



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

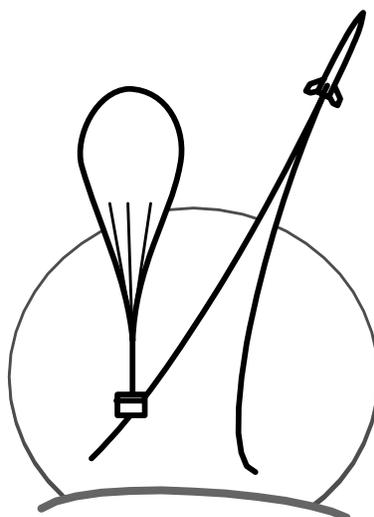
Service Culture Spatiale du CNES

18, avenue Edouard Belin - 31401 TOULOUSE CEDEX 9
Tél. : (0)5 61 27 31 14 / Fax : (0)5 61 28 27 67
Site Internet : www.cnes-edu.org



PLANETE SCIENCES - Secteur Espace

16, place Jacques Brel - 91130 RIS-ORANGIS
Tél. : (0)1 69 02 76 10 / Fax : (0)1 69 43 21 43
Site Internet : www.planete-sciences.org/espace



MODE D'EMPLOI DU LOGICIEL TRAJEC

Cahier CNES – Planète Sciences

Version	2.5
Etat	En cours de validation
Date d'édition	27 novembre 2006
Nb pages	27

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	2
INTRODUCTION	3
INSTALLATION ET LANCEMENT DU PROGRAMME	4
STRUCTURE DU PROGRAMME.....	4
F1. CALCUL DE TRAJECTOIRE	5
F1.1 Utilisation des commandes.....	5
F1.2 Calcul de la trajectoire d'une fusée	6
F1.3 Calcul de la trajectoire d'une fusée à plusieurs étages.....	6
F1.4 Liste des commandes	7
F2. CALCUL DE STABILITE	11
F2.1 Utilisation des champs	11
F2.3 Calcul de la stabilité d'une fusée standard	12
F2.2 Résultats du calcul de stabilité	13
F2.3 Critères de stabilité.....	14
F2.4 Cas des fusées à plusieurs diamètres.....	15
F2.5 Cas des fusées à ailerons inversés	16
F2.6 Cas des fusées bi-empennages ou avec canards.....	17
F2.7 Cas des fusées bi-étages	17
FONCTIONS ASSOCIES	18
F3 GESTION DES FICHIERS	18
F3.1 Liste des commandes	18
F4 MOTEURS.....	19
F4.1 Liste des commandes	19
F5 VENT	21
F5.1 Liste des commandes	21
LA DESCENTE SOUS PARACHUTE	22
HISTORIQUE DES VERSIONS DE TRAJEC	23
PERLES HISTORIQUES.....	25
Descriptif	25
Installation	26
BIBLIOGRAPHIE & AUTEURS	27

INTRODUCTION

Ce programme dispose de deux fonctions principales :

- Il calcule la trajectoire d'une fusée.
Il est possible de calculer la trajectoire de fusées à plusieurs étages.
Il est possible de tenir compte du vent pour obtenir un point de chute sous parachute.
- Il permet de vérifier la stabilité d'une fusée,
fusées munies d'une ou deux séries d'empennages,
ainsi que des fusées munies de jupe et/ou de rétreint.

Il utilise un calcul pas à pas (*Newton* à pas constant) pour le calcul de trajectoire.

Il utilise les formules de *Barrowman* pour le calcul de stabilité.

Toutes les méthodes de calcul sont extraites de la note technique :

"Données numériques sur le vol des fusées" (*Le vol de la fusée*) – ANSTJ - Planète Sciences.

D'autres fonctions sont disponibles pour compléter ces deux fonctions principales :

- Il permet de sauvegarder les caractéristiques des fusées et les résultats des calculs.
Cela permet de faire varier un paramètre sans avoir à ré-entrer tous les autres et cela à plusieurs jours d'intervalle.
- Il permet de visualiser et modifier les caractéristiques des moteurs.
Il permet notamment de tracer des abaques montrant les performances des moteurs.
- Il permet de visualiser et modifier les caractéristiques des sondages de vent.

Gardez à l'esprit que Trajec n'est qu'un outil, les résultats dépendent de la façon dont on l'utilise.

De plus, Trajec date de 1986, les moyens de calculs étaient assez limités à cette époque et des choix ont dû être faits pour simplifier les algorithmes de calcul. Même si les nouvelles versions se sont étoffées, il reste encore des traces cet héritage.

Les résultats ne sont pas infaillibles et il faut savoir garder son recul par rapport aux résultats qui semblent inhabituels.

Mais ne vous affolez pas :

En général les résultats sont tout à fait corrects... sinon on ne l'utiliserait pas !

INSTALLATION ET LANCEMENT DU PROGRAMME

Le logiciel Trajec ne possède pas de procédure d'installation, car il ne nécessite pas d'installation particulière. Tous les fichiers doivent juste être situés dans un même dossier.

Pour lancer Trajec depuis Windows, double-cliquez sur le fichier trajec25.exe.

Si Trajec ne démarre pas, déplacer le dossier Trajec vers un emplacement dont l'adresse est plutôt courte, sans espace ni accents. Exemples :

- 'C:\Documents and Settings\Zoé & Simon\Bureau\Trajec25\' → à éviter
- 'C:\Documents and Settings\Zoé & Simon\Mes documents\Trajec25\' → à éviter
- 'C:\Trajec25\' → conseillé

Si Trajec affiche un message d'erreur au démarrage (pb avec fichier moteur ...), il faut réinstaller complètement Trajec depuis l'archive zip.

Remarque : ce logiciel utilise uniquement le clavier de l'ordinateur (pas la souris).

STRUCTURE DU PROGRAMME

Le programme est divisé en 5 modules, accessible via les touches de fonction “ **F1** ” à “ **F5** ”. La première ligne de chaque écran rappelle cette possibilité :

F1 : Trajectoire F2 : Stabilité F3 : Fichiers F4 : Moteurs F5 : Vent

F1 : passe dans le menu permettant de calculer la trajectoire.

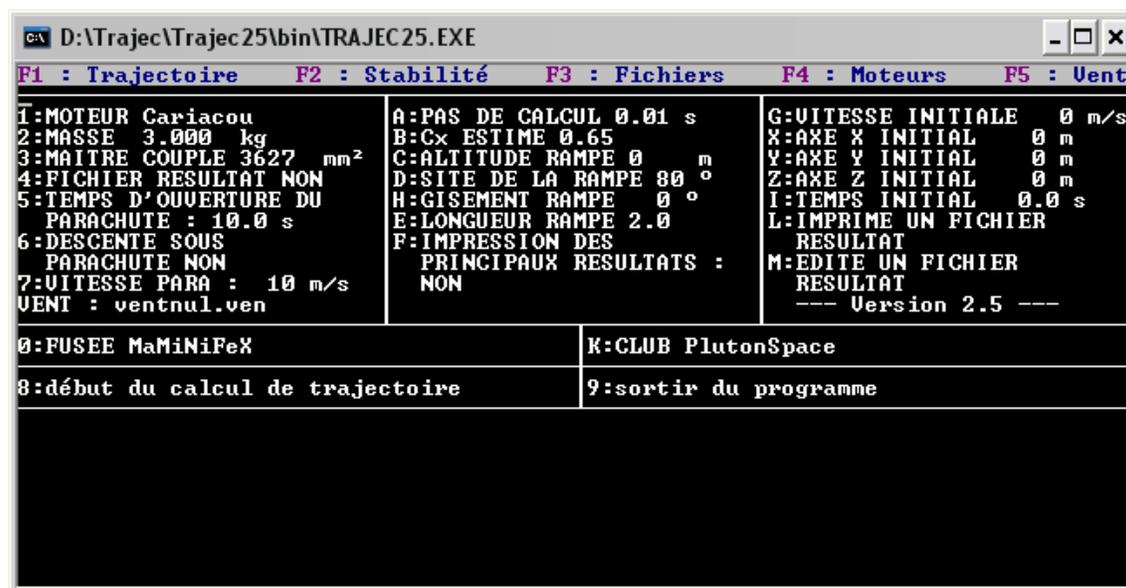
F2 : passe dans le menu vérifiant la stabilité des fusées.

