

HERNÉ BURCEO

PHILIPPE NOURY

DAUMENT RENAUD

GUILLAUME SMET

PROJET CARUS

REPORTING JUIN 2000

Etude de l'impact du profil d'une fusée sur ses caractéristiques aérodynamiques

Rapport intermédiaire



Projet n° 88 de la promotion 2002

Tuteurs :
Michel Geron (scientifique)
Frédéric Plaza (scientifique)
Anthony Moulin (SHS)

Participants :
Iguacel-Lisa Ingrid
Noury Philippe
Regnault Laurent
Smet Guillaume

RÉSUMÉ	3
ABSTRACT	4
PRÉSENTATION DU PROJET	5
RAPPORT SCIENTIFIQUE	6
I ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	7
II RAPPORT DE L'EXISTANT	8
III CAHIER DES CHARGES	9
III.A. LE MODÈLE	9
III.B. LA MAQUETTE	9
III.C. LE PROGRAMME	9
IV PROPOSITION DE SOLUTION	10
IV.A. LE MODÈLE THÉORIQUE	10
IV.B. LE PROGRAMME (E/S)	12
IV.B.1. Les entrées	12
IV.B.2. Les résultats	14
V PLANNING	15
V.A. IDENTIFICATIONS DES TACHES	15
V.B. PLANNING	15
VI PRÉVISION DES BESOINS	18
VI.A. DÉPENSES	18
VI.B. PARTENARIAT	18
VII CONCLUSION	19
VIII ANNEXE 1 : STABILITÉ DE LA FUSÉE	20
VIII.A. COMPORTEMENT EN VOL ET CRITÈRES DE STABILITÉ	20
VIII.A.1. Stabilité	20
VIII.A.2. Instabilité :	21
VIII.A.3. Surstabilité :	21
VIII.A.4. Indifférence :	22
VIII.A.5. Critères de stabilité	22
VIII.B. ÉVALUATION DE LA STABILITÉ	22
VIII.B.1. Centre latéral de poussée (Clp).	22
VIII.B.2. Coefficient de portance	23
VIII.B.3. Cas des jupes et des retraits :	23
IX ANNEXE 2 : CALCUL PAS À PAS	24
IX.A. CONTEXTE ET HYPOTHÈSES DE CALCUL	24
IX.B. DÉTERMINATION DE LA POSITION DE LA FUSÉE \bar{X}_n	24
IX.C. DÉTERMINATION DE LA MASSE M_N	24
IX.D. DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DE L'AIR P_N	25
IX.E. DÉTERMINATION DE LA FLÈCHE A_N	25
X ANNEXE 3 : PRÉVISION DU BUDGET POUR LE CAPTEUR	27

XI	ANNEXE 4 : SÉQUENCEUR NUMÉRIQUE	28
XI.A.	PRINCIPE DE BASE	28
XI.B.	PRÉVISION POUR LE SCHÉMA ÉLECTRIQUE	30
RAPPORT SHS		31
I	CONTEXTE INSTITUTIONNEL	32
II	CARTOGRAPHIE DE L'ÉQUIPE	33
II.A.1.	Guillaume SMET	33
II.A.2.	Ingrid IGUACEL-LISA	33
II.A.3.	Laurent REGNAULT	33
II.A.4.	Philippe NOURY	34
III	RÉPARTITION DES TÂCHES	35
IV	PROBLÈMES RENCONTRÉS	36
V	ANNEXE 5 : COMPTE RENDUS DES RÉUNIONS	37
V.A.	COMPTE RENDU DE LA SÉANCE DU 28/03/00	37
V.A.1.	Aspects techniques :	37
V.A.2.	Aspects communication	37
V.A.3.	Tâches à effectuer	37
V.B.	COMPTE RENDU DE LA SÉANCE DU 13/04/00	38
V.B.1.	Aspects techniques	38
V.B.2.	Aspects communication :	38
V.B.3.	Tâches à effectuer	38
V.C.	COMPTE RENDU DE LA SÉANCE DU 11/05/00	39
V.C.1.	Aspects techniques	39
V.C.2.	Aspects communication	39
V.C.3.	Tâches à effectuer	39
V.D.	COMPTE RENDU DE LA SÉANCE DU 25/05/00	40
V.D.1.	Aspects techniques	40
V.D.2.	Aspects communication	40
V.D.3.	Tâches à effectuer	40
BIBLIOGRAPHIE		41

Résumé

Le projet ICARUS, proposé par quatre étudiants du Centrale Lyon Cosmos, a pour objectif principal l'écriture d'un programme informatique susceptible d'évaluer le vol d'une fusée amateur en termes de stabilité et de trajectoire. La valeur que nous proposons d'ajouter à ce genre de programme, déjà existant, réside dans une prise en compte plus fine des paramètres aérodynamiques et dans la gestion des défauts de profil du fuselage. (ex : ajout d'une Webcam sur le fuselage).

Le travail que nous avons réalisé cette année comporte deux axes principaux.

Le premier, fondamental, a consisté en l'implémentation d'un environnement de travail adéquat : le projet, ouvert et pluridisciplinaire (mécanique du vol, des fluides, conception mécanique, informatique, électronique...) est l'occasion pour nous de développer les bases du travail en équipe, par exemple la répartition des tâches en fonction des affinités et des aptitudes, élaboration d'un planning, mise en place d'une mailing-list et d'un site web en vue d'optimiser la communication, recherche de contacts...

Le second, lui, s'est soldé par l'écriture d'un modèle théorique qui servira de base au programme informatique de prévision.

Abstract

The "Icarus" project, which has been proposed by four students of the "Centrale Lyon Cosmos" club, has for main objective the development of software able to evaluate the fly of a skyrocket in terms of stability and trajectory. As this kind of software already exists, we will perfect them by including an accurate assess of aerodynamic parameters and the management of defects over the rocket's body (for instance the addition of a Web cam).

The work we have made this year was composed of two main tasks :
On the one hand, we have to implement a suitable workspace : the project, large and multidisciplinary (fly and fluids mechanics, mechanical design, electronics, programmes-writing...) has been for us the opportunity to develop the basis of shift-working : tasks' sharing-out owing to affinities and skills, planning elaboration, creation of a mailing-list and a web site in order to optimise communication, contacts research.
On the other hand, we wrote the theoretical model that will enable our software development.

Présentation du projet

L'activité des fusées amateurs est strictement régie en France par l'Association Nationale Sciences Techniques Jeunesse (ci après dénommée ANSTJ). Celles-ci, pour être lancées doivent respecter certains critères (marge statique, portance) pour garantir leur stabilité et la sécurité des personnes présentes. Nous nous proposons d'évaluer avec précision ces critères d'après les caractéristiques techniques de la fusée.

D'après les cotations d'une fusée amateur, nous désirons prévoir sa trajectoire (position, vitesse, accélération, orientation en fonction du temps). Nous devons prendre en compte si possible l'effet de la présence d'un bourrelet sur la peau de la fusée au niveau de la trajectoire et des critères cités plus haut.

L'objectif final du projet est de mettre à la disposition de tous les clubs amateurs un moyen de calcul fiable de la trajectoire et des critères aérodynamiques, sous la forme d'un logiciel. L'aspect vraiment original du projet est en fait la prise en compte du « bourrelet » dans le calcul de la trajectoire. Cet aspect n'a jamais été abordé à notre connaissance et c'est en cela que repose l'intérêt pour les clubs amateurs.

Rapport Scientifique

I Etude bibliographique

✓ Nous avons d'abord commencé par étudier les rapports des anciens "projet fusée", seules sources disponibles. Même si nous déplorons qu'ils soient déjà vieux (--->leurs auteurs ont quitté l'école), ces derniers nous ont informés sur les démarches générales relatives à ce genre de projets, sur les principales difficultés, sur les sources que nous pourrions utiliser et sur de possibles contacts à l'extérieur.

✓ Rapport de projet: fusée expérimentale Mip-Mip mai 1995 (pp 13 à 24).

Tuteur: Me Salvia

Groupe de projet: Henri Kandem, Gil Pierson, Frédérik Rouleau, Olivier Sbaldi

Ce rapport nous a donné une piste de calcul des forces de traînée, de portance du fuselage et des ailerons de la fusée. Elle se base sur le calcul du potentiel des vitesses.

Le rapport étant succinct et les calculs non explicités, nous avons étudié la bibliographie du rapport.

✓ Par suite, la notice technique de l'ANSTJ a été déterminante en ce qui concerne l'évaluation de la stabilité, mais s'est révélée insuffisante en ce qui concerne les calculs de trajectoire à proprement parler. Néanmoins, c'est de cette plaquette que nous est venue l'idée d'appliquer une méthode numérique de calcul.

✓ Le document HTML contenait à peu de choses près des informations équivalentes à celles de la plaquette ANSTJ. (mais en anglais !)

✓ La notice de l'ONERA était quant à elle inadaptée à notre projet, puisqu'elle concernait les lanceurs spatiaux (ordres de grandeurs, approximations et problématique différents)

✓ Vu qu'il n'existait pas de solution toute faite à notre problème, nous avons dû nous pencher sur des ouvrages plus théoriques, afin d'acquérir les connaissances nécessaires à l'élaboration du modèle théorique. L'Universalis et le "Landeau-Lifchitz" nous ont sensibilisés aux méthodes de calcul d'efforts aérodynamiques, même si les textes qu'on y trouve sont très abstraits, et utilisent des notions mathématiques que nous ne maîtrisons pas (fonctions holomorphes, transformation conforme, analyse vectorielle pointue...).

✓ Théorie de la dynamique des fluides A.Bonnet J.Luneau (pp 208 à230 et 352 à 354)

Cet ouvrage nous a permis de calculer le potentiel des vitesses pour un corps élané en régime subsonique compressible en partant de l'équation potentielle linéarisée. En fait, la détermination du potentiel des vitesses permet la détermination de la vitesse en prenant le gradient. La connaissance de la vitesse nous permet de déterminer le coefficient de pression C_p (après application du théorème de Bernoulli). On peut enfin accéder aux efforts aérodynamiques exercés sur la fusée par intégration.

Nous avons ainsi pu prendre suffisamment de recul pour utiliser les formes linéarisées des efforts aérodynamiques, plus précises que les approximations généralement utilisées pour l'évaluation de ces efforts (avec des coefficients aéro. constants), mais néanmoins assez simples pour être utilisées efficacement dans une méthode numérique.

III Cahier des Charges

Le cahier des charges s'applique sur plusieurs points :

- ✓ le modèle de prévision
- ✓ la maquette
- ✓ le programme

III.A. Le modèle

D'après les cotations de la fusée et des informations sur son environnement, le modèle doit pouvoir prévoir :

- ✓ Position du Centre de poussée
- ✓ Portance
- ✓ Marge statique (Distance entre le centre de gravité et celui de poussée)
- ✓ La trajectoire et en tirer les éléments caractéristiques (vitesse en sorti de rampe, temps de culmination, portée balistique)

Une méthode de calcul doit être spécifiée et celle-ci ne doit pas être trop lourde. En effet le calcul doit pouvoir être accessible par la plus part des club français et étranger .

III.B. La maquette

La maquette servira à faire des essais en soufflerie, ses dimension doivent être compatible avec celle du conduit. (à préciser)

La maquette sera instrumentée de manière à pouvoir vérifier la validité des prévisions du modèle. De plus l'instrumentation doit pouvoir être facilement intégrée dans une fusée expérimentale, le vol de cette fusée servant de test final. Les restrictions se font au niveau de la taille, de l'alimentation et de la sensibilité aux parasites.

III.C. Le programme

Le programme de prévision doit avoir des entrées/sorties adaptées aux besoins (cf. V.B, E/S). Les résultats doivent pouvoir être affichés à l'écran et exportés vers Excel par exemple.

Le programme doit être exploitable sur de petites machines (486 ou Pentium 90). Son utilisation se doit d'être la plus CONVIVIALE possible sans rogner sur les autres parties (graphique, saisie de données pratiques, options accessibles, 'look', ...). Bref le logiciel devra être convivial tout en restant précis et efficace.

IV Proposition de solution

IV.A. Le modèle théorique

Nous en sommes actuellement à l'élaboration du modèle théorique qui servira de base à l'écriture du programme de prévision. Vue la difficulté de l'opération, nous avons préféré scinder le problème en deux étapes bien distinctes, traitées successivement.

✓ Evaluation de la stabilité intrinsèque de la fusée : cette évaluation est essentiellement basée sur la localisation du centre latéral de poussée, point en lequel s'exercent les forces aérodynamiques. On montre que si ce dernier est trop éloigné du centre de gravité, les forces aérodynamiques génèrent un couple tel que la fusée devient instable. Pratiquement, on va borner la marge statique $M_s = |X_g - X_{clp}|$ entre 1,5 et 6 (valeurs empiriques).

On va aussi s'efforcer de minorer la portance de la fusée : des résultats empiriques ayant fait leurs preuves montrent qu'une portance comprise entre 10 et 40 donne de bons résultats.

Le produit Portance par Marge statique (i.e. le couple appliqué) doit être compris entre 30 et 60

On voit ainsi que l'on peut évaluer qualitativement la stabilité du lanceur, et ceci à partir de considérations géométriques uniquement.

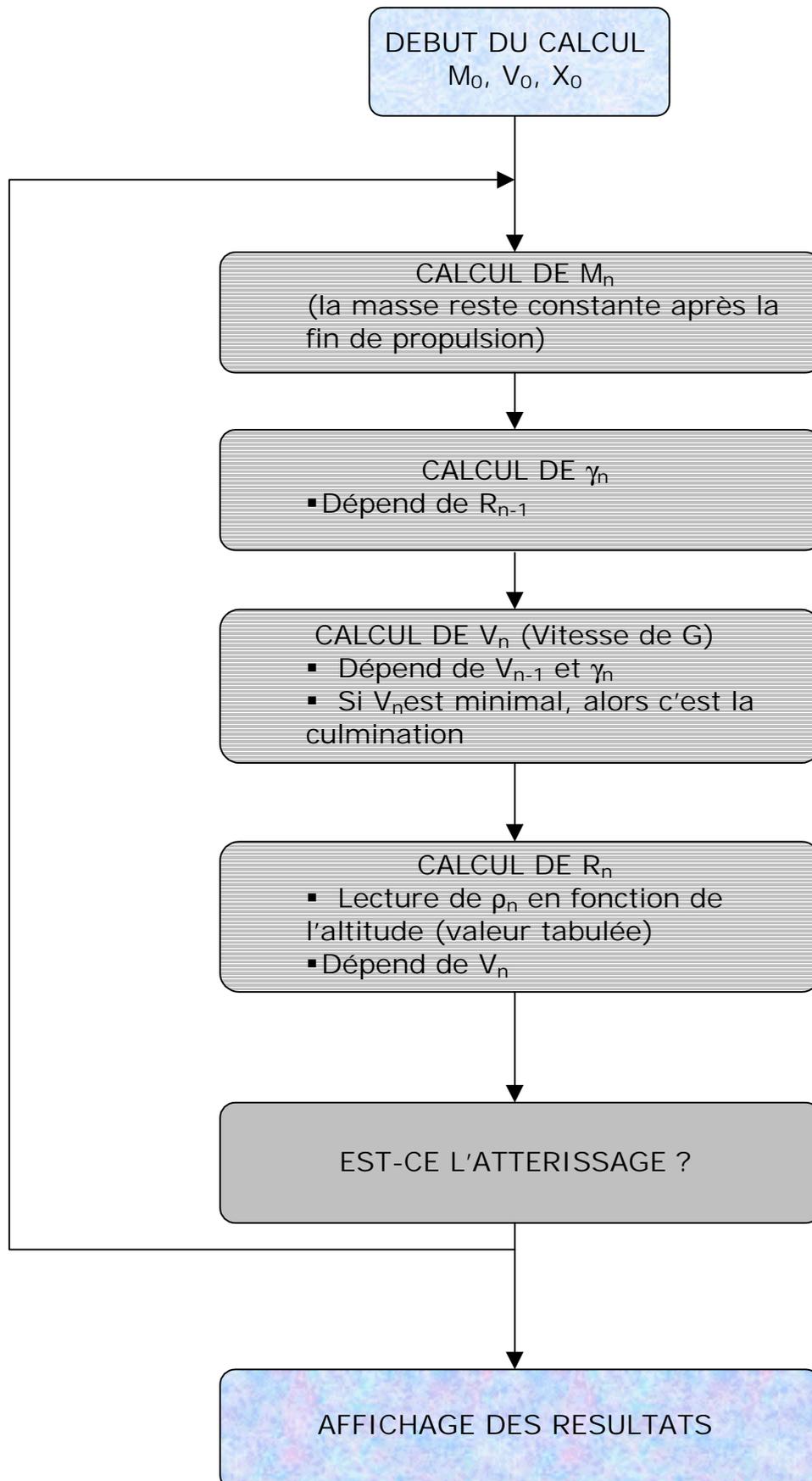
Cf annexe-1, stabilité de la fusée.

✓ La stabilité ayant été validée, le programme exécute la prévision de trajectoire. Compte-tenu de la complexité des grandeurs qu'il faut intégrer, nous avons opté pour une méthode numérique de calcul au pas à pas. Toutes les 10^{-2} secondes, le programme calculera les grandeurs caractéristiques du vol (position, vitesse, incidence et forces extérieures) en intégrant les 2 équations fondamentales de la dynamique (PFD et TMC), à partir des grandeurs caractéristiques calculées à l'itération précédente et en considérant qu'elles sont constantes sur cet intervalle de temps.

La plus grosse difficulté de ces calculs ne réside pas dans la complexité des équations, mais dans l'évaluation des forces aérodynamiques, traînée et portance, qui dépendent du champ de pression autour de la fusée et de l'incidence de cette dernière.

Cf annexe-2, le pas-à-pas, d'une itération à l'autre.

- ✓ Déroulement du calcul pas à pas



IV.B. Le programme (E/S)

Ce texte décrit les E/S qui devront être prises en charge par le programme.

