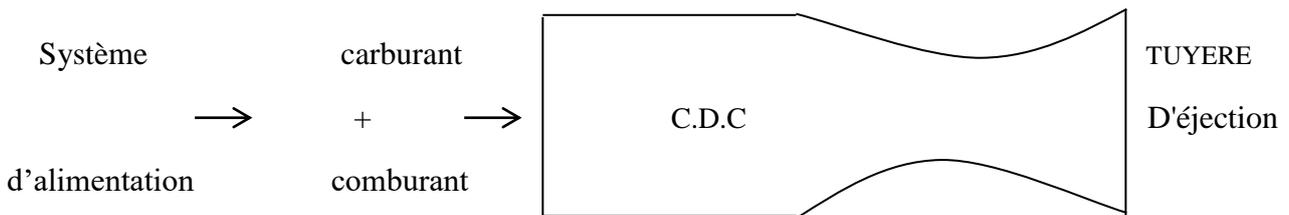


Chapitre 4: Le moteur fusée

4.1 Eléments constructifs :

La propulsion par moteur fusée est un mode de propulsion direct sauf qu'on utilise pas l'air atmosphérique comme comburant, ce dernier peut être sous forme solide liquide ou gazeux, et pour lequel on trouve plusieurs applications depuis la signalisation jusqu'au lancement du satellite.

Schématisation



4.2 Principe de fonctionnement.

De point de vue énergétique on trouve successivement les transformations suivantes :

- Une compression isochore à l'état liquide. (entre le point 1 et le point 2).
- une combustion isobare (avec ou sans perte). (entre le point 2 et le point 3).
- Une détente adiabatique des produits de combustion. (entre le point 3 et le point 4).
- Dilution dans l'ambiance.

Le principe repose sur la combustion d'un carburant et d'un comburant dont les gaz d'échappements se détendent dans une tuyère d'éjection ce qui provoque la poussée de l'engin (c'est la propulsion).

Le principe est très simple, le moteur est léger mais il a besoin de la quantité suffisante de carburant et comburant même pour une utilisation de courte durée.

La température à atteindre dans la chambre de combustion est très élevée.

La forme externe de la fusée est donnée par la forme du moteur et son étude relève de l'aérodynamique.

L'écoulement interne surtout dans la tuyère relève de la dynamique du fluide compressible, et enfin la combustion elle relève de la chimie et de l'énergétique.

Le souci majeur de construction des fusées est de réduire le poids des deux composés de la combustion d'une part, et d'augmenter la durée du vol de l'engin. L'accélération atteinte par une fusée est extrêmement élevée.

Les corps actifs (carburant et comburant) utilisés dans la combustion sont appelés **ergols**. Sachant que l'association de deux ergols donne un **propergol**, ou un **lit ergol** ou un **hypergol**.

On distingue généralement deux sortes de types de fusées :

- L'une basé sur le champ d'application.
- Et l'autre basé sur l'énergie d'ergol mis en jeu.

Selon le champ d'application :

On distingue deux catégories :

1. Fusée simple : tel que les artifices, éclairement, signalisation.
2. Fusée engins : tel que les porteurs de projectiles, les auxiliaire de décollage d'avion, engin spéciaux d'exploration de la stratosphère, le lancement des satellites, ...

Selon l'énergie des ergols mis en jeu :

On distingue dans ce cas différents types de fusées, en fonction de la phase dans laquelle se trouve les ergols, sachant que généralement on distingue deux grand catégories :

- Fusée à une phase : liquide-liquide, gaz-gaz, solide-solide.
- Fusée à deux phases : liquide-gaz, solide-gaz, solide-liquide.

Ce qui permet de distinguer les fusées à propergols ou à lit ergol, ou à hypergol.

Cas du moteur fusée à ergols liquides :

Le moteur fusée à ergols liquides comprend généralement les éléments suivants :

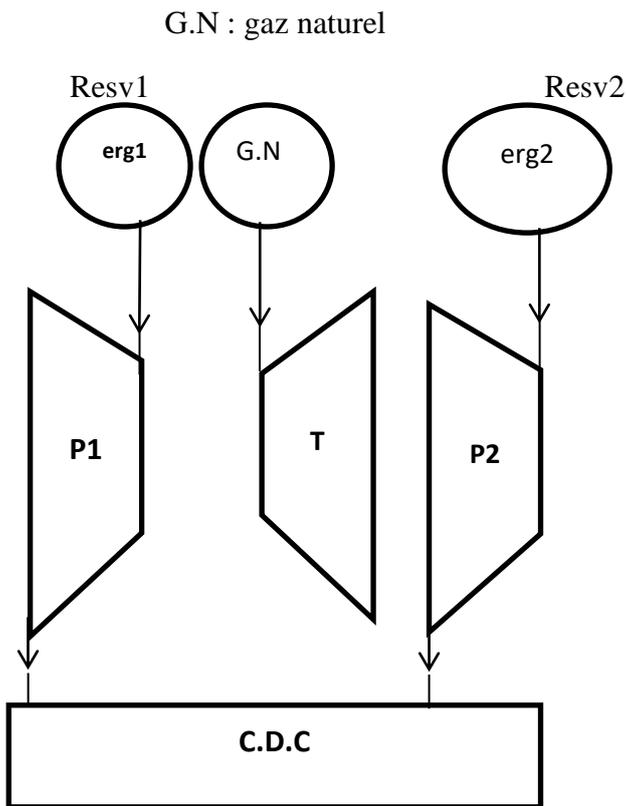
- Le système d'alimentation en ergols.
- Le dispositif d'injection des ergols.
- La chambre de combustion.
- Le système de refroidissement.
- La tuyère d'éjection.

Le système d'alimentation en ergols :

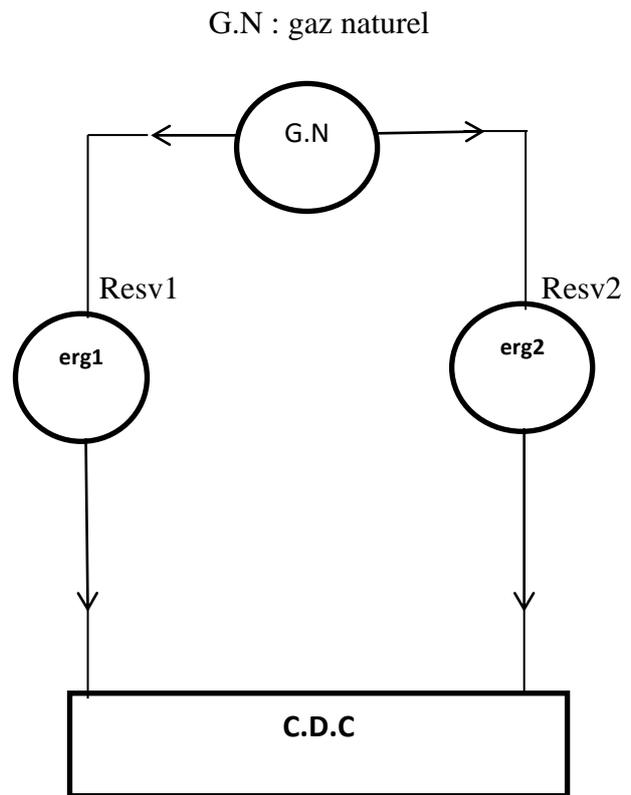
Le système d'alimentation en ergols fournie au moteur de fusée la quantité de propergol nécessaire. Pour cela il existe deux types Le système d'alimentation, deux procédés qui sont :

- La mise sous-pression des réservoirs pour les faibles puissances.
- Le pompage des réservoirs à l'aide d'une turbine pompes pour les grandes puissances.