F3 : passe dans le menu de gestion des fichiers (sauvegarde et relecture d'une fusée).

F4 : passe dans le menu des moteurs (affichage et modification des caractéristiques).

F5 : passe dans le menu concernant le vent (saisie et sélection des sondages).

F1. CALCUL DE TRAJECTOIRE



F1.1 Utilisation des commandes

Lorsque le programme est lancé il affiche le menu principal. Ce menu présente toutes les commandes disponibles sous la forme : **CARACTERE** : **TITRE** **VALEUR** **UNITE**

- **CARACTERE** : la lettre ou le chiffre qu'il faut taper pour accéder à la commande (indifféremment en majuscules ou minuscules)
- **TITRE** : action de la commande
- **VALEUR** : valeur actuelle du paramètre sur lequel la commande agit.
Ce sont ces valeurs qui sont utilisées pour le calcul de trajectoire.
- **UNITE** : unité dans laquelle doit être exprimée la valeur.

Pour exécuter une commande : taper le caractère correspondant.

Quatre cas sont alors possibles :

- Elle est immédiatement exécutée (**8**).
- La valeur change directement (**4**, **6**, **F**).
- Une confirmation est demandée avant exécution : (**L**, **M**, **9**).
<RETURN>* valide l'exécution de la commande qui commence immédiatement.
<ESC>† retourne au menu sans exécution.
- Une valeur est demandée, une ligne expliquant la signification de cette valeur.
<ESC> permet de retourner au menu sans modifier l'ancienne valeur.

Une valeur numérique doit être tapée suivie de <RETURN>.

(**0**, **1**, **2**, **3**, **5**, **7**, **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **G**, **H**, **I**, **K**, **X**, **Y**, **Z**)

* : <RETURN> : touche *Enter* ou *Entrée*.

† : <ESC> : touche *Escape* ou *Echap*.

F1.2 Calcul de la trajectoire d'une fusée

Voici la succession de commande à effectuer pour réaliser un calcul de trajectoire :

F1 : Trajectoire : aller au menu Trajectoire ;

1 : MOTEUR : choisir le Propulseur ;

2 : MASSE : entrer la Masse de la fusée au décollage (avec propu plein), en kg ;

3 : MAITRE COUPLE : entrer son Maître Couple^{*},
ou demander à Trajec de le calculer en renseignant le diamètre de la fusée ainsi que le nombre, l'envergure et l'épaisseur des ailerons dans la partie Stabilité **F2** ;

0 : FUSEE : entrer le nom de la fusée ;

8 : début du calcul de trajectoire et affichage des principaux résultats.

Voilà, vous pouvez relever les résultats qui vous intéressent, tels que la vitesse en sortie de rampe, la vitesse max en fin de propulsion, le temps et l'altitude de la culmination, ...
En particulier, le Cahier des Charges impose une vitesse en sortie de rampe minimum de 18m/s pour les minifusées et de 20m/s pour les fusées expérimentales.

Vous pouvez relancer la simulation en activant l'ouverture du parachute (**5, 6, 7**).

On peut éventuellement visualiser tous les pas de calculs (**8** puis **M**).

Cela aura pour effet secondaire de créer un fichier résultat (.res) contenant tout ces pas.

Il est alors possible de convertir, en utilisant le programme *res2csv.exe*, ce fichier binaire .res en un fichier texte .csv importable sous MS Excel ou tout autre tableur.
Ceci permet notamment de tracer des jolies courbes de la trajectoire.

Remarque : Trajec détermine la trajectoire en supposant la fusée parfaitement stable.

Ce calcul de trajectoire ne représente rien si la fusée est instable.

Il faut donc s'assurer de la stabilité de la fusée en passant au menu **F2**.

F1.3 Calcul de la trajectoire d'une fusée à plusieurs étages

Le calcul devra s'effectuer en autant de fois qu'il y a d'étages. Effectuer normalement le calcul de la trajectoire du premier étage en demandant un fichier résultat.

Les paramètres indiqués devront être ceux de l'ensemble de la fusée au décollage. Visualiser le fichier résultat et reporter sur le menu principal les paramètres de l'instant de calcul correspondant à l'allumage prévu du second étage en utilisant les commandes :

1, 2, 3, 5, 6, 7, B, D, G, H, I, X, Y et Z.

Recommencer le processus jusqu'au dernier étage.

^{*} Le Maître Couple est la surface projetée de la fusée, la surface vue du dessus.

F1.4 Liste des commandes

Commandes situées dans la colonne de gauche

1:MOTEUR : Permet de choisir le propulseur. Une liste est alors affichée. Taper le n° du propulseur choisi. Le nom du nouveau propulseur est alors affiché dans le menu principal.

2:MASSE : Permet de fixer la masse de la fusée au décollage. Cette masse doit obligatoirement être donnée en kilogrammes. Elle doit comprendre la masse du propulseur, celle de la poudre, des ailerons et éventuellement de la virole. Taper la masse (les décimales après un point et non pas une virgule) puis <RETURN>.

3:MAITRE COUPLE : Indique le maître couple de la fusée, c'est à dire la surface vue du dessus (voir la note technique ANSTJ “ Données numériques sur le vol des fusées ”). La surface doit être rentrée en millimètres carrés et suivie de <RETURN>. Cette donnée est automatiquement mise à jour lorsque l'on passe dans le menu stabilité, ce qui permet de calculer automatiquement le maître couple à partir de la géométrie de la fusée, mais aussi de se tromper si l'on passe par hasard dans le menu stabilité et que l'on ne renseigne pas les dimensions.

4:FICHER RESULTAT : Deux valeurs possibles : “ OUI ” ou “ NON ”. Si "OUI" est affiché avant le début du calcul, chaque pas est mémorisé dans un fichier ayant pour nom le nom de la fusée suivi de l'extension “ .RES ”. Cela n'est donc possible que si le nom de la fusée a déjà été précisé. Ce fichier peut ensuite être utilisé par les commandes “ L ” et “ M ”. Si l'on désire créer plusieurs fichiers résultat correspondant à différents paramètres pour la même fusée (différentes inclinaisons de rampe par exemple) il faudra changer le nom de la fusée (xxx80 et xxx70 pour la fusée xxx avec des inclinaisons de rampe de 80 et 70°).

5:TEMPS D'OUVERTURE DU PARACHUTE : Permet d'indiquer l'instant d'ouverture du parachute (en secondes) à partir du décollage. Cette valeur n'est réellement utilisée par le programme que si “ OUI ” est affiché en face de la commande 6.

6:DESCENTE SOUS PARACHUTE : Deux valeurs possibles : “ OUI ” ou “ NON ”. Si “ OUI ” est affiché au début du calcul de trajectoire le programme considérera que le parachute s'est ouvert après le temps indiqué par la commande 5. Elle descend alors à la vitesse indiquée par la commande 7 en subissant l'influence du vent défini par le fichier décrivant le vent. (voir le menu “ vent ”). Sinon, la fusée termine sa phase balistique.

7:VITESSE PARA : Indique la vitesse verticale de la fusée sous parachute en mètres par seconde. Cette donnée est utilisée par le programme à partir de l'instant fixé par la commande 5 et seulement dans le cas où “ OUI ” est affiché en face de la commande 6.

VENT : le nom du fichier vent utilisé ne peut être changé depuis ce menu. Il faut passer par le menu vent (commande F5 puis 2)

Commandes situées dans la colonne centrale

A: PAS DE CALCUL : Permet de fixer l'intervalle de temps pendant lequel les paramètres du vol sont considérés comme constants. Plus le pas est grand plus le calcul est rapide et moins il est précis. Toutefois un pas trop petit ne permet pas de gagner en précision car le nombre de pas augmente et les erreurs se cumulent. La valeur par défaut lors du lancement (0.01s) est un bon compromis. Un pas de 0.1s peut donner de meilleurs résultats pour des vols longs (apogée et impact des fusex). Taper la valeur suivie de <RETURN>.