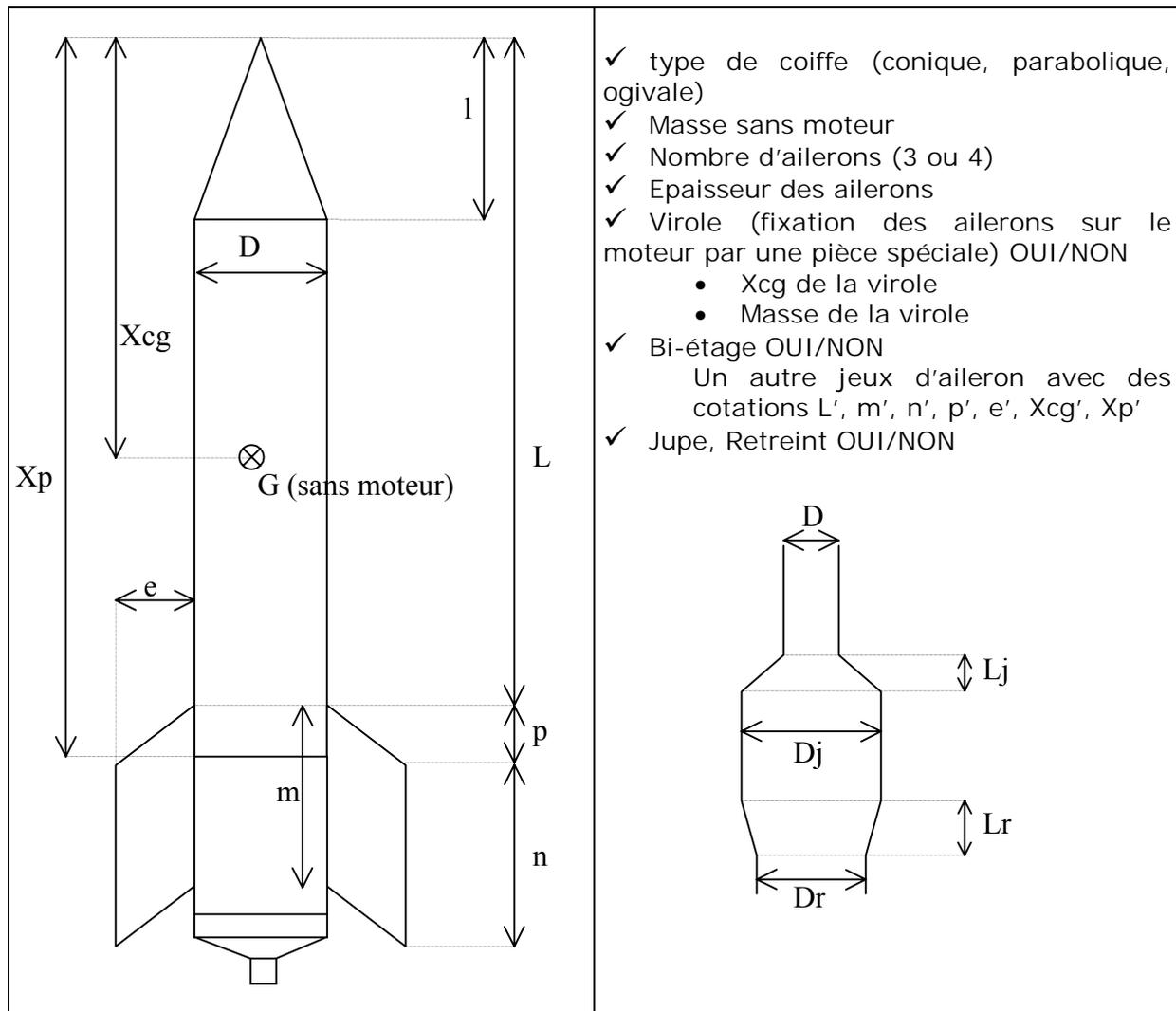
IV.B.1. Les entrées

IV.B.1.a Le propulseur

- ✓ la courbe de poussée en fonction du temps (plusieurs points judicieusement choisis reliés par des droites suffisent)
- ✓ masse de poudre
- ✓ masse totale
- ✓ centre de gravité vide
- ✓ centre de gravité plein
- ✓ impulsion totale
- ✓ emplacement des fixations pour la virole

Il est probable que notre logiciel reprendra les fichiers propulseurs de Trajec.

IV.B.1.b La fusée



✓ Divers

- Cx estimé
- Altitude de la rampe
- Angle de lancement
- Longueur de la rampe
- Vitesse initiale
- Position initiale
- Maître couple (calculé d'après les cotations)
- Vent
- Temps d'ouverture parachute
- Vitesse de descente sous parachute
- Descente sous parachute OUI/NON
- Pas de calcul

IV.B.2. Les résultats

IV.B.2.a Trajectoire

✓ Pour chaque incrément de temps :

- $Z-Z_0$
- V (m/s)
- X (m)
- Y (m)
- γ (m/s²)
- θ (angle par rapport à l'horizontale)

Remarque : les variables x,y,z ne sont pas les même dans l'annexe sur la stabilité

✓ Il faut aussi extraire différentes valeurs caractéristiques :

- temps de culmination
- vitesse en sortie de rampe
- fin de propulsion
- portée balistique
- portée maximale avec descente sous parachute

IV.B.2.b Autres

- C_n (portance)
- X_{cp} (centre de poussé)
- Marge statique

Ces éléments sont nécessaires pour la validation de la fusée par le cahier des charge.

V Planning

V.A. Identifications des taches

Il y a quatre grandes phases dans notre projet :

- ✓ La réalisation d'un modèle de prévision théorique, celui-ci pourrait être dérivé d'un modèle déjà existant.
- ✓ Essais dans une soufflerie (à priori celle du laboratoire d'acoustique de Centrale) pour vérifier quelques points du modèle.
- ✓ Programmation/rédaction d'un document technique.
- ✓ Partenariat avec le club fusée pour instrumenter une vraie fusée afin de valider par l'expérience le modèle.

La quatrième partie sera majoritairement réalisée au seins du club fusée de Centrale, avec qui nous collaborons. C'est pour cela qu'elle n'apparaîtra que très peu dans le planning.

V.B. Planning

VI Prévision des besoins

VI.A. Dépenses

Capteurs de pression (l'unité)	: 300F
Traitement du signal d'un capteur (amplification,...)*	: 200F
La maquette nécessitera entre 5 et 15 capteurs, soit	: 2500F-6500F
Gestion de tous les capteurs	: 2500F
Séquenceur numérique de la fusée*	: 530F
Emetteur	: 140F
Structure de la maquette	: 700F
Recette de la part de l'Ecole Centrale de Lyon	: ? ? ?F

* : un budget détaillé et les schémas sont disponibles en annexe 3 et 4

Ce budget est bien sûr à titre indicatif et ne saurait être définitif... cependant il atteint déjà entre 6400F et 10400F ! Nous sommes conscient qu'il y aura sûrement des frais supplémentaires non prévus, c'est pour cela que nous voulons chercher des partenaires et des sponsors (surtout au niveau des capteurs et de leur gestion).

Il est à remarquer qu'actuellement nous ne savons toujours pas sur quel montant nous pouvons compter de la part de l'école Centrale.

VI.B. Partenariat

Un partenariat avec le club fusée est nécessaire pour réaliser la fusée test car nous manquons de temps et de moyens. Le club nous laisse un large emplacement dans la fusée pour embarquer notre expérience et nous développons en contre partie le séquenceur numérique qui contrôle l'ouverture du parachute.

Nous allons faire des démarches auprès des constructeurs de capteurs et d'électronique pour avoir de meilleurs prix (c'est là que se situe le gros des dépenses !)

Une démarche doit aussi être faite vers les départements d'informatique, d'électronique et de conception de l'école.

VII Conclusion

Le problème de l'évaluation des forces était plus complexe que prévu, aussi le modèle théorique n'est-il pas encore assez précis et détaillé. Cependant le travail mené en parallèle sur l'électronique, la programmation nous permettra de gagner un temps précieux plus en aval du projet. C'est ainsi que nous avons été agréablement surpris d'obtenir les sources de Trajec 2.3 très vite (21H après la demande !). Le but est de compléter suffisamment le modèle pour que la programmation puisse commencer cet été.

VIII Annexe 1 : stabilité de la fusée

def : angle d'incidence=angle entre l'axe de la fusée et la vitesse de son centre de gravité.

def2 : une fusée est stable si elle retrouve naturellement sa position initiale lorsque, pour une raison quelconque, elle se met en incidence.

Les forces qui contribuent à la stabilité de la fusée sont celles qui s'exercent perpendiculairement à l'axe de la fusée :

- ✓ composante normale du poids, $P_n = Mg \sin(\alpha)$
- ✓ portance, composante normale de la résistance à l'air

Remarque : la dépendance quadratique de la portance par rapport à la vitesse conduit à négliger le poids pendant la majeure partie du vol, i.e. tout le temps sauf pendant le décollage (guidage sur la rampe) et la culmination, où le comportement est chaotique.

Ces forces vont induire un moment perpendiculaire à l'axe de la fusée, et vont donc influencer sur son incidence (Figure 1).

