

Le Turboréacteur, Moteur des Avions à Réaction

**Description simplifiée,
principes de fonctionnement,
principales caractéristiques**

Jean-Claude Thevenin
AAAF- Avril 2004

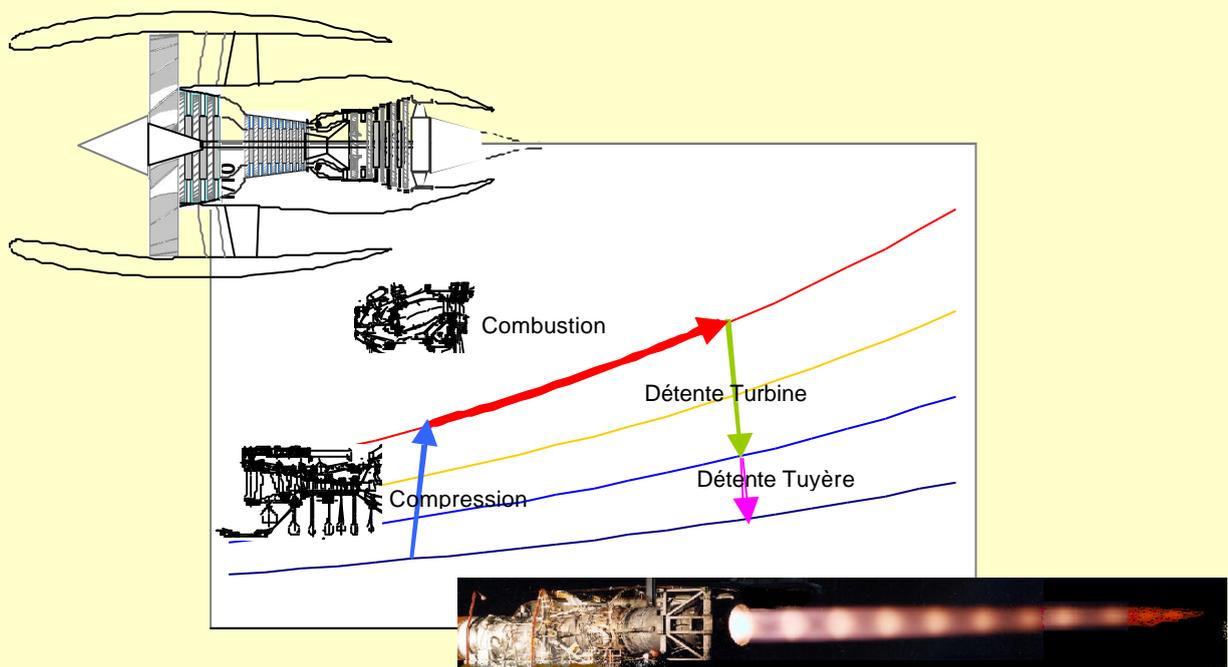


Table des matières

Préambule

Bref historique du turboréacteur

Chapitre I : Les principes de la propulsion par réaction

Chapitre II : Les différents types de propulseurs à réaction et leurs poussées

- 2.1 Le mode de classification
- 2.2 Les moteurs fusées
- 2.3 La famille des turboréacteurs
- 2.4 Le turboréacteur « mono-flux »
- 2.5 Le turboréacteur “double-flux séparés”
- 2.6 Le turboréacteur “double-flux mélangés”
- 2.7 Les autres types de propulseurs

Chapitre III : Le principe de fonctionnement du turboréacteur

3.0 Question préliminaire

3.1 Les cycles de turboréacteurs

- 3.1.1 Le cas du turboréacteur « mono-flux » et « simple-corps ».
- 3.1.2 Le principe de la réchauffe (ou Post-Combustion ou PC)
- 3.1.3 Cas du turboréacteur « mono-flux » mais « double-corps »
- 3.1.4 Cas du turboréacteur « double-flux, simple-corps »
- 3.1.4 Cas du turboréacteur « double-flux , à double, voire triple-corps ».

3.2 Les organes des turboréacteurs et leurs fonctions

- 3.2.1 L'admission :
- 3.2.2 La compression :
- 3.2.3 La chambre de combustion :
- 3.2.4 La détente dans la Turbine
- 3.2.5 La réchauffe (ou Post-combustion) ou PC
- 3.2.6 La détente dans la tuyère puis l'éjection
- 3.2.7 L'inversion de jