



Propulseur : KOUDOU ~~KARIACOU~~ ~~WAPITI~~
 Rampe : IDEFIX ~~RAIL~~

Type d'ogive : ~~Conique~~ / Ogivale / Parabolique
 Masse sans prop (kg) = 1,60
 X_{cdg} sans prop (mm) = 615
 Ailerons : E_p (mm) = 2 ; Nombre = 4
 Couleur(s) Fusée : noir bandes bleues
 Couleur(s) Ralentisseur : rouge

Accél _{max} (m/s ²)	= <u>408</u>	
V _{max} (m/s)	= <u>70</u>	
Angle	80°	70°
Culmination (m)	<u>220</u>	<u>210</u>
Culmination (s)	<u>6,700</u>	<u>6,390</u>
Temps de vol avec parachute (s)	<u>30,98</u>	<u>28,76</u>
Surface Ralentisseur (mm ²)	= <u>0,2615 m²</u>	

RESULTATS :

GN1	Respect des interdits	<u>OK</u>	VL3	Axe longitudinal	<u>OK</u>
GN1	Eléments reliés (si utile)	<u>OK</u>	VL3	Respect du gabarit	<u>OK</u>
GN2	Inflamateur présent	<u>OK</u>	VL3	Solidité des ailerons	<u>OK</u>
GN2	Inter. Sécurité (si utile)	<u>OK</u>	VL4	V _{sortie rampe} <small>>18 m/s si Wapiti >20 m/s si Koudou</small>	<u>34 m/s OK</u>
GN3	Compatibilité Rampe	<u>OK</u>	VL4	10 < finesse < 25	<u>16,82 OK</u>
GN3	Accès aux commandes	<u>OK</u>	VL4	15 < C _n < 30	<u>21,0 OK</u>
GN4	Autonomie (> 15 mn)	<u>OK</u>	VL4	1,5 < Ms < 7	<u>4,13 à 4,60 OK</u>
GN4	Inter. M/A	<u>OK</u>	VL4	Flèche < 2%	<u>OK</u>
VL1	Chronologie	<u>OK</u>	RC1	5 < V _d < 15 m/s	<u>9,55 OK</u>
VL2	Montage propulseur	<u>OK</u>	RC2	Temps de retard	<u>7 OK</u>
VL2	Jeu de montage	<u>OK</u>	RC3	Solidité ralentisseur	<u>OK</u>
VL2	Plaque de poussée	<u>OK</u>	RC4	Trappe conforme	<u>OK</u>

En grisé : contrôles à effectuer avec un lanceur minif. Pour les critères en italique-gras, précisez une valeur.

La fusée est qualifiée : OUI, portée balistique (à 70° et à 80° d'inclinaison) :

NON, pourquoi :

Lieu, date, nom et signature du contrôleur référant et du lanceur minif :

LE CONTROLEUR Sylvain JOLLY LE LANCEUR MINIF Hervé STANIC
23/08 Muller

Pour toute remarque ou question :

Chronologie de GUMNOS

- H-60 mn :** Arrivée sur l'aire de lancement.
- H-45 mn :** Lecture de la chronologie.
- Mise en place du parachute dans les coquilles.
 - Mise en place des piles neuves.
 - Vérification du temps de la minuterie.
 - Fermeture de la fusée (ne pas mettre l'ogive).
 - Vérifier que le « Jack » est bien branché (Allumer et éteindre la minuterie en vérifiant que la led 4 reste éteinte).
 - Vérifier que l'interrupteur est sur « Off » (leds éteintes).
- H-30 mn :** Descente sur rampe sans oublier le matériel suivant :
- Pompe et embout.
 - Clef de 3.
 - Clef de 2.
 - Tournevis.
 - 4 billes de rechange.
 - *Cordon Jack*
- H-15 mn :** Derniers réglages :
- Vérification de la pression du vérin (entre 8 et 10 bars).
 - Fixation ogive.
 - Mise en place du propulseur par l'artificier.
- H-12 mn :** Le groupe remonte sauf Richard et Sébastien.
- H-10 mn :** Fixation du cordon « Jack » sur la rampe.
- H-7 mn :** Sébastien met la carte sous tension.
Vérifier que seules les leds vertes sont allumées (leds 1 et 2).
Attendre 20 s pour s'assurer qu'aucun processus n'est déclenché.
- H-5 mn :** Evacuation de la rampe et armement du propulseur par l'artificier.
- H-1 mn :** Le pyrotechnicien rejoint le poste de lancement ~~accompagné de Sébastien.~~
- H-10 s :** Décompte final.
- H-0 :** Sébastien appuie sur le bouton de mise à feu.