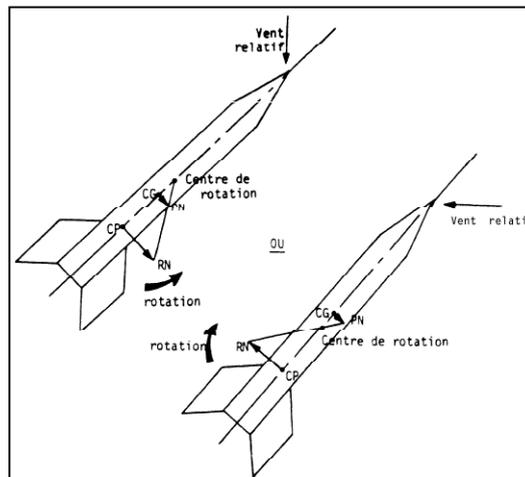
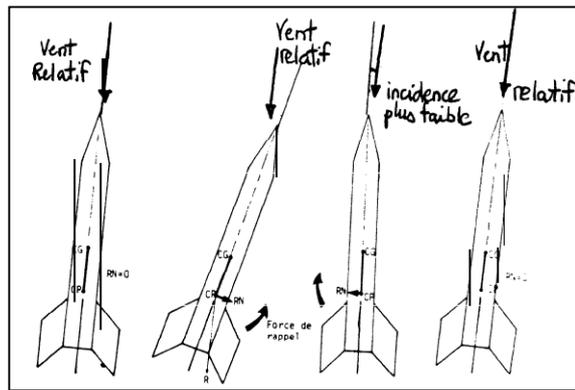


Fig 1 : Rotation de la fusée sous l'effet des forces appliquées

VIII.A. Comportement en vol et critères de stabilité

VIII.A.1. Stabilité

Lorsque la fusée se met en incidence, si le centre de poussée (point d'application des efforts aérodynamiques) est situé derrière le centre de gravité par rapport à la pointe, la portance entraîne la fusée vers sa position initiale. (c.a.d. de l'autre côté du vent relatif) Après quelques oscillations amorties, l'incidence devient nulle (cf Fig 1).



Position initiale Mise en incidence fortuite Oscillations amorties Position finale
 Fig 3 : Comportement stable

VIII.A.2. Instabilité :

Si au contraire le centre de poussée est situé avant le centre de gravité, la portance entraîne la fusée qui se retrouve pointe en arrière par rapport au vent relatif. Ce dernier change rapidement de sens, et on se retrouve dans la même situation : la fusée exerce des loopings.

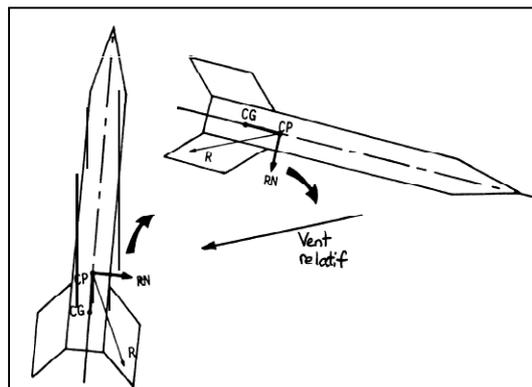


Fig 3 : Comportement instable

VIII.A.3. Surstabilité :

Si la portance ou la marge statique sont très forte, la force de rappel aura une grande influence, enverra la fusée de l'autre côté du vent relatif et la fusée oscillera continuellement sans jamais trouver de position d'équilibre. Cette situation peut devenir critique, notamment si la résistance de matériaux de la fusée n'est pas suffisante pour supporter ces contraintes. La fusée aura aussi tendance à ce coucher dans le vent.

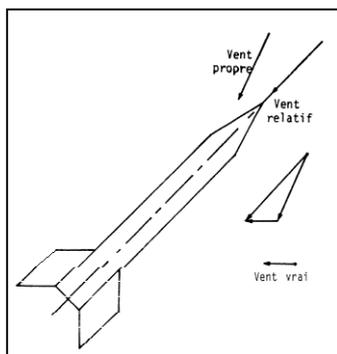


Fig 4 : Vent Vrai

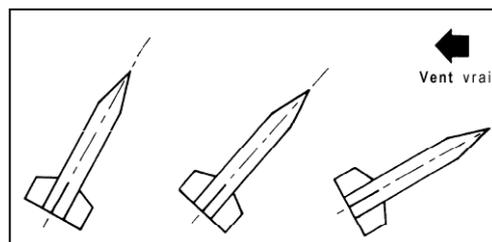


Fig 5 : Comportement surstable

VIII.A.4. Indifférence :

Le centre de gravité et le centre de poussée sont confondus. La fusée n'est soumise à aucun couple de rappel et erre dans une position quelconque.

VIII.A.5. Critères de stabilité

On définit empiriquement des conditions moyennes de stabilité.

- ✓ Ms, la marge statique (écart entre G et Cp) : $1,5 < M < 6,0$.
- ✓ Cno, coefficient de portance "intrinsèque", constant et ne dépendant que de la composition de la fusée : $10 < C_{no} < 40$.
- ✓ Le produit $C_{n0} * M_s$ est aussi pris en compte (évaluation du couple appliqué) : $30 < C_{n0} * M_s < 60$
- ✓ Si L est la longueur de la fusée et d son diamètre : $10 < L/d < 35$ (il s'agit de la finesse).

VIII.B. Evaluation de la stabilité

Elle passe par la localisation du centre de poussée et par la détermination du coefficient de portance.

VIII.B.1. Centre latéral de poussée (Clp).

Il s'agit du barycentre des Clp des différents éléments de la fusée pondérés de leur coefficient de portance respectif.

Par rapport au sommet de la fusée :

$$X_{clp} = \frac{X_{empennage} * C_{empennage} + X_{ogive} * C_{ogive}}{C_{empennage} + C_{ogive}}$$

Ces différents coefficients sont disponibles dans les tables.

Ainsi, pour les ogives :

$$X_{conique} = \frac{2}{3}l ; X_{parabolique} = \frac{1}{2}l ; X_{ogivale} = \frac{7}{15}l$$

et pour l'empennage :

$$X_{emp} = L + p \frac{m + 2n}{3(m + n)} + \frac{1}{6} \left(m + n - \frac{m.n}{m + n} \right)$$

VIII.B.2. Coefficient de portance

Ce sont également des considérations géométriques qui permettent d'évaluer ce que nous appellerons les coefficients géométriques de portance.

$$C_{ogive} = 2$$

Si Q désigne le nombre d'ailerons

$$C_{emp} = 4Q \cdot \left(\frac{e}{D}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{D}{2e + D}\right) \frac{1}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2f}{m+n}\right)^2}} \quad (\text{cf Rapport scientifique IV.B.1.b})$$

$$\text{et } f = \sqrt{e^2 + \left(p + \frac{n-m}{2}\right)^2}$$

VIII.B.3. Cas des jupes et des rétreints :

La méthode est la même, les coefficients de portance et la localisation des C_{lp} de ces divers éléments étant disponible dans des tables. (se reporter à la plaquette de l'ANSTJ)

Remarque importante : les coefficients de portance sont ici considérés comme constant, ne dépendant que de la forme. Cette approximation est largement satisfaisante pour une évaluation qualitative de la stabilité, mais nous ne l'avons pas conservée en ce qui concerne les calculs d'efforts aérodynamiques en cours de vol.

IX Annexe 2 : Calcul pas à pas

IX.A. Contexte et hypothèses de calcul

On se place dans le référentiel terrestre galiléen. On néglige le lacet et le roulis : les ailerons A et B restent dans le plan et n'agissent pas alors que les ailerons C et D sont perpendiculaires au plan et agissent comme une aile, on ne s'intéressera donc qu'à eux pour le calcul. On négligera aussi le vent (ce n'est qu'une composante connue à rajouter dans les forces). On considère donc le mouvement plan dans le plan xOy . On ne retiendra que trois degrés de liberté (V_x , V_y , ω_z).

Remarque : les diverses notations sont accessibles dans la rapport scientifique IV.B.1.b

IX.B. Détermination de la position de la fusée \vec{X}_n

$\vec{X}_n = (X_n, Y_n)$ représente la position du centre d'inertie de la fusée, Y étant suivant la verticale et X tangent au sol. Sa détermination passe par l'application du principe fondamental de la dynamique.

$$M \cdot \vec{\gamma} = \vec{P} + M \cdot \vec{g} + \vec{A}_t = \vec{R}$$

P : poussée du moteur

A_t : efforts aérodynamiques totaux (corps et ailerons)

R : résultante totale

On a donc $M_{n-1} \cdot \vec{\gamma}_{n-1} = \vec{R}_{n-1}$ soit en projetant

$$M_{n-1} \cdot \ddot{X}_{n-1} = R_{x_{n-1}}$$

$$M_{n-1} \cdot \ddot{Y}_{n-1} = R_{y_{n-1}}$$

soit en intégrant:

$$X_n = X_{n-1} + \iint \ddot{X}_{n-1} \cdot dt$$

$$X_n = \frac{1}{2} \ddot{X}_{n-1} \cdot \Delta t^2 + \dot{X}_{n-1} \cdot \Delta t + X_{n-1}$$

De même pour Y_n .

IX.C. Détermination de la masse M_n

$$M_m = M_{n-1} - D_m \cdot \Delta t$$

avec D_m débit de masse éjectée

IX.D. Détermination de la masse volumique de l'air

ρ_n

$$\rho_{0n} = \rho_0 \cdot \frac{20000 - Y_n}{20000 + Y_n} \text{ où } Y \text{ représente l'altitude}$$

avec $\rho_0 = 1.2250 \text{ kg.m}^{-3}$

IX.E. Détermination de la flèche α_n

Sa détermination passe par l'application du théorème du moment cinétique appliqué en G.

$$\frac{d\vec{\sigma}_G}{dt} = \vec{M}_G(\text{Forces Extérieures})$$

La poussée du moteur et le poids s'appliquent en G. Il n'y a donc que les forces aérodynamiques qui exercent un couple en G.