B: Cx ESTIME : Fixe le coefficient aérodynamique (Cx) de la fusée à faible vitesse. Ce coefficient varie généralement entre 0.6 et 0.8 selon l'aérodynamisme et les aspérités de la fusée. Taper le Cx puis <RETURN>. Le programme tient compte de l'évolution du Cx en fonction du Mach. La courbe de Cx en fonction de la vitesse utilisée est celle de la fusée Doppler lancée en août 88. C'est en effet la seule donnée dont nous disposons aujourd'hui.

C: ALTITUDE RAMPE : (en mètres). En région de plaine en France l'ordre de grandeur est de 100 m. Cette valeur n'est utilisée que pour le calcul de la densité de l'air : sa précision n'est donc pas cruciale.

D: SITE DE LA RAMPE : Indique l'angle entre la rampe et l'horizontale. Taper la valeur en degrés décimaux puis <RETURN>. Le site de la rampe doit être compris entre 65 et 80° (Voir la note technique ANSTJ : "Cahier des charges pour fusées expérimentales"). Si ce n'est pas le cas, la valeur est acceptée mais un message d'alarme est affiché.

H: GISEMENT DE LA RAMPE : C'est l'angle en degrés décimaux entre la rampe et une direction de référence, dans le plan horizontal. Cette direction de référence est considérée par le programme comme étant l'axe X. L'axe Y est perpendiculaire à l'axe X : si X indique le nord Y indique l'ouest. Les angles tournent selon le sens météorologique usuel c'est à dire qu'une fusée lancée avec un gisement de +90° par rapport au nord se dirigera vers l'est ; les valeurs affichées pour l'axe Y seront donc négatives. La direction de référence peut être quelconque. On choisit habituellement un point de repère simple ou bien le nord.

E: LONGUEUR DE LA RAMPE : La longueur de la rampe utilisée en mètres doit être tapée suivie de <RETURN>. Cette valeur doit être de 4 mètres minimum pour une fusée expérimentale et de 2 mètres minimum pour une minifusée. Si la longueur indiquée est inférieure à 2m, la valeur est acceptée mais un message d'alarme est affiché.

F: IMPRESSION DES PRINCIPAUX RESULTATS : Si la valeur "OUI" est affichée au moment du début du calcul les principales étapes du calcul seront imprimées. ATTENTION : la version actuelle ne vérifie pas la présence de l'imprimante ni son bon fonctionnement. Il appartient donc à l'utilisateur de le vérifier avant d'appeler cette commande. Une erreur d'exécution et un retour au système d'exploitation sont possibles si cette commande est utilisée sans imprimante ou avec une imprimante "OFF LINE"...

Commandes situées dans la colonne de droite

G:VITESSE INITIALE : Vitesse de la fusée à l'instant initial. Elle est toujours nulle sauf pour une fusée à plusieurs étages. Entrer la vitesse en mètres par seconde puis <RETURN>.

X:AXE X INITIAL : Distance projetée au sol puis sur l'axe X parcourue par la fusée au temps initial, exprimée en mètres. Elle est toujours nulle par définition sauf pour une fusée à plusieurs étages. Entrer la portée en mètres puis <RETURN>.

Y:AXE Y INITIAL : Distance projetée au sol puis sur l'axe Y parcourue par la fusée au temps initial, exprimée en mètres. Elle est toujours nulle par définition sauf pour une fusée à plusieurs étages. Entrer la portée en mètres puis <RETURN>.

Z:AXE Z INITIAL : Altitude de la fusée à l'instant initial. C'est l'altitude de la rampe sauf dans le cas de fusées biétages.

I:TEMPS INITIAL : Temps au début du calcul de trajectoire. Il est toujours nul par définition sauf pour une fusée à plusieurs étages. Entrer le temps en secondes puis <RETURN>.

L:IMPRIME UN FICHER RESULTAT : imprime le fichier contenant le résultat du vol de la fusée dont le nom est affiché (créé par la commande " 4 "). Le nom de la fusée doit obligatoirement avoir déjà été précisé. Si ce fichier n'existe pas le programme propose de le créer en lançant le calcul de trajectoire. <ESC> refuse cette proposition ; <RETURN> l'accepte.

Attention : la version actuelle ne vérifie pas la présence de l'imprimante ni son bon fonctionnement. Il appartient donc à l'utilisateur de le vérifier avant d'appeler cette commande. Une erreur d'exécution et un retour au système d'exploitation sont possibles si cette commande est utilisée sans imprimante ou avec une imprimante "OFF LINE"...

M:EDITE UN FICHER RESULTAT : permet de visualiser un fichier résultat (créé par la commande " 4 "). Le programme demande confirmation. Le nom de la fusée doit obligatoirement avoir déjà été précisé. Si ce fichier n'existe pas le programme propose de le créer en lançant le calcul de trajectoire. <ESC> refuse cette proposition ; <RETURN> l'accepte. On arrive alors dans une fenêtre d'édition, qui affiche tous les pas de calcul. La ligne du bas indique les commandes possibles : On se déplace avec les flèches vers le haut ou vers le bas. Les commandes " Page Up " et " Page Down " permettent de se déplacer rapidement. On retourne au menu en appuyant sur " F1 ". On peut directement changer de menu en appuyant sur une autre touche de fonction.

Commandes situées au milieu de l'écran

0:FUSEE : Permet de donner le nom de la fusée. Taper le nom de la fusée (15 caractères maximum) suivi de <RETURN>. Il est conseillé d'utiliser cette commande en premier. Le nom de la fusée est en effet utilisé par plusieurs autres commandes.

K:CLUB : Permet de mémoriser le nom du club. Taper le nom (15 caractères maximum) suivi de <RETURN>.

8:début du calcul de trajectoire : Lance le calcul de trajectoire, puis affiche les principales étapes du calcul :

- sortie de rampe
- fin de propulsion
- culmination
- ouverture parachute (éventuellement)
- atterrissage

Simultanément, si la commande " 4 " a la valeur " OUI ", un fichier résultat est créé.

Si la commande " F " a la valeur " OUI " et si une imprimante est reliée, les principales étapes du calcul sont imprimées.

Une étape de calcul est affichée de la façon suivante :

$$t=v1s \quad z-z0=v2m \quad v=v3m/s \quad x=v6m \quad y=v7m \quad g=v4m/s^2 \quad A=v5^\circ$$

où :

- $v1$ représente le temps écoulé depuis le début du calcul en secondes.
- $v2$ représente l'altitude atteinte en mètres (déduction faite de l'altitude de la rampe).
- $v3$ représente la vitesse de la fusée en m/s.
- $v4$ représente l'accélération à laquelle est soumise la fusée en m/s^2 .
- $v5$ représente l'angle entre l'axe de la fusée et le sol (site) en degrés.
- $v6$ représente la distance projetée au sol puis sur l'axe X parcourue par la fusée en m.
- $v7$ représente la distance projetée au sol puis sur l'axe Y parcourue par la fusée en m.

A partir de l'ouverture éventuelle du parachute l'affichage devient le suivant :

$$t= v1s \quad z-z0= v2m \quad v= v8m/s \quad x= v6m \quad y= v7m$$

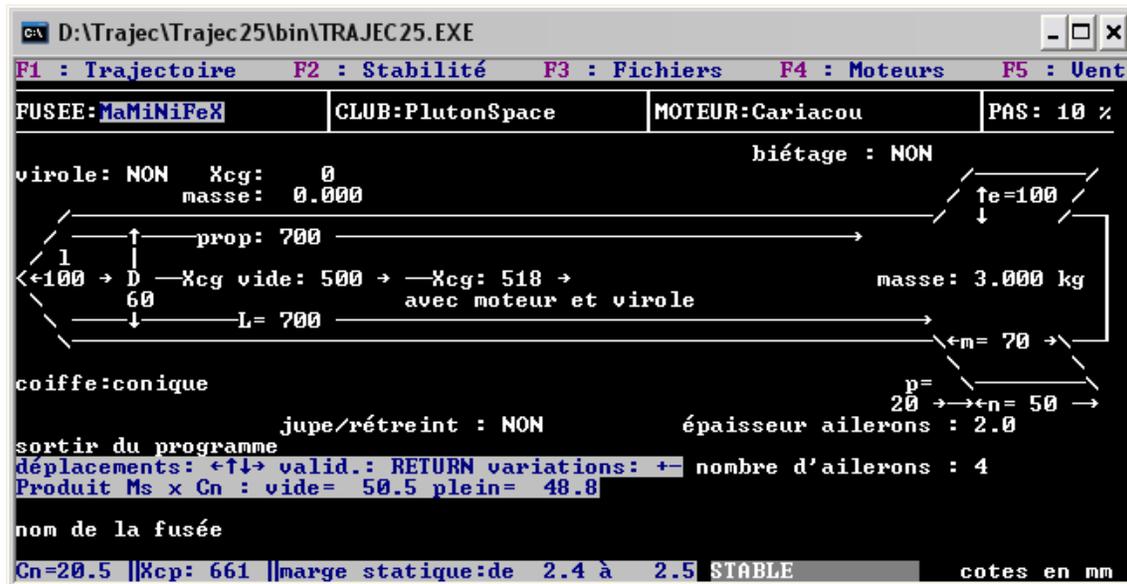
avec $v8$ représentant la vitesse sous parachute.

Les notions de X et de Y sont importantes lorsque l'on utilise un sondage de vent : voir la description du menu correspondant.

On retourne au menu principal en appuyant sur n'importe quelle touche.

9:sortir du programme : Sort du programme après avoir répondu <RETURN> à la demande de confirmation. <ESC> retourne au menu.

F2. CALCUL DE STABILITE



Le menu montre une fusée vue en coupe (si-si, regardez bien).

Trajec se sert d'une description physique de la fusée pour calculer les éléments de stabilité.

Les dimensions demandées sont celles nécessaires au calcul de stabilité par les formules de Barrowman (voir la note technique ANSTJ : "Données numériques sur le vol des fusées").

F2.1 Utilisation des champs

Le champ (ou donnée) courant (ou sélectionné) apparaît en vidéo inverse.

On peut changer le champ courant en utilisant les flèches du clavier ←→↑↓.

Seul le champ sélectionné peut être modifié.

Une description du champ courant apparaît sur l'avant-avant-dernière ligne de l'écran, elle précise généralement la valeur à renseigner et son unité.

Toutes les dimensions doivent être données en millimètres.

La plupart des dimensions sont référencées par rapport au haut de la coiffe.

Pour modifier le contenu d'un champ 2 méthodes sont généralement possibles :

1) en tapant la valeur numérique suivie de <RETURN> pour valider.

2) en tapant "+" ou "-" pour augmenter ou diminuer la valeur d'un certain pourcentage (PAS)

Les champs OUI/NON fonctionnent en bascule, on change leur valeur en tapant <RETURN>.

- biétage : Si OUI est sélectionné, le dessin représente une fusée bi-étage.
- jupe/rétréint : Si OUI est affiché, le dessin représente une fusée munie d'une jupe et d'un rétréint.
- virole : Si OUI est affiché, le centre de gravité avec propulseur est calculé en prenant en compte des ailerons fixés sur une virole, elle-même fixée sur le propulseur. Il faut alors indiquer la masse de la virole, ainsi que la position de son centre de gravité.

Remarque : Le centre de gravité de la fusée avec moteur plein est déduit de plusieurs données : le centre de gravité sans moteur, le moteur (et ses caractéristiques), la position du haut du moteur (champ *prop*), la masse de la fusée et l'existence et caractéristiques d'une virole. La modification d'un des paramètres ci-dessus modifie le centre de gravité avec moteur plein. Il est toutefois possible de modifier la donnée "centre de gravité du moteur plein" sans influencer les autres paramètres...

F2.3 Calcul de la stabilité d'une fusée standard

Voici la procédure à suivre pour réaliser un calcul de stabilité :

F2 : Stabilité : aller au menu Stabilité ;

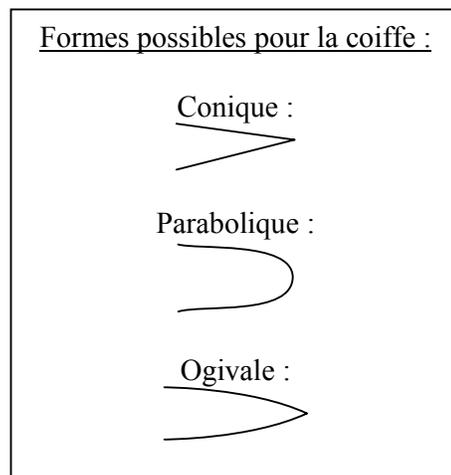
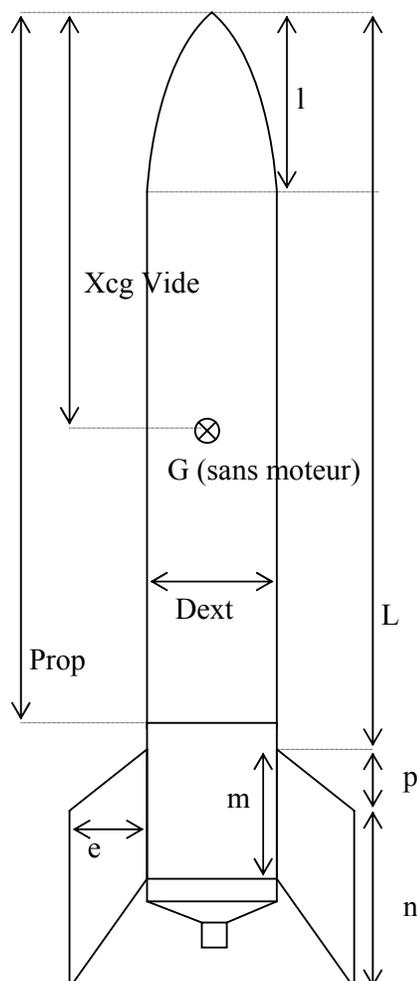
MOTEUR : choisir le Propulseur ;

masse : entrer la masse de la fusée au décollage (avec propu plein), en kg ;

Entrer l'**épaisseur des ailerons**, le **nombre d'ailerons** et la forme de la **coiffe** ;

Entrer toutes les dimensions : **L**, **D**, **prop**, **Xcg vide** ou **Xcg plein**, **e**, **m**, **p**, **n**.
Le schéma ci-dessous indique plus clairement les dimensions à renseigner.

Vous pouvez alors lire le verdict sur la dernière ligne de l'écran.



F2.2 Résultats du calcul de stabilité

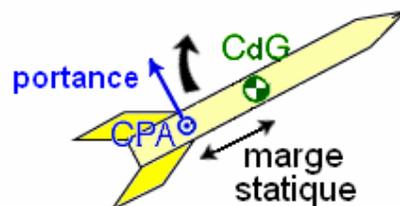
Les lignes du bas de l'écran indiquent en permanence le résultat du calcul de stabilité appliqué à tout ce qui est affiché à l'écran.

```
Produit Ms x Cn : vide= 82.7 plein= 82.4
Cn=23.2 ||%cp:1521 ||marge statique:de 3.5 à 3.6 STABLE cotes en mm
```

De gauche à droite, on trouve :

- **$Cn\alpha$** , la valeur du gradient de Portance (disons "Portance") en rad^{-1} , cela représente la force de rappel quand la fusée s'écarte de sa trajectoire (incidence), cette valeur dépend de la **taille des ailerons**.
- **X_{cp}** , la position du Centre de Poussée Aérodynamique (CPA) en mm depuis la pointe, c'est le point où s'applique la Portance, et est donc **situé près des ailerons**.
- la **marge statique** moteur plein puis moteur vide, exprimée en calibre (diamètre), la Marge Statique est l'écart entre le Centre de Gravité et le Centre de Poussée Aéro, elle dépend donc de la **position des ailerons par rapport au centre de gravité**.
- le résultat de la stabilité définie d'après tous les critères (**STABLE** / **INSTABLE** / **SURSTABLE**).

