

Banc d'essais pour turboréacteur

Fermeture géométrique

1. MISE EN CONTEXTE

Les propulseurs utilisés dans les applications militaires ou civiles subissent, avant leur mise en service, des tests de certification visant à contrôler leur bon fonctionnement et le respect des normes de sécurité.

Ces tests consistent à simuler au sol les conditions de vol subies par le propulseur et à observer les réactions de celui-ci consécutives à des commandes de pilotage.

La **DGA** (Direction Générale de l'Armement) dispose dans son centre d'essais des propulseurs, situé à Saclay, de bancs d'essais dédiés à la certification et à la mise au point de différents types de propulseurs d'avions ou de missiles.



Figure 1- Avion de combat Rafale propulsé par deux moteurs Snecma M88

Un turboréacteur est un propulseur fonctionnant sur le principe d'action-réaction. La différence de vitesse entre l'air entrant et les gaz produits entraîne une variation de quantité de mouvement et donc un effort de poussée (voir Figure 2).

L'air ambiant est conditionné à l'entrée puis comprimé à l'aide de compresseurs centrifuges à étages multiples. Le carburant est alors injecté dans la chambre de combustion, mélangé à l'air puis enflammé, ce qui produit ainsi l'énergie permettant l'accélération des gaz au passage de la tuyère d'éjection à ouverture variable. Leur passage dans une turbine permet en outre d'entraîner les étages de compression.

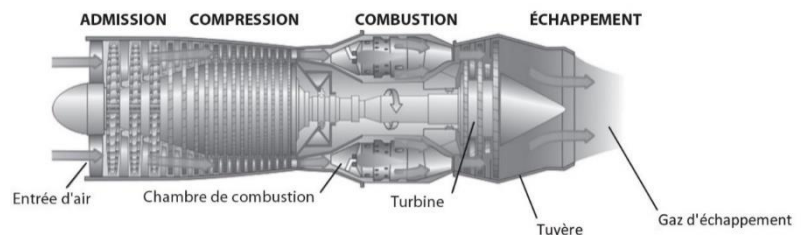


Figure 2 – Structure d'un turboréacteur

Le banc d'essais est situé dans son contexte par le diagramme de contexte de la Figure 3.

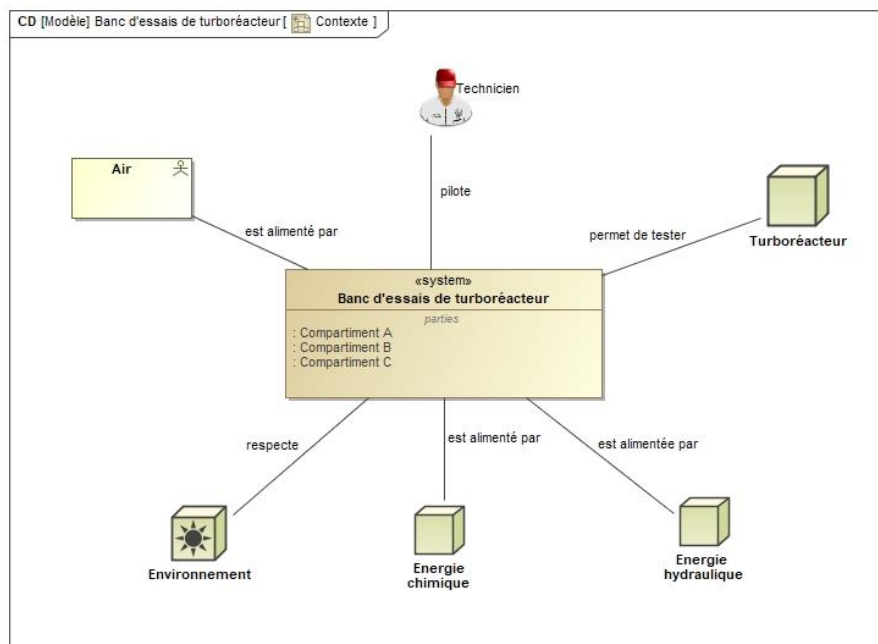


Figure 3 - Diagramme de contexte du banc d'essais.

Un banc d'essais de turboréacteur est constitué de trois compartiments (voir Figure 4).

Le premier compartiment (A) est alimenté par une soufflerie et a pour fonction de conditionner le flux d'air en amont de la turbomachine testée. Il est ainsi possible de contrôler le débit, la température et la pression de l'air en admission.