Schématisation



Puissance élevé



Puissance faible

Systèmes d'alimentation en ergols

le système d'injection :

Dans ce cas le dispositif à travers de injecteur fournis les débits des ergols pour les repartir uniformément dans la zone d'injection le plus rapidement possible et prépare le mélange par turbulence.

la chambre de combustion :

On trouve une grande analogie avec la chambre de combustion classique dans le moteur à combustion interne ou dans le moteur Diesel. C'est l'élément le plus important d'un moteur fusée où s'effectuent les opérations suivantes :

- L'injection des ergols : sous forme de jets ou nappes liquides.
- La désintégration du jet en gouttes.
- L'évaporation des gouttes.
- Le mélange des vapeurs.
- La combustion proprement dite.

Parmi les caractéristiques principales d'une C-D-C ou de dimensionnement en distingue :

- Le volume V_0 : qui doit être suffisamment grand.

- Le poids : qui doit être suffisamment petit.
- Le diamètre : surtout pour les mono moteurs qui fixe le diamètre de la fusée.

On peut citer aussi d'autres caractéristiques tels que le *temps de séjour t_s* , et la *longueur caractéristique L^** qui doivent être pris en considération.

Système de refroidissement :

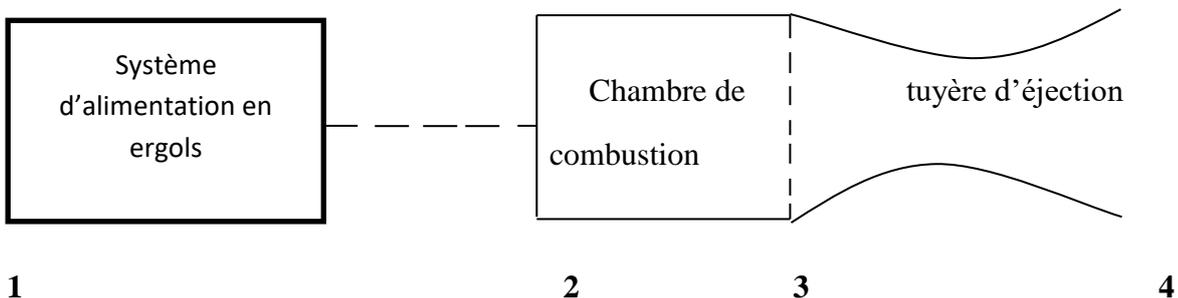
Les combustions thermique à l'intérieur de C-D-C sont très élevée il est donc nécessaire d'utiliser des matériaux capables de résister au choc thermique en tenant compte du temps de séjour et prévoir un dispositif de refroidissement des matériaux.

la tuyère d'éjection :

C'est un élément très important dans le moteur fusée, une conduite de type convergent-divergent. Elle peut être orientable pour changer la trajectoire de la fusée sinon il faut orienter le jet des gaz d'échappement.

3.3 Analyse et étude énergétique d'un moteur fusée liquide :

Comme pour le turboréacteur on numérote le moteur fusée qui comprend l'alimentation, la chambre de combustion et la tuyère d'éjection depuis l'entrée jusqu'à la sortie.