La 5^e ligne en partant du bas indique également le **Produit MS x $Cn\alpha$** . Ce produit représente le couple de rappel quand la fusée est en incidence.



D'après tout ce qu'on vient de voir, on en déduit les conseils suivants :

- pour augmenter le **$Cn\alpha$** (Portance), il faut faire des ailerons plus grands (**e, m, n**), et inversement.
- pour augmenter la **Marge Statique**, il faut remonter le Centre de Gravité (**X_{cg}**) ou descendre les ailerons (**L, p**) et inversement.

F2.3 Critères de stabilité

De manière générale, et par expérience, on constate que :

- Si la Portance, la Marge Statique, ou le produit de ces deux valeurs est **trop faible**, la fusée part n'importe où (fusée **instable** !).
- Si la Portance, la Marge Statique, ou le produit de ces deux valeurs est **trop fort**, la fusée oscille autour de la bonne position (fusée **surstable** !).

Pour éviter ces 2 cas, Planète Sciences a défini des critères de stabilité.

Ce sont des fourchettes de valeur des éléments de stabilité donnés par Trajec.

Une fusée doit respecter tous les critères pour être considérée comme stable.

En 2006, pour les fusées expérimentales (fusex), ils étaient de :

2 < Marge Statique < 6 (exprimée en calibres)
15 < Portance C_{na} < 40
40 < Marge Statique \times Portance (<100 si possible)

et pour les minifusées (minif) :

1,5 < Marge Statique < 6 (exprimée en calibres)
15 < Portance C_{na} < 30
30 < Marge Statique \times Portance (<100 si possible)

Le diagnostic affiché dans Trajec (STABLE / INSTABLE / SURSTABLE) utilise ces critères.

Ainsi, si la fusée n'est pas stable, il faut repérer quelle condition n'est pas respectée, puis modifier les caractéristiques de la fusée (taille et position des ailerons et du Centre de Gravité) afin de rendre la fusée stable (voir les conseils de la page précédente).

Pour être plus précis, le diagnostic affiché par Trajec utilise les critères indiqués dans le fichier texte "TRAJEC.INI".

Il faut donc modifier le fichier texte TRAJEC.INI pour adapter les critères de stabilité selon le type de fusée (mini-fusée ou fusée expérimentale).

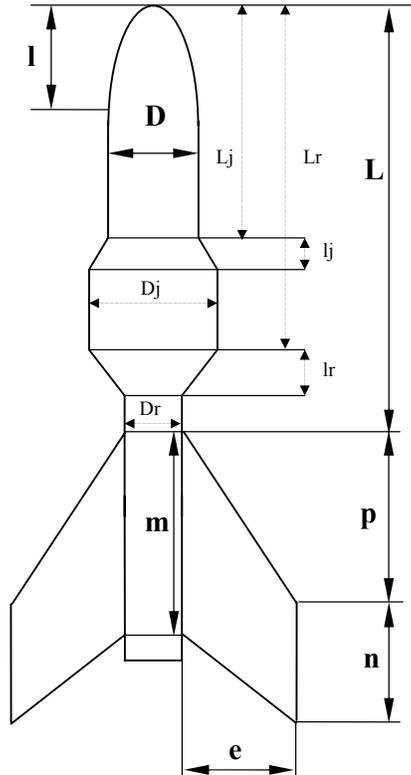
En effet, la version actuelle de Trajec ne sait pas déterminer le type de fusée à partir de son propulseur.

F2.4 Cas des fusées à plusieurs diamètres

Là ça se complique un peu.

On va activer le champ **jupe/rétréint** sur OUI.

Voilà le schéma des cotes supplémentaires demandées :



L_r et L_j sont pris à partir de l'ogive.

D_j est le diamètre de **jupe** et D_r le diamètre de **rétréint**

En général $D_j > D > D_r$.

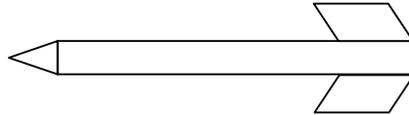
Mais D_j peut être plus petit que D_r ou D , et les calculs de stabilité seront toujours bons.

Quand il n'y a que 2 diamètres différents il suffit de poser 2 diamètres égaux parmi les trois.

F2.5 Cas des fusées à ailerons inversés

Le cas se présente rarement et quand il se pose il est difficile de le généraliser. Je vous conseille vivement de lire le passage sur le calcul de portance, C_n , et de Centre de Poussé, X_{Cp} , du document vol de la fusée pour mieux comprendre ce que l'on fait.

Trajec n'accepte pas les valeurs de p négative, c'est à dire les ailerons inversés.



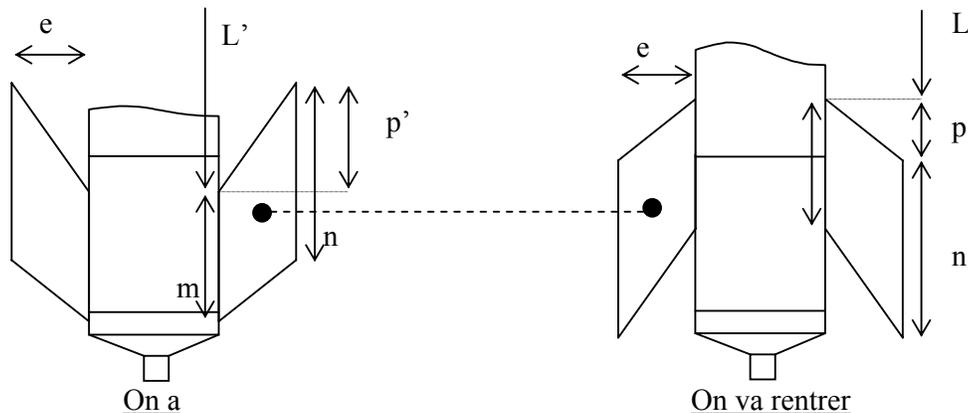
L'idée est de remplacer les ailerons par d'autres que Trajec accepte et de ruser pour avoir un centre de poussé bien positionné et une même portance. Dans ce cas Trajec donnera :

- la bonne portance C_n (qui ne dépendant que de m , n et e)
- la bonne marge statique MS
- le bon produit $C_n * MS$

ATTENTION : le centre de poussé est le barycentre de tous les centres de poussé (ogive, corps, jupe, retraite, ailerons) pondérés par leur portance et divisé par le diamètre. Recalculer le centre de poussée des ailerons et le diviser par le diamètre ne suffit donc pas ! C'est pour cela que l'on veut des ailerons qui ont une même portance et un même X_{Cp} .

Généralement il suffit de retourner l'aileron dans un sens ou dans l'autre pour avoir un aileron « normal » sur lequel on puisse appliquer la formule pour trouver le Centre de poussé. Ensuite il faut adapter le paramètre L pour avoir le même X_{Cp} pour l'aileron.

Par exemple, le cas le plus courant donne :



Les valeurs primées (L' et p') sont les valeurs mesurées sur la fusée qui diffèrent de celles que l'on rentre sur Trajec.

ATTENTION : p' est positif !

$$L = L' + n - 2 * \Delta \text{ et } p = p' + m - n$$

$$\Delta = \frac{p' * (m + 2 * n)}{3 * (m + n)} + \frac{1}{6} * \left(m + n - \frac{m * n}{m + n} \right)$$

F2.6 Cas des fusées bi-empennages ou avec canards

Il est vivement déconseillé de mettre une deuxième série d'ailerons ou des canards (ailerons à l'avant). Mais voyons quand même comment faire.

On va utiliser la commande *bi étage* : **OUI**.

Le dessin se modifie pour afficher une nouvelle paire d'ailerons et un jeu de cotation pour le « deuxième étage ». Le reste se déroule comme normalement.