Le deuxième compartiment (B) contient le propulseur à tester. Celui-ci est maintenu par une structure porteuse permettant entre autres les mesures des efforts de poussée. Il est séparé du compartiment (A) par une cloison étanche munie d'un orifice permettant le passage de l'air calibré. Le flux d'air peut alors être laissé libre en amont du réacteur ou guidé par un raccordement jusqu'à l'entrée de celui-ci, permettant ainsi des essais dits en "veine forcée".

Le troisième compartiment (C) permet la collecte et l'évacuation des gaz produits lors de la combustion.

La pression à l'intérieur du compartiment (B) est régulée afin de simuler différentes conditions d'altitude.

Des vannes inter-compartment permettent d'assurer une circulation d'air autour du réacteur afin de simuler le refroidissement externe du moteur en fonctionnement.

La pression du compartiment A est ajustable de 0,05 à 3 bar. Celle des compartiments B et C de 0,05 à 1,05 bar. La température d'alimentation du compartiment A est variable de -56°C à +150°C. La capacité de ventilation est réglable de 27 à 40 kg/s. En réglant ces différents paramètres, il est possible de simuler sur ce type de banc l'ensemble des conditions d'utilisation d'un turboréacteur.

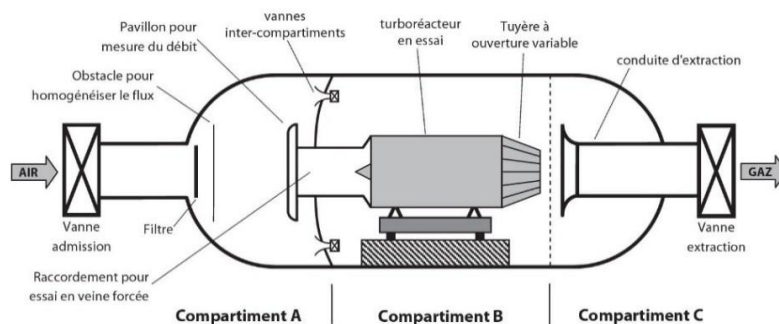


Figure 4- Structure du banc d'essais

Le diagramme de définition de blocs de la Figure 5 présente l'architecture du banc d'essais.

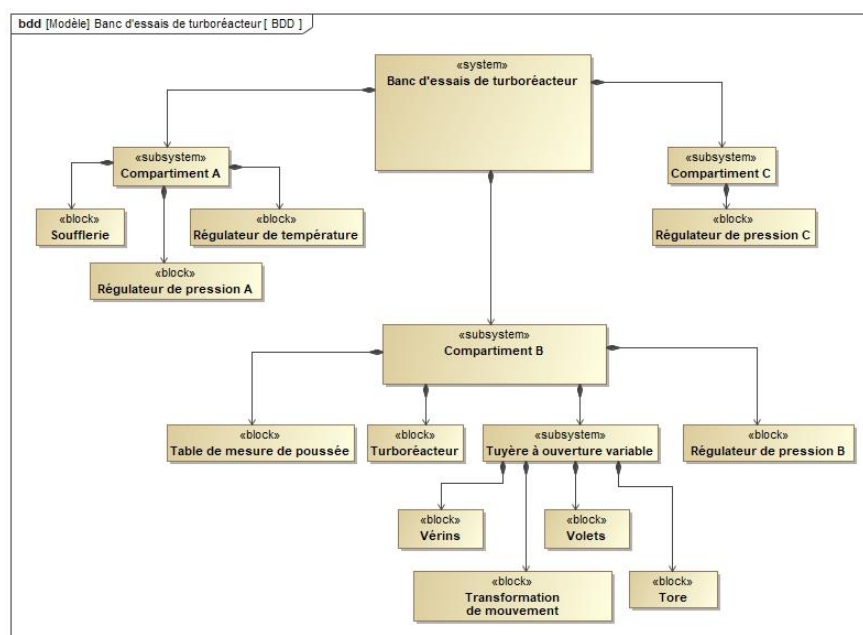


Figure 5 - Diagramme de définition de blocs du banc d'essais.

La tuyère à ouverture variable montée sur le tube, en aval de l'écoulement, a pour fonction de faire varier la section de la veine de fluide en sortie de tube.