On a donc suivant z : $\frac{d\sigma_{Gz}}{dt} = M_{Gz}(\text{Forces Extérieures})$

(z est l'axe perpendiculaire au plan de la trajectoire, en fait avec les approximations prises le z est l'axe de rotation de la fusée)

Attention normalement on devrait avoir $\left[\frac{d\vec{\sigma}_G}{dt} \right]_z = \left[\vec{M}_G \right]_z(\text{Forces Extérieures})$

Mais ici nous considérons le repère fixe, il y a donc égalité des deux formules

Or $\vec{M}_G = \vec{M}_G(\text{ailerons C et D}) + \vec{M}_G(\text{corps})$

B=Centre de Poussée des Ailerons

$$\vec{M}_G(\text{ailerons C et D}) = \vec{M}_B(\text{ailerons C et D}) + \vec{GB} \wedge \vec{A}_{n-1}$$

\vec{A}_{n-1} étant la force aérodynamique s'exerçant sur les ailerons (on néglige le poids des ailerons)

$\vec{M}_B(\text{ailerons}) = 0$ car les forces aérodynamiques s'appliquent au centre de poussée, celui ci se trouve sur l'axe de la fusée

$$\vec{GB} = (X_B, 0, 0)$$

$$\vec{A} = (A_x, A_y, 0)$$

$$X_B = p \frac{m+2n}{3(m+n)} + \frac{1}{6} \frac{m+n-mn}{m+n}$$

C = Centre de poussée du corps

$$\vec{M}_G(\text{corps}) = \vec{M}_C(\text{corps}) + \vec{GC} \wedge \vec{A}'_{n-1}$$

\vec{A}'_{n-1} étant la force aérodynamique s'exerçant sur le corps

X_c est déterminé par la formule $\frac{X_c}{L} = 1 - \frac{V}{L \cdot S_{eq}}$

avec L longueur de la fusée, S_{eq} surface du culot ($\Pi \cdot R^2$), V volume du corps de la fusée (fuselage + ogive).

Pour le calcul de V, on prendra une ogive conique.

D'autre part $\sigma_{Gz} = \left[\vec{l}(G) \cdot \vec{\omega} \right]_z = (2 \cdot J_{Gz}(\text{de 1 aileron}) + J_{Gz}(\text{corps})) \omega_{z_{n-1}} = K \cdot \omega_{z_{n-1}}$

avec $J_{Gz}(\text{corps}) = \frac{1}{4} M R^2 + \frac{1}{12} M L^2$ où M est la masse du corps (on peut considérer que c'est la masse totale)

et $J_{Gz} = M_{\text{aileron}} \left(e^2 \frac{3m+n}{6(m+n)} + M s^2 \right)$

On peut alors déterminer ω_{y_n} puis α_n car $\omega_{z_{n-1}} = \frac{M_G(\text{forces extérieures})}{K}$

Avec : $K = 2 \cdot J_{Gz}(\text{de 1 aileron}) + J_{Gz}(\text{corps})$

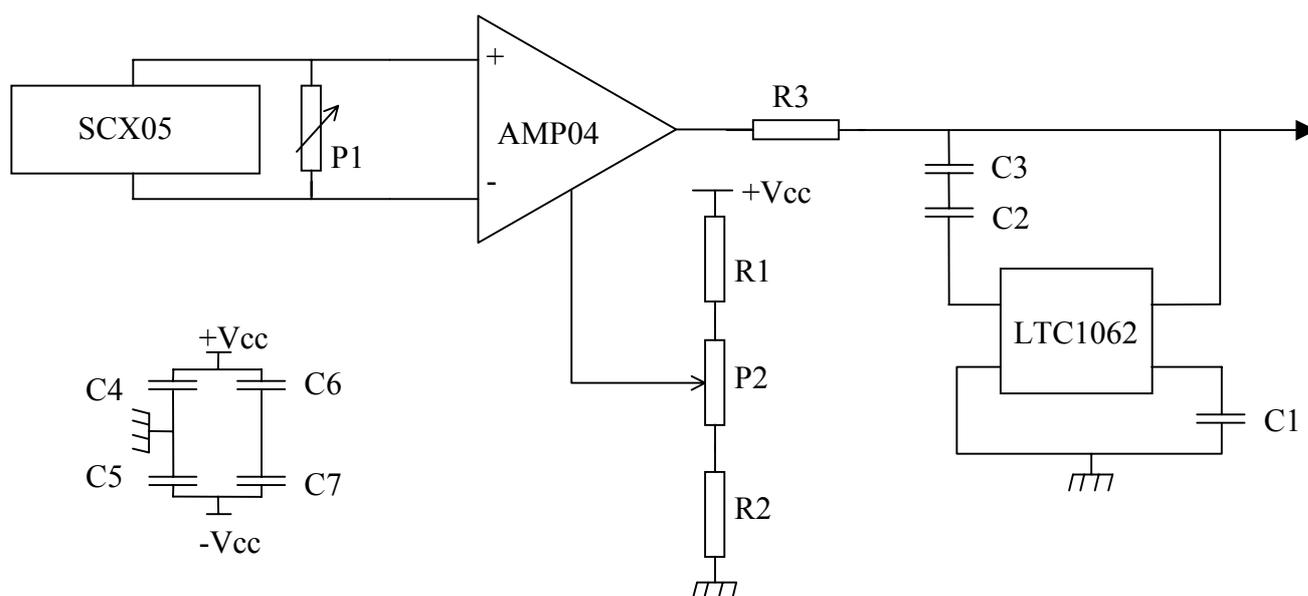
$$\text{d'où } \omega_{y_n} = \dot{\omega}_{y_{n-1}} \cdot \Delta t + \omega_{y_{n-1}}$$

$$\alpha_n = \frac{1}{2} \cdot \dot{\omega}_{z_{n-1}} \cdot \Delta t^2 + \omega_{z_{n-1}} \cdot \Delta t + \alpha_{n-1}$$

il nous reste à déterminer R_n

X Annexe 3 : Prévision du budget pour le capteur

Le schéma suivant indique le montage à mettre derrière le capteur de pression (SCX05) pour amplifier et filtrer le signal qu'il délivre. Ce montage doit être très précis (et donc coûteux) car la sortie capteur est un pont de Wheastone. C'est pour cela que nous utilisons un amplificateur d'instrumentation et non un simple ampli op. Derrière il y a un filtre du cinquième ordre pour nettoyer le signal des perturbations qui proviennent de l'émetteur de la fusée (c'est un problème sur de nombreuses fusées) et de la mesure elle même !



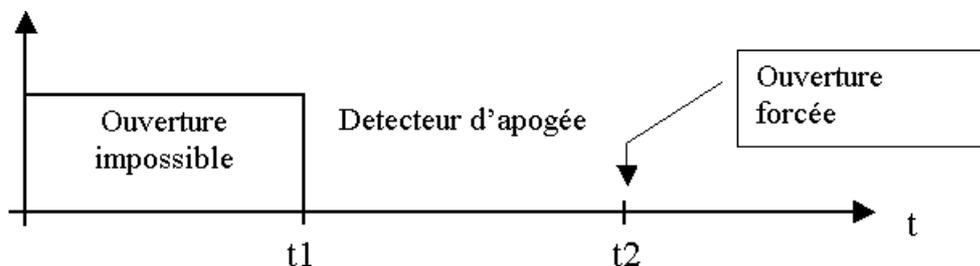
Dénomination	Composant	Valeur	Nombre	Prix (unitaire) en F
R1,R2	¼ W	15 k�	2	1,00
R3		10 k�	1	1,00
C1		2200 pF	1	6,80
C2,C3	Goutte Tantale	1 �F	2	10,00
C4...C7		33 nF	4	7,80
P1	10 Tours	100 k�	1	14,00
P2		10 k�	1	5,00
AMP04	Ampli d'instrumentation		1	71,50
LTC1062	Filtre du 5 ^{�me} ordre		1	55,00
SCX05	Capteur de pression Sensym		1	300,00 (� vérifier)
	Total			506,50

XI Annexe 4 : Séquenceur numérique

Le système d'ouverture est primordial dans une fusée puisqu'il permet de la récupérer... et de ne pas représenter de danger lors de la descente.

XI.A. Principe de base

✓ Le signal d'ouverture est donné par un détecteur d'apogée basé sur la vitesse axiale de la fusée. Mais le cahier des charges impose qu'il y ait aussi une minuterie à fenêtrage comme sécurité : le détecteur est inopérant jusqu'à t_1 et l'ouverture forcée à t_2 si ce n'est pas encore fait.