Trajec ne prend pas en compte le masquage des ailerons du bas par les ailerons du haut (ou canards). Les perturbations qui en découlent faussent la stabilité. Il faut donc absolument éviter une fusée limite instable dans ce cas.

F2.7 Cas des fusées bi-étages

Le calcul se fait en 2 temps :

Il faut d'abord vérifier la stabilité de l'étage supérieur (2ème étage) seul.

Ensuite il faut vérifier la stabilité de la configuration bi-étage (généralement bi-empennage).

Si, pour parvenir à ce dernier résultat, vous modifiez une quelconque des données de l'étage supérieur, il faut recommencer la vérification de cet étage seul.

FONCTIONS ASSOCIES

Certaines fonctions sont utiles pour faciliter l'utilisation du programme.

- Pour sauvegarder les caractéristiques d'une fusée ou toute autre opération sur les fichiers le menu " FICHIERS " offre tout un ensemble de fonctions.
- Les fonctions liées aux caractéristiques des moteurs sont regroupées dans le menu " MOTEURS ".
- Le menu " VENT " s'occupe des sondages de vent utilisés pour les descentes de fusées sous parachute.

Tous ces menus ont un fonctionnement semblable : Les commandes sont exécutées en tapant le chiffre du numéro de commande.

La commande " 9 " permet de sortir du programme. Une confirmation est tout de même demandée.

F3 GESTION DES FICHIERS

On atteint ce menu en tapant sur la touche " F3 " depuis n'importe quel endroit du programme.

F3.1 Liste des commandes

1 : crée un fichier décrivant les paramètres d'une fusée dans le répertoire courant. Tous les paramètres qui régissent le vol de la fusée (trajectoire et stabilité) peuvent être sauvegardés pour des calculs ultérieurs. Ce fichier a le nom de la fusée suivi de l'extension " .PAR ".

2 : lit un fichier décrivant les paramètres d'une fusée créé avec la commande " 1 ".

3 : liste les fichiers du répertoire courant.

4 : change le répertoire courant. Taper ensuite le nom du répertoire de destination.

Taper seulement <RETURN> pour ne pas changer de répertoire.

Taper <ESC> pour aller au niveau supérieur (..).

5 : efface un fichier du répertoire courant. Taper <RETURN> pour confirmer cette opération irréversible. Indiquer ensuite le nom du fichier à effacer.

6 : imprime tous les paramètres d'une fusée. Si une imprimante est reliée à l'ordinateur, cette commande imprime toutes les caractéristiques d'une fusée (aussi bien celles entrées au niveau du menu "stabilité" que celles entrées dans le menu "trajectoire").

Attention : la version actuelle ne vérifie pas la présence de l'imprimante ni son bon fonctionnement. Il appartient donc à l'utilisateur de le vérifier avant d'appeler cette commande. Une erreur d'exécution et un retour au système d'exploitation sont possibles si cette commande est utilisée sans imprimante ou avec une imprimante "OFF LINE"...

F4 MOTEURS

On atteint ce menu en tapant sur la touche “ F4 ” depuis n'importe quel endroit du programme.

F4.1 Liste des commandes

1 : examiner les caractéristiques d'un moteur. Une liste des moteurs disponibles apparaît. Taper le numéro du moteur désiré puis <RETURN> ; les caractéristiques sont alors affichées. Le tableau du haut de l'écran représente la poussée (en Newtons) en fonction du temps (en secondes). On revient au menu en appuyant sur une touche.

2 : modifier les caractéristiques d'un moteur. Cette commande doit être utilisée avec la plus grande prudence, les anciennes données étant alors perdues. Une liste des moteurs disponibles apparaît. Taper le numéro du moteur désiré puis <RETURN> ; les caractéristiques sont alors affichées. Elles défilent une par une en bas de l'écran. Taper alors <ESC> pour garder l'ancienne valeur ou bien taper la nouvelle valeur. Le nouveau tableau des caractéristiques est alors affiché et la modification est sauvegardée en tapant sur “ O ”.

Les caractéristiques des moteurs sont les suivantes :

Point de poussée : il s'agit d'un couple (date ; poussée). La date est le temps, en secondes, entre la mise à feu et le point courant ; sa résolution est de 10 ms. La poussée est celle, exprimée en Newtons, du point courant. La courbe de poussée est définie par une série de segments de droites. Les couples indiquent les coordonnées des points d'intersection de ces segments. Un point est automatiquement inséré en premier : il a pour coordonnées (0 ;0). Le dernier point utile doit avoir pour coordonnées (X ;0). Les points doivent être saisis par ordre croissant de date. On indique la fin de saisie avec un point de poussée négative. Ce point ne sera pas pris en compte dans les calculs.

Masse de poudre : indiquer la masse totale de poudre dans le propulseur avant sa mise à feu, en kg.

Masse totale : indiquer la masse totale du propulseur, tenant compte de la mécanique et de la poudre, en kg. Il n'est pas nécessaire d'intégrer la canne d'allumage, qui est éjectée peu après la mise à feu, ni la masse d'une éventuelle virole.

Centre de gravité du propulseur plein : il s'agit de la position, exprimée en millimètres, et mesurée depuis le plan de poussée, du propulseur, dans la même configuration que le paragraphe précédent.

Centre de gravité du propulseur vide : il s'agit de la position, exprimée en millimètres, et mesurée depuis le plan de poussée, du propulseur, dans la même configuration que le paragraphe précédent, mais sans la poudre.

Position des vis tenant la virole : Indiquer la côte, en millimètres, entre le plan de poussée du propulseur et l'axe des vis de fixation d'une éventuelle virole.

Le tableau indique une valeur calculée d'après les paramètres saisis précédemment : l'impulsion totale. Cette valeur correspond à l'intégrale de la courbe de poussée. Il s'agit d'une donnée brute presque toujours fournie par le fabricant du propulseur, ce qui permet de vérifier rapidement la cohérence de la courbe saisie.

Il est conseillé de faire une copie du fichier “ MOTEUR ” avant toute modification.

3 : changer le nom d'un moteur. Une liste des moteurs disponibles apparaît. Taper le numéro du moteur désiré puis <RETURN> ; taper alors le nouveau nom du moteur puis <RETURN>.

4 : créer un nouveau moteur. Taper alors le nom de ce moteur puis toutes ses caractéristiques en répondant au fur et à mesure aux questions (voir “ 2 ”). Finir en tapant sur "O" pour sauvegarder les modifications.

5 : effacer un moteur de la liste. Cette commande doit être utilisée avec la plus grande prudence les anciennes données étant alors perdues. Confirmer cette commande irréversible en tapant sur <RETURN>. Une liste des moteurs disponibles apparaît. Taper le numéro du moteur désiré puis <RETURN>.

Il est conseillé de faire une copie du fichier "MOTEUR" avant toute suppression.

6 : tracer une abaque de performances d'un moteur.

Cette commande peut utiliser une carte graphique. Si votre ordinateur n'en est pas muni les résultats apparaîtront sous la forme d'un tableau uniquement.

Les caractéristiques de la fusée servant au calcul sont celles affichées sur le menu de trajectoire (y compris le moteur utilisé) sauf pour les paramètres variables.

Différentes abaques sont possibles. Il faut d'abord indiquer ce que représentera l'axe vertical (Y) en tapant sur 1, 2 ou 3 puis sur <RETURN>. Ensuite indiquer la signification de l'axe horizontal (X). Il faut indiquer la gamme désirée : valeur minimum pour X puis valeur maximum puis le pas entre 2 calculs.