La solution imaginée consiste à disposer seize volets articulés sur la périphérie du tube qui permettent ainsi de réduire la section de passage du fluide (voir Figure 6 et Figure 7). Ces volets sont mis en mouvement par seize biellettes toutes identiques reliées à une pièce de forme torique (tore) elle-même mise en translation par quatre vérins hydrauliques répartis régulièrement autour du tube.

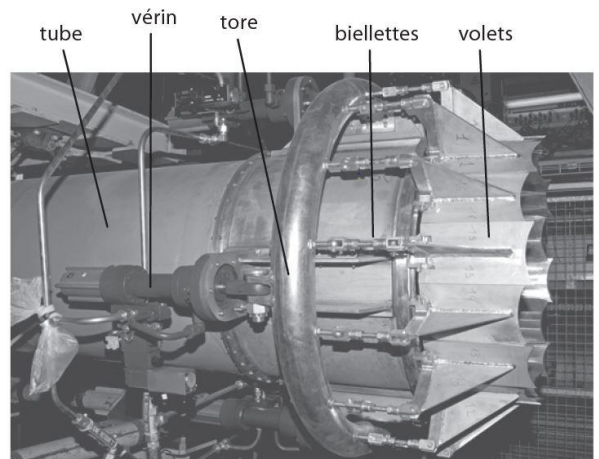


Figure 6- Structure de la tuyère à ouverture variable

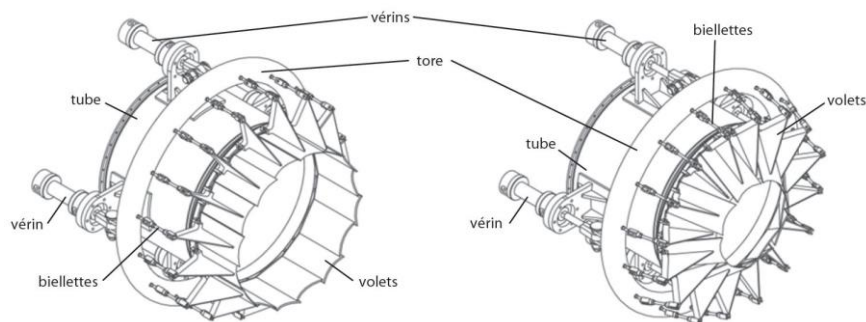


Figure 7- Positions pleine ouverture et ouverture réduite

2. CAHIER DES CHARGES

Quelques exigences sont proposées dans le diagramme d'exigences de la Figure 8.

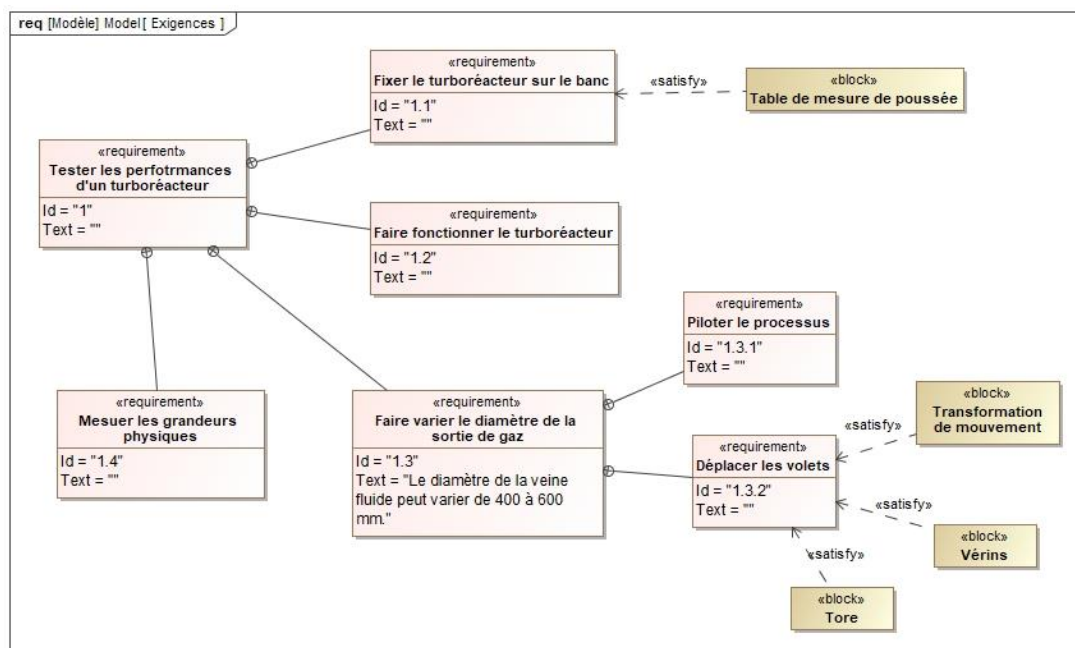


Figure 8 - Diagramme d'exigences partiel du banc d'essais.