Voici les points que doit réaliser notre minuterie :

- ✓ Détection du décollage
- ✓ Marche/Arrêt
- ✓ Remise à zéro
- ✓ Fermeture de la porte
- ✓ t_1 et t_2 doivent pouvoir être réglés facilement entre 5 et 12s (changement au dernier moment)
- ✓ Bloquer l'ouverture jusqu'à t_1
- ✓ Forcer l'ouverture à t_2 si nécessaire
- ✓ *Afficheur 7 Segments du compteur (pas le temps)*
- ✓ Signalisation (LED) :
 - Alimentation Marche LED Verte
 - Comptage en cours LED Rouge + (Buzzer si possible)
 - Commande d'ouverture LED Orange
 - Fermeture effective LED Verte
 - Détecteur d'apogée bloqué, débloqué LED Verte (débloqué)

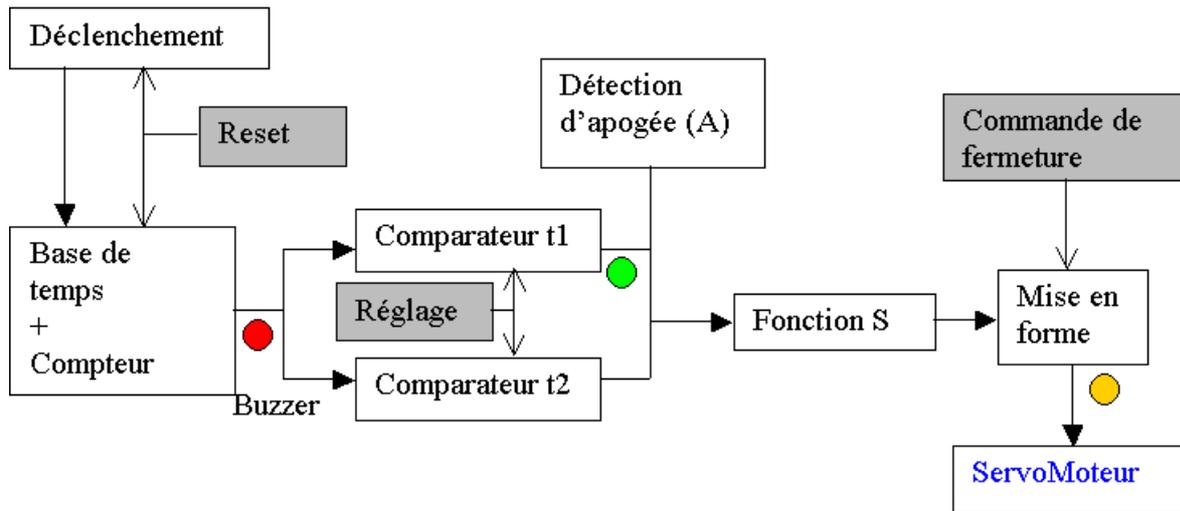
Si A est le signal d'apogée (0 avant l'apogée, 1 ensuite), la commande S vers le servomoteur est donnée par :

$$S = t_1 * (A + t_2)$$

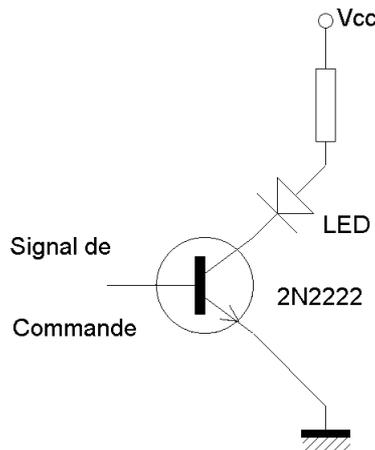
c'est à dire que pour le signal d'ouverture il faut que la date t_1 soit passée, puis la détection (A) ou la minuterie (t_2) donne l'ordre. La signal S arrive sur un montage qui génère un pas cyclique, le rapport de celui-ci indique au servomoteur à quel angle se mettre. Supposons que le détection soit effectuée après la date t_1 (et on croise les doigts

pour que ça le fasse!!); alors le signal S passe à 1 et le servomoteur tourne pour libérer la porte. Puis la minuterie fait passer t2 à 1... mais rien ne change car S est déjà à 1.

✓ Nous avons pté pour une minuterie numérique car elle consomme moins, est simple à régler, fiable et peut facilement évoluer pour nos autres projets. Une base de temps donnée par un 4060 est divisée jusqu'à une période de 0.1s, puis un compteur (le même 4060 en fait) délivre le signal sur des comparateurs (54688), c'est sur eux que l'on règle t1 et t2 grâce à des interrupteurs 8 bits (pour arriver à 12s il faut donc au moins 7 bits, soit $128 \times 0.1 = 12.8s$). Les sorties sont ensuite entrées dans la fonction logique S et le signal d'ouverture est mis en forme pour commander le servomoteur.



Les points représentent les diodes de contrôles. Le développement du schéma électrique se fait sans en tenir compte : un montage très simple avec un transistor permet ensuite de brancher une diode où l'on veut dans le montage, sans en perturber les signaux logiques.



XI.B. Prévision pour le schéma électrique

Le schéma électrique est en cours de finition mais la liste des composants est déjà établie en grande partie.

Dénomination	Farnell	Composants	Valeur	Nombre	Prix unitaire en F
74279		quadruple Bascule RS		1	????
4060	117-493	Oscillateur et diviseur de fr�equance		1	4,00
2N2222	3010545	Transistor NPN Interrupteurs command�es		5	2,86
54688		Comparateurs binaires		2	
CD4001 BE	573-619	Quadruple NAND		3	3,00
LM7805	412-776	Régulateur 5V		1	7,44
R1...R5		Résistances avant un 2N2222	10 k�	5	1,00
Rt		Réglage de la fr�equance	68 k�	1	1,00
Rs				1	1,00
R6			82 k�	1	1,00
R7			1 M�	1	1,45
R8...R12		Résistances de protection des LED	270 k�	4	1,00
R13			1,5 k�	1	1,00
R14, R15		Résistance de protections	1 k�	2	1,00
R16			30 k�	1	1,00
P1		10 Tours	50 k�	1	14,00
Ct		Réglage de le fr�equance	40 nF	1	
C1			27 nF	1	6,60
C2		Tantale	33 nF	1	
C3, C5			100 nF	2	3,60
C4			10 �F	1	
L1...L5		LED 5mm standard HP			2 (en moyenne)
I1, I2		Jeux d'interrupteurs 8Bits		2	16,78
RS1, RS2		8 Résistance en boitier	1 k�	2	20,00
I3	673-456	Micro switch Détection du décollage		1	10,70
I4	176-432	Bouton poussoir Reset		1	4,20
I5,I6,I7	148-705	Interrupteurs 2 Positions		3	6,18
????		Optocoupleur		1	
M		Servomoteur		1	70

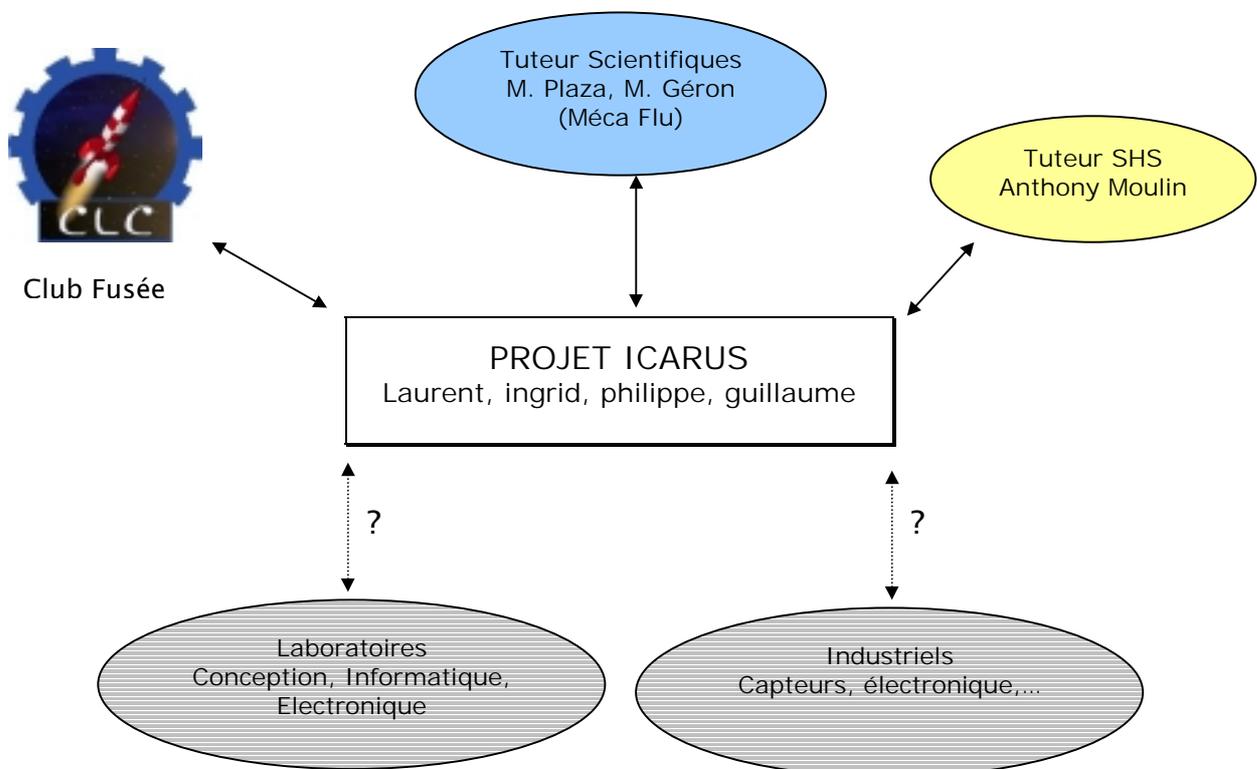
Rapport SHS

I Contexte institutionnel

Notre projet n'est pas associé à un industriel et nous voulons distribuer très largement ses résultats. Il est suivi par le laboratoire de Mécanique des Fluides.

Cependant le caractère pluridisciplinaire et les coûts importants du projet nous incitent à prendre contact avec plusieurs acteurs extérieurs :

- ✓ le club fusée de Centrale Lyon
- ✓ des fabricants de capteurs et de composants électroniques
- ✓ les laboratoires d'électronique, de conception, d'informatique de Centrale Lyon.