Fonctionnement

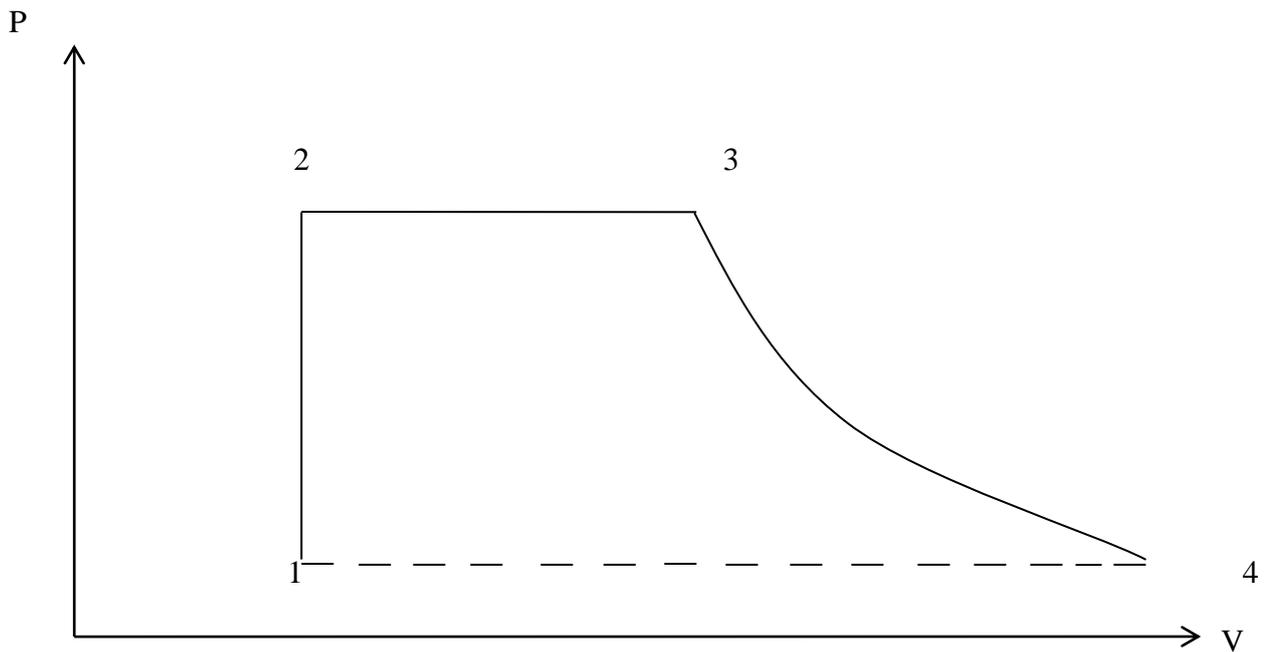
De point de vue énergétique on trouve successivement les transformations suivantes :

- Une compression isochore à l'état liquide. (entre le point 1 et le point 2).
- une combustion isobare (avec ou sans perte). (entre le point 2 et le point 3).
- Une détente adiabatique des produits de combustion. (entre le point 3 et le point 4).
- Dilution dans l'ambiance.

Cycle :

Le cycle d'un moteur fusée à propergol liquide peut être représenté dans un diagramme de Clapeyron (PV)

Diagramme de Clapeyron (PV)



L'étude énergétique nous conduit aux performances suivantes :

Avec $Q_{m \text{ propergol}} = Q_{m \text{ erg1}} + Q_{m \text{ erg2}}$

- **Poussée :**

$$P_{Fusée} = Q_{m \text{ propergol}} * C_4 + S_4(P_4 - P_{amb}).$$

Tuyère adapte : $P_4 - P_{amb}$.

- **Puissance propulsion :**

$$P_{Prop} = P_{fusée} + V_{fusée}$$

$V_{fusée}$: vitesse de fusée.

$P_{fusée}$: Poussée.

- **Puissance fourni pour l'ergol :**

$$P_c = Q_{m \text{ propergol}} * (P_c^\lambda + \frac{Vf^2}{2})$$

- **Puissance cinétique de gaz :**

$$P_{cin \text{ des gaz}} = Q_{m \text{ propergol}} * (Vf^2 + C_4^2)/2$$

- **Rendement thermique :**

$$\eta_{th} = \frac{(C_4^2/2)}{P_c^i + (\frac{V_{fusée}^2}{2})}$$

- **Consommation spécifique :**

$$C_{sp} = \frac{Q_{m_{propergol}}}{P_{fusée}}$$

- **Rendement propulsion :**

$$\eta_{prop} = \frac{P_{fusé} * V}{Q_{m_{propergol}} * (Vf^2 + \frac{C_4^2}{2})}$$

- **Impulsion :**

$$I_{mp} = \frac{1}{C_{sp}}$$