3. PARAMETRAGE

Le paramétrage du mécanisme de la tuyère à ouverture variable est donné Figure 9.

On suppose que le mécanisme étudié admet le plan $(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$ comme plan de symétrie géométrique.

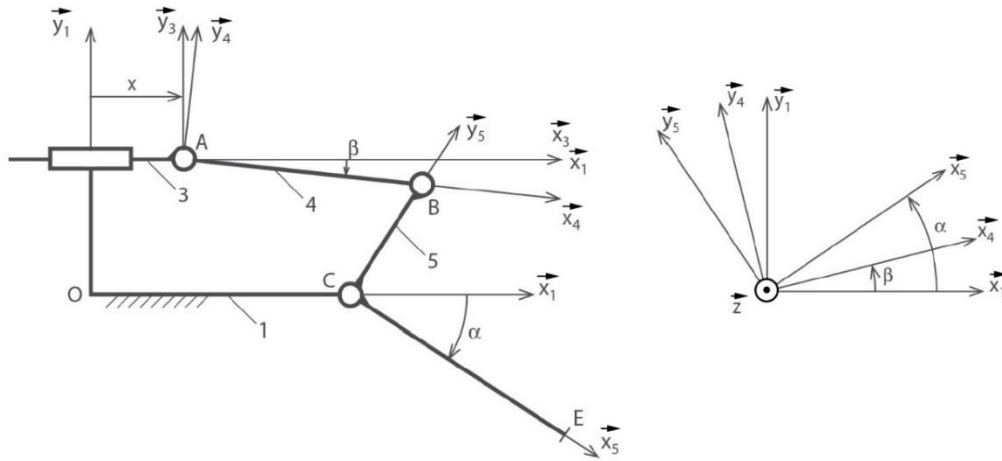


Figure 9- Modèle cinématique et figures planes associées

La tige de vérin **3** se translate par rapport au carter **1** selon \vec{x}_1 . Le paramètre linéaire est $x(t)$. La bielle **4** est articulée en A avec la tige de vérin **3** et en B avec le volet **5**. Le volet **5** est articulé en C avec le bâti **1**.

On donne les informations suivantes :

Pièces et repères associés

1 – Bâti : $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z})$

3 – Tige vérin : $R_3(A, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z})$

4 – Bielle : $R_4(A, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z})$

5 – Volet : $R_5(C, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z})$

Données géométriques

$$\overrightarrow{OA} = x(t). \vec{x}_1 + h. \vec{y}_1$$

$$\overrightarrow{OC} = l. \vec{x}_1$$

$$\overrightarrow{AB} = l. \vec{x}_4$$

$$\overrightarrow{CB} = h. \vec{y}_5$$

$$\overrightarrow{CE} = L. \vec{x}_5$$

Paramètres

$$\alpha(t) = (\vec{x}_1, \vec{x}_5) = (\vec{y}_1, \vec{y}_5)$$

$$\beta(t) = (\vec{x}_1, \vec{x}_4) = (\vec{y}_1, \vec{y}_4)$$

$$x(t) = \overrightarrow{OA} \cdot \vec{x}_1$$

La position initiale est définie par $x(0) = 0 \text{ mm}$ et $\alpha(0) = 0^\circ$.

4. VALIDATION DE L'EXIGENCE 1.3

Objectif : Vérifier que le diamètre de la veine fluide peut varier de 400 à 600 mm.

- 1.1 Tracer le graphe de liaisons et le graphe de paramétrage.
- 1.2 Ecrire une fermeture géométrique et la projeter dans la base (\vec{x}_1, \vec{y}_1) .
- 1.3 Eliminer l'inconnue $\beta(t)$ puis exprimer $\alpha(t)$ en fonction de $x(t)$.
- 1.4 Exprimer le diamètre $D(t)$ de la veine fluide en fonction de $\alpha(t)$ et D_0 diamètre initial de la tuyère ($D_0 = 600 \text{ mm}$).
- 1.5 L'exigence 1.3 est-elle validée ?