Pour l'instant le groupe a principalement travaillé en interne et en autonomie, Philippe et Ingrid sur le modèle théorique, Laurent sur l'électronique et sur l'informatique avec Guillaume (cf le planning pour les dates et les durées de réalisation). Les outils mis en place pour la communication ont permis à tous de se tenir informé de l'avancement des autres et ainsi nous avons pu mettre en place un travail efficace en parallèle.

II Cartographie de l'équipe

II.A.1. Guillaume SMET

II.A.1.a Motivations

Je suis depuis longtemps intéressé par l'aéronautique. Ce projet est l'occasion de m'en rapprocher un peu plus. Il est particulièrement riche et permet à chacun de trouver de quoi satisfaire ses motivations et mettre en valeur ses compétences et en acquérir d'autres.

La richesse du projet rend sa gestion d'autant plus intéressante. C'est un des aspects qui m'a le plus séduit dès le départ. C'est en effet un point très important de notre formation d'ingénieur.

II.A.1.b Compétences et aptitudes

- ✓ Recherche sur l'Internet et conception de sites Internet
- ✓ Base du langage C
- ✓ Suit actuellement le cours de Mécanique des fluides visqueux
- ✓ Mise en page et présentation du rapport
- ✓ Suivi d'études et gestion organisationnelle

II.A.1.c Ce que je me sens le plus capable de faire

- ✓ Recherche bibliographique
- ✓ Gestion du projet
- ✓ Conception du logiciel
- ✓ Investissement dans la partie expérimentale

II.A.2. Ingrid IGUACEL-LISA

II.A.2.a Motivations

- ✓ Réaliser un projet en relation avec mon projet d'études 3A
- ✓ Acquérir de nouvelles connaissances en Mécanique des fluides
- ✓ Me familiariser avec le côté expérimental
- ✓ Travailler en équipe

II.A.2.b Compétences et aptitudes

- ✓ Connaissances en mécanique des fluides
- ✓ Recherche bibliographique
- ✓ Elaboration du modèle théorique

II.A.3. Laurent REGNAULT

II.A.3.a Motivations

- ✓ J'aime les réalisations concrètes, faire quelque chose de physique et d'utile
- ✓ Je souhaite affirmer ma personnalité au travers l'originalité contextuelle et technique de ce projet
- ✓ J'attends du projet une préparation, une expérience au travail d'équipe (mieux comprendre la synergie du travail en symbiose), mais aussi qu'il m'apprenne à me prendre en main et à devenir acteur proactif de ma formation
- ✓ C'est un défi que je veux relever.

II.A.3.b Compétences et aptitudes

- ✓ Mécanique générale
- ✓ Système requis et organisation structurelle d'une fusée amateur standard
- ✓ Modifier un modèle existant
- ✓ Faire une synthèse de différents documents
- ✓ Réaliser une maquette d'expérimentation, développer des solutions originales dans un contexte environnementale non adapté aux données du problème (i .e. bidouiller)

II.A.4. Philippe NOURY

II.A.4.a Motivations

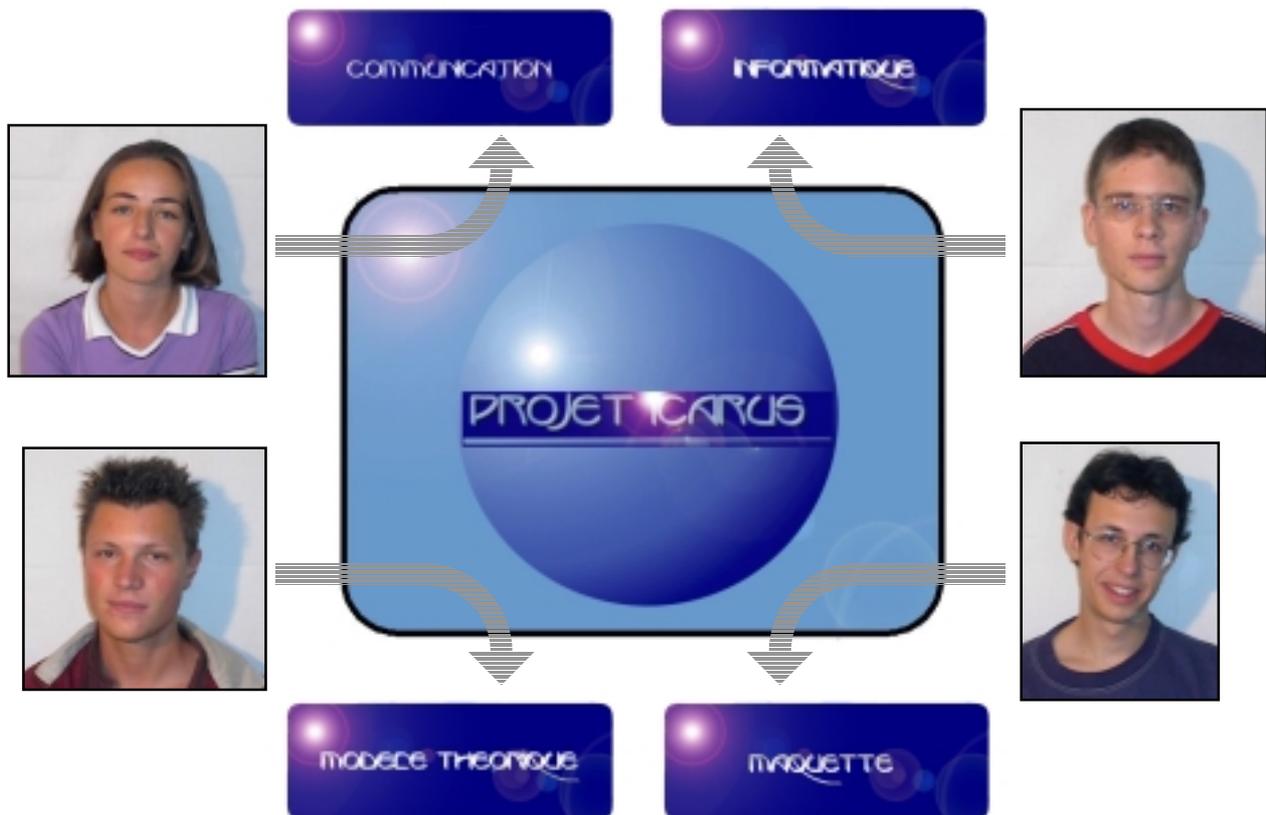
Je suis intéressé par tout ce qui touche à l'aéronautique , mais ce que je trouve vraiment intéressant dans ce projet, c'est la richesse des compétences qu'il va nous permettre de développer :

- ✓ compétences techniques en électronique, mécanique, informatique
- ✓ compétences « pratiques » : car il s'agit, partant de rien, d'élaborer un modèle qu'il faudra valider expérimentalement, et le projet est en cela un véritable exercice de conception, faisant appel à notre créativité.
- ✓ humaines : en ce qui concerne la gestion de l'équipe, la recherche de sponsors et de contacts...

II.A.4.b Compétences et aptitudes

- ✓ J'ai l'esprit physique, et suis doué d'une bonne capacité d'abstraction et de synthèse...
- ✓ J'aime bien la mécanique.
- ✓ Je suis organisé, et j'aime bien les défis (et ce projet en est un...)
- ✓ Gérer les relations avec l'extérieur du projet
- ✓ Participer à l'élaboration du modèle théorique
- ✓ M'investir dans la partie expérimentale.

III Répartition des tâches



IV Problèmes rencontrés

Au cours du lancement de notre projet, nous avons rencontré de nombreux problèmes à la fois d'accès aux informations et de partage de ces informations au sein de l'équipe entière. Nous étions dès le départ convaincu que la communication serait un point crucial de la cohérence d'un projet qui se veut par nature pluridisciplinaire. Nous avons donc tenté de mettre au point des outils permettant une meilleure diffusion de l'information au sein de l'équipe.

- ✓ la première difficulté a été rencontrée au niveau de la communication avec les tuteurs : la mise au point des dates de réunion était pour le moins chaotique.
- ✓ la mise en commun des documents n'était pas très au point non plus et par conséquent leur circulation n'était pas optimale
- ✓ les recherches chez les constructeurs de capteurs et de composants nous ont également posé quelques problèmes vite résolus cependant
- ✓ pour l'instant aucune entreprise n'a été contactée pour nous aider à financer ce projet qui demandera certainement un budget important (cf Rapport scientifique VI.A)

Afin de trouver une solution rapide et efficace à ces différents problèmes, nous avons mis en place différents outils que nous décrivons ci-après.

- ✓ la première chose que nous avons faite est une Mailing List réunissant tous les acteurs du projet afin d'en maintenir la cohérence d'ensemble. Cette Mailing List réalisée sur E-groups nous permet en plus de partager les documents (plus vraiment utile depuis l'arrivée du site Internet), de mettre en place des rappels de réunion automatiques par mail...
- ✓ Un modèle de compte rendu a été créé sous Word afin que chaque réunion ait un compte rendu bien propre reprenant un schéma prédéfini. Cela contribue à la clarté des compte rendu et par là à leur utilité et à leur lisibilité dans le déroulement du projet.
- ✓ la deuxième partie du travail a été le développement d'un site Internet (<http://projeticarus.online.fr>) qui soit à la fois une vitrine pour le projet vis à vis des éventuels partenaires et un moyen de mettre à disposition de toute l'équipe les éléments apportés par chacun. Le site se veut convivial et pratique, notamment par la mise en pdf des fichiers et par le classement par thème...
- ✓ Un local a été trouvé dans le laboratoire de Machines Thermiques qui sert à la fois de local de travail, local technique et salle de réunion.
- ✓ Des réunions entre les membres du projet se font régulièrement pour faire le point sur l'avancement du travail et sur son évolution. Ces réunions sont complétées bien évidemment par les réunions avec les tuteurs.