Le programme trace plusieurs courbes en faisant varier un paramètre qu'il faut ensuite indiquer. Il faut également indiquer la gamme utile pour ce paramètre. Si les paramètres sont cohérents le programme propose de confirmer le tracé de l'abaque (C) de modifier certains paramètres (M) ou d'annuler la commande (A). Après avoir tapé "C" il faut attendre quelques instants le calcul de tous les points. Les 18 types de courbes suivants sont possibles :

Coordonnée (Y) :	en fonction de (X) :	les différentes courbes correspondent à :	
		ou	
temps de culmination	masse	site de la rampe	Cx
	site de la rampe	masse	Cx
	Cx	site de la rampe	masse
altitude maximale	masse	site de la rampe	Cx
	site de la rampe	masse	Cx
	Cx	site de la rampe	masse
vitesse maximale	masse	site de la rampe	Cx
	site de la rampe	masse	Cx
	Cx	site de la rampe	masse

Le graphique est alors affiché (si vous avez une carte graphique ; sinon voir paragraphe suivant). Si vous avez préalablement chargé “ GRAPHICS ”, vous pouvez faire une copie sur imprimante en appuyant sur la touche “ impression d'écran ”. En appuyant sur une autre touche l'exécution continue.

Une série de tableaux correspondant aux différentes courbes sont alors affichés. On peut passer au suivant puis retourner au menu en appuyant sur une touche.

7 : choisir le fichier des moteurs : Permet de changer le nom du fichier contenant les caractéristiques des moteurs. Le fichier normal s'appelle "MOTEUR". Cette commande est particulièrement utile lorsque l'on veut modifier les caractéristiques d'un moteur pour des essais. Faire alors ces modifications sur une copie du programme "MOTEUR".

F5 VENT

On atteint ce menu en tapant sur la touche “ F5 ” depuis n'importe quel endroit du programme.

Ce menu permet de tenir compte du vent pour la descente sous parachute, ce qui est utile pour obtenir un point de chute prévisionnel. Le bas de l'écran affiche la liste des sondages de vent déjà disponibles. En haut à droite de l'écran le nom du sondage de vent courant est affiché. C'est lui qui sera utilisé par le calcul de trajectoire. Il est affiché dans le menu trajectoire. Le fichier “ VENTNUL.VEN ” représente le cas d'une absence de vent.

F5.1 Liste des commandes

1 : créer un fichier contenant un sondage de vent : permet de saisir un nouveau sondage de vent. Cette commande est utilisée par l'équipe "météo-calcul" juste après, ou au fur et à mesure d'un sondage météo. Il faut alors entrer les caractéristiques du ballon (vitesse ascensionnelle). Il faut également indiquer un nom de fichier dans lequel sera sauvegardé le sondage. Taper <ESC> pour avoir le nom par défaut permettant l'identification du sondage. Utiliser de toute façon l'extension “ .VEN ” pour permettre une identification simple. Confirmer par <RETURN>.

On arrive alors à un tableau présentant les points du sondage. Les deux premières colonnes ne sont pas modifiables : elles représentent l'altitude du ballon et le temps écoulé depuis son lâché. Les deux autres colonnes permettent de saisir le site et gisement du ballon pour chaque point.

Le site est l'angle entre la direction de visée et l'horizontale (en degrés décimaux).

Le gisement est l'angle entre la direction du ballon et la direction de référence.

La direction de référence peut être choisie quelconque mais doit être cohérente avec les indications du menu trajectoire, si on veut obtenir un point de chute prévisionnel. Dans la pratique choisir le nord.

Si il manque un point pour le sondage, sauter la ligne correspondante : les valeurs intermédiaires seront automatiquement calculées par interpolation entre les valeurs saisies. La dernière colonne indique alors "calculé" au lieu de "mesuré" car la valeur est, dans ce cas, issue d'un calcul et non pas d'une mesure.

On se déplace dans le tableau en utilisant les flèches. On sort en tapant sur la touche “ FIN ”.

Quand on sort, le fichier vent est considéré comme étant complet. Le point saisi ayant l'altitude la plus élevée est considéré comme étant le dernier point du sondage, bien que le tableau affiche des points après. Ceux-ci portent la mention "calculé".

ATTENTION : Les angles tournent selon le sens météorologique usuel c'est à dire qu'un ballon vu avec un gisement de +90° par rapport au nord se trouve vers l'est.

2 : charger un précédent sondage de vent : Permet de changer le sondage de vent sélectionné pour être utilisé par le calcul de trajectoire.

3 : visualiser un précédent sondage de vent : Permet de visualiser un sondage de vent. Taper le nom du sondage puis <RETURN>. Le sondage apparaît alors sous forme d'un tableau. On change de page et on revient au menu en appuyant sur une touche.

4 : imprimer un précédent sondage de vent : imprime un sondage de vent. Vérifiez au préalable que votre imprimante est prête à être utilisée.

LA DESCENTE SOUS PARACHUTE

Lorsque la fusée descend sous parachute elle tombe à une vitesse donnée. On calcule cette vitesse très simplement car à ce moment la force du poids est égale à la force du parachute, c'est à dire à sa résistance à l'air (on va donc avoir besoin du maître couple du parachute).

$$M_{\text{vide}} \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot V_d^2$$

$$V_d = \sqrt{\frac{2 \cdot M_{\text{vide}} \cdot g}{\rho \cdot C_x \cdot S}} = \sqrt{16,3 \cdot \frac{M_{\text{vide}}}{S}}$$

avec :

M_{vide} la masse de la fusée qui retombe (donc avec le propulseur vide), en kg

ρ qui vaut environ 1.2

C_x qui vaut 1

S le maître couple du parachute, en gros la surface du parachute, en m^2 .

HISTORIQUE DES VERSIONS DE TRAJEC

Jusqu'en 1987, l'ANSTJ met à disposition des clubs aérospatiaux un programme de calcul de trajectoire sur une calculatrice HP41C. Le programme donne satisfaction, mais les limites de la machine handicapent les performances : jusqu'à 20 minutes de calcul pour une trajectoire, difficulté d'entrer les paramètres, non mémorisation des paramètres, ... le calcul de stabilité est alors fait manuellement.

En 1986, les PC arrivant, apparaît une première version de TRAJEC. Programmée en Turbo-Pascal 3, il comprend d'emblée les principales caractéristiques de l'interface actuelle de calcul de trajectoire. Une contrainte est alors de fonctionner sur toutes les machines, même les plus modestes, les PC étant alors encore presque un luxe. Il fonctionne donc sur une machine équipée d'un seul lecteur de disquettes 5¹/₄, avec 360 ko de mémoire, sans carte graphique ni écran couleur.

En 1988, la version **2.0** arrive, dotée du fameux écran interactif de calcul de stabilité et du calcul de descente sous parachute. Autre nouveauté, le Cx évolue avec la vitesse et il est possible de tracer des abaques de performances. Le programme prend alors sa structure définitive avec les touches de fonction " F1 " à " F5 " pour changer de menu. Cette version, programmée en Turbo-Pascal 4 respecte les contraintes d'origine.

En 1990, la version **2.1** apparaît dans la plus grande discrétion. A part quelques bugs dans l'estimation de la vitesse en sortie de rampe et sur la trajectoire des biétages, cette version permet d'introduire des menus qui facilitent l'utilisation de l'écran de calcul de stabilité. Vous êtes surpris ? Je ne suis pas étonné, n'ayant jamais vu ces menus utilisés. Ils se sont avérés peux pratiques, et je ne suis pas certain qu'ils fonctionnent complètement.

En avril 1996, la version **2.2** sort. Compilée par Turbo-Pascal 6.0, elle respecte toujours les contraintes d'origine et fonctionne sous DOS, WINDOWS 3 et WINDOWS 95 (dans des sessions DOS pour ces deux derniers cas). Elle est distribuée en deux versions : " sans coprocesseur " contient une version qui tourne sur toutes les machines (exécutable de 102 ko). " Avec coprocesseur " contient une version plus rapide mais nécessitant une machine équipée d'un coprocesseur arithmétique (exécutable de 116 ko).

En août 1999, la version **2.3** permet de modifier les critères de stabilité, qui changent (trop ?) souvent, sans modifier le logiciel. Celui-ci lit dorénavant, lors du lancement, un fichier ".INI " avec les paramètres du module de stabilité. Il est maintenant testé sous WINDOWS 98, mais continue à fonctionner sur un PC XT muni d'un seul lecteur de disquettes.