Nous pensons qu'avec tous les outils mis en place, la communication au sein de l'équipe ne devrait plus poser de problèmes à l'avenir. Si toutefois nous rencontrions de nouvelles difficultés, nous saurons faire évoluer les outils présents afin de les adapter à de nouveaux besoins.

Il nous reste cependant à démarcher au plus vite des entreprises afin d'obtenir un soutien pour le financement du projet.

V ANNEXE 5 : Compte Rendus des réunions

V.A. Compte rendu de la séance du 28/03/00

Projet n°88 : stabilité d'une fusée.

Personnes présentes :

Laurent Regnault

Philippe Noury

Ingrid Iguacel-Lisa

Guillaume Smet

Michel Géron

Frederic Plaza

V.A.1. Aspects techniques :

Travail effectué :

- ✓ ébauche de planning, sous formes d'échéances grossières (macro tâches sur plusieurs mois) et optimistes.
- ✓ Philippe a fait le résumé de la plaquette de vulgarisation de l'ANSTJ :
- ✓ Laurent a téléchargé les logiciels de trajectoires et regardé les entrées-sorties.
- ✓ Ingrid a commencé la dépouille du rapport de l'OTAN sur les missiles.

Bilan :

- ✓ Planning à revoir : il faut le préciser, intensifier le travail lors des moments de disponibilité (maintenant par exemple), y inclure la répartition du travail entre les membres et les dates butoirs.
- ✓ Il faut faire une prévision des coûts et des délais de livraison du matériel.
- ✓ Il faut enrichir notre bibliothèque, et poursuivre le dépouillement. La biblio. De la plaquette semble contenir des éléments importants.

V.A.2. Aspects communication

Travail effectué :

- ✓ Guillaume a créé la liste de diffusion.

Bilan :

- ✓ Frederic Plaza n'est pas dans la liste.
- ✓ Toujours pas de sponsors.
- ✓ Philippe a un ami dont le sujet de TIPE était l'asservissement des missiles en trajectoire : apparemment des contacts sont possibles. Affaire à suivre...
- ✓ Nous n'avons pas réussi à joindre M. Jeandel, qui peut nous fournir des contacts à l'ONERA.
- ✓ Anthony Moulin ne pourra assister aux réunions le mercredi, les réunions charnières devront avoir lieu le jeudi.

V.A.3. Tâches à effectuer

- ✓ Philippe : biblio de la plaquette et histoire du TIPE.
- ✓ Laurent : prévisions des coûts et des délais.
- ✓ Ingrid : synthèse du rapport.
- ✓ Guillaume : mise à jour de la liste.
- ✓ Tous : contact avec M. Jeandel et réflexion sur des rôles plus spécifiques dans l'équipe (bilan personnel...).

V.B. Compte rendu de la séance du 13/04/00

Projet n°88 : stabilité d'une fusée.

Personnes présentes :

Laurent Régnault

Michel Géron

Philippe Noury

Ingrid Iguacel-Lisa

Guillaume Smet

V.B.1. Aspects techniques

- ✓ Dépouillement du CR sur les missiles de l'OTAN :
- ✓ les détails des modèles n'étaient pas donnés : le document n'est pas vraiment exploitable.
- ✓ Guillaume a réussi à trouver de la vulgarisation sur les fusées :
- ✓ Les informations fournies sont comparables à celles que l'on peut trouver dans la plaquette ANSTJ.
- ✓ Laurent a évalué le budget de la partie électronique :
- ✓ Le total dépassera certainement les 1500 Francs... : il est impératif de trouver des sponsors.

V.B.2. Aspects communication :

- ✓ Nous avons contacté M. Jeandel, qui nous a lui même donné des contacts à l'ONERA.

V.B.3. Tâches à effectuer

- ✓ Philippe : biblio de la plaquette, histoire du TIPE.
- ✓ Laurent : découpe des tâches pour le planning, développement de la minuterie.
- ✓ Philippe et Ingrid : début de l'élaboration d'un nouveau modèle.
- ✓ Tous : contact avec l'ONERA réflexion sur des rôles plus spécifiques dans l'équipe (bilan personnel...).

V.C. Compte rendu de la séance du 11/05/00

Projet n°88 : Etude de la modification du profil d'une fusée sur ses caractéristiques aérodynamiques.

Personnes présentes :
Laurent Régnault
Philippe Noury
Ingrid Iguacel-Lisa
Guillaume Smet

Remarque : suite à un malentendu, les élèves n'ont pu rencontrer les tuteurs (SHS et Mécanique des fluides). Ces premiers se sont donc réunis seuls et ont décidé de la marche à suivre en attendant la prochaine réunion.

V.C.1. Aspects techniques

Le dépouillement des documents fournis par l'ONERA , ainsi que la plaquette fournie par Guillaume a été effectué : leur contenu n'est malheureusement pas assez riche pour nous permettre de construire un modèle valable. Cependant, ils présentent des pistes de travail intéressantes (méthode de calcul au pas à pas, utilisation de repère tournant, détails supplémentaires sur l'évaluation des coeff aérodynamiques).

V.C.2. Aspects communication

- ✓ Contacts à l'ONERA : Philippe a réussi à contacter une des connaissances de M.Jeandel. Cette dernière nous a elle-même orienté vers un collègue : Mme Coet, qui s'est montrée intéressée par le projet. Elle propose à l'équipe un suivi et des conseils de documentation. Mme Coet pourra peut-être nous fournir des contacts à l' ENSAE.
- ✓ La première partie du carnet de bord est achevée : à ce compte-rendu sont joints
 - la présentation détaillée du projet.
 - la cartographie de l'équipe.
 - un planning détaillé, où les micro-tâches sont attribuées.

V.C.3. Tâches à effectuer

- ✓ Philippe : biblio de la plaquette, histoire du TIPE.
- ✓ Laurent : développement de la minuterie.
- ✓ Philippe et Ingrid : début de l'élaboration d'un nouveau modèle.
- ✓ Guillaume : taper les fiches de compétences

V.D. Compte rendu de la séance du 25/05/00

Projet n°88 : Etude de la modification du profil d'une fusée sur ses caractéristiques aérodynamiques.

Personnes présentes :
Laurent Régnault
Philippe Noury
Ingrid Iguacel-Lisa
Guillaume Smet

Michel Géron
Frédéric Plaza

V.D.1. Aspects techniques

- ✓ Ingrid et Philippe ont poursuivi le dépouillement des sources en vue d'établir un modèle théorique. Ce dernier comporte deux axes principaux :
 - Etablissement à priori de la stabilité intrinsèque de la fusée, et ce à partir des caractéristiques structurales (masse, composition, géométrie...)
 - Evaluation de la trajectoire par méthode numérique (calcul au « pas à pas »). Le principe de la méthode est simple, mais le détail de certains calculs pose de nombreux problèmes, notamment en ce qui concerne la traînée et la portance ; nous savons que des calculs directs sont possibles (à partir du champ de vitesse de l'écoulement autour de la fusée), mais la géométrie complexe du problème laisse supposer des calculs inextricables.
- ✓ Laurent et Guillaume ont amorcé une réflexion sur la partie informatique du travail (choix du langage...)
- ✓ Laurent a obtenu la source de TRAJEC, ce qui peut constituer de nouvelles bases au travail de Philippe et Ingrid.

V.D.2. Aspects communication

- ✓ Laurent et Guillaume travaillent actuellement au serveur du projet, dont la vocation principale sera de centraliser de manière ergonomique toutes les informations.
- ✓ Nous avons abordé le problème du budget : De combien disposons –nous ?

V.D.3. Tâches à effectuer

- ✓ Philippe : biblio de la plaquette, histoire du TIPE, essayer de contacter des gens à Supaéro
- ✓ Philippe et Ingrid : continuer le développement du modèle .
- ✓ Laurent : développement de la minuterie.
- ✓ Laurent et Guillaume : Conception du serveur de projet et lecture de la source de trajec 2.3

PROCHAINE REUNION : JEUDI 15/06 , 14h30 EN MACH-TERM

Bibliographie

Aerodynamique, théorie de la dynamique des fluides; A.Bonnet, J.Luneau; Cepadues Editions.

Physique théorique, tome 6 : mécanique des fluides; L.Landau, E.lifchitz, Editions Mir.

Notice technique ANSTJ : Le vol de la fusée. (10/99) (téléchargeable sur <http://anstj.mime.univ-paris8.fr/%7Eespace/index.html>)

Notice technique ONERA : Mise en équation du mouvement du lanceur.

Encyclopédie Universalis :

- Aérodynamique
- Balistique
- Mécanique du vol.

Rapports de projet :

- Fusée expérimentale Pulsar, mai 94
- Fusée expérimentale MipMip, mai 95.

Rocket simulations, page html, <http://www.execpc.com/~culp/rockets/>

Cours de Physique, Tome 1 : Mécanique; Richard Feynman.

Code source de TRAJEC, écrit en turboPascal.

Catalogue Farnell Octobre 1999