En décembre 2000 et août 2001, Arnaud Colmon (auteur historique) et Laurent Regnault effectuent des corrections sur les calculs liés aux diamètres (jupes/retrait/maître-couple), et changent les couleurs pour rendre visible le résultat du calcul de la stabilité. Mais cette version n'a jamais été diffusée.

En mai 2005, la version **2.4** est générée par Etienne Maïer à partir de la 2.3 (donc sans les corrections de 2000 et 2001). Remplacement (hexa ?) de "ANSTJ" en "PLASC" et de "v2x" en "v24". Changement de trajec.ini et du fichier moteur conformément au CdC v2.0.

Début 2006, Léo Côme ajoute à l'archive zip de trajec 2.4 le manuel_trajec.pdf, l'utilitaire res2csv.exe et le fichier moteur corrigé (masse wapiti, accélération en fin de propu cariacou).

Enfin, en novembre 2006, la version **2.5** sort, compilée par Léo Côme à partir de la version de 2001, et en reproduisant les modifications de la version 2.4. Elle corrige 2 petits bugs (longueur rampe min, tolérance numérique sur les temps de la courbe de poussée) et change les valeurs par défaut. Elle est accompagnée d'un fichier moteur comprenant le moteur Cesaroni PRO54-5G Classic, d'un fichier trajec.ini activant le critère du produit MS*Cn, ainsi que de la documentation liée à Trajec, regroupée en un seul document (celui-ci).

PERLES HISTORIQUES

Ci-dessous sont reproduits des extraits de textes originaux.
Nostalgie quand tu nous tiens ...

Descriptif

Ce programme dispose de deux fonctions principales :

- * Il calcule la trajectoire d'une fusée. Il est possible de calculer la trajectoire de fusées à plusieurs étages. Il est possible de tenir compte du vent pour obtenir un point de chute prévisionnel sous parachute.
- * Il permet de vérifier la stabilité d'une fusée mono ou biétage ainsi que des fusées munies d'ensembles jupe-rétréint.

Un certain nombre d'autres fonctions sont disponibles pour compléter ces deux fonctions principales.

Il utilise la technique du calcul pas par pas pour le calcul de trajectoire. Toutes les méthodes de calcul sont extraites de la note technique ANSTJ : "Données numériques sur le vol des fusées".

Il fonctionne sur IBM-PC (ou PS) ou compatible (AT ou XT) muni d'au moins un lecteur de disquettes. Toutefois le confort d'utilisation et surtout la vitesse de calcul dépendent beaucoup de la machine utilisée. Un disque dur sur un PC-AT permet de bonnes performances.

Certaines fonctions complémentaires nécessitent une carte graphique. Une carte et un écran couleur améliorent la présentation, sans jamais être indispensables.

Dans tous les cas le gain de temps par rapport à l'ancien programme sur la HP 41 C est très important.

Exemple du calcul de trajectoire d'une fusée équipée d'un Caribou :

- sur HP 41 C : temps de calcul environ 20 mn
- sur 386 avec coprocesseur 80387 : 8 s
- sur Pentium 120 MHz : <0,5 s

Une imprimante permet d'obtenir l'impression des résultats. Elle est utile mais pas indispensable.

Le programme est écrit en Turbo Pascal (Borland) version 6.0. Il permet de sauvegarder les caractéristiques des fusées et les résultats des calculs. Cela permet de faire varier un paramètre sans avoir à réentrer tous les autres et cela à plusieurs jours d'intervalle.

Il est fourni sur une disquette 3 pouces ½ HD. Le répertoire "avecopro" contient l'exécutable "TRAJEC.EXE" fonctionnant sur un ordinateur équipé d'un coprocesseur mathématique. Le répertoire "sanscopr" contient l'exécutable "TRAJEC.EXE" fonctionnant sur un ordinateur sans coprocesseur. Si vous ne savez pas, utilisez le répertoire "sanscopr". Le répertoire "commun" contient les fichiers communs aux deux versions. Le répertoire "doc" contient le présent fichier au format Word 6.0 et au format texte.

Auteur : Arnaud Colmon

Installation

Pour simplifier la structure du disque les fichiers nécessaires seront copiés dans un répertoire réservé au calcul de trajectoire, dont le nom pourra par exemple être "TRAJEC". Les fichiers nécessaires sont :

- * TRAJEC.EXE : il se trouve dans "avecopro" ou "sanscopr" selon votre machine
- * MOTEUR : il se trouve dans "commun"
- * VENTNUL.VEN : il se trouve dans "commun"
- * TRAJEC.INI : il se trouve dans "commun"

Le fichier "MOTEUR" contient les caractéristiques des moteurs. Le fichier "TRAJEC.EXE" est le programme exécutable. Le fichier "VENTNUL.VEN" permet de calculer la descente d'une fusée sous parachute avec un vent nul. C'est lui qui est utilisé par défaut par le programme et pour les calculs prévisionnels avant la campagne. TRAJEC.INI contient les paramètres du module stabilité. En son absence, le programme fonctionne avec des valeurs par défaut.

Pour utiliser la fonction de tracé d'abaques une carte graphique est nécessaire. Si vous désirez utiliser cette fonction et que la machine est munie d'une carte graphique il faut aussi copier le "driver" graphique. Le fichier à copier est le suivant : (vous le trouverez dans "commun")

- carte CGA : CGA.BGI
- carte EGA ou VGA : EGAVGA.BGI
- carte HERCULE : HERC.BGI

Si vous souhaitez imprimer les abaques de performances sous DOS, il est nécessaire de charger préalablement au lancement du programme, l'utilitaire DOS "GRAPHICS" avec les paramètres adaptés à votre imprimante (voir l'aide de GRAPHICS pour plus de détails). Ce chargement peut être automatisé par un fichier ".BAT" qui charge GRAPHICS puis lance TRAJEC.

Pour utiliser TRAJEC sous WINDOWS, il est possible de cliquer deux fois dessus depuis le gestionnaire de fichiers ou l'explorateur de WINDOWS 95/98, ou bien de créer une icône spécifique. Sous WINDOWS 95/98, il est recommandé de sélectionner le mode "plein écran" pour éviter de partager la palette de couleurs avec d'autres applications, rendant parfois les textes difficilement lisibles.

L'installation est terminée. La disquette ne sera plus utile. Lors des utilisations suivantes, cette phase est inutile.

Sur certaines machines munies d'un écran monochrome, l'interprétation des couleurs peut conduire à un affichage difficilement lisible. Lancer alors le programme avec le paramètre "n" pour obtenir un affichage monochrome contrasté :

TRAJEC n <RETURN>

BIBLIOGRAPHIE & AUTEURS

Ce document regroupe et remplace deux anciennes notes techniques Planète-Sciences :

- **Mode d'emploi du programme calculant la trajectoire et la stabilité Trajec 2.22**
par *Arnaud Colmon*
Edition Octobre 1999
"manuel_trajec.pdf"
- **Guide d'aide à l'utilisation du logiciel Trajec**
par *Laurent Regnault*
Avril 2005
"notice_utilisation_trajec.pdf" ou "doc trajec avril 2005.pdf"

Pour plus d'information sur les notions de stabilité et de trajectographie, se reporter aux documents suivants :

- **Le vol de la fusée – stabilité et performances**
par *Gil Denis*
Mai 1991
<http://www.planete-sciences.org/espace> (dans Publications)
- **Stabilité dynamique & éléments pour logiciels de Trajectographie**
par *Milou* du *GRETSS*
Version 1 – Août 2000
<http://www.planete-sciences.org/espace> (dans Publications)
- **Compte rendu du projet ICARUS de l'Ecole Centrale de Lyon**
par *Laurent Regnault* et autres
Juin 2000
<http://projet.icarus.free.fr> (dans ressources/documents)

Le logiciel Trajec 2.5 est librement téléchargeable sur le site internet du secteur espace de Planète Sciences (www.planete-sciences.org/espace), toujours dans la catégorie Publications.

Si vous constatez un *bug* sur Trajec, veuillez en informer Planète Sciences en envoyant un e-mail à 'espace@planete-sciences.org', avec par exemple le fichier des paramètres de la fusée concernée (fichier *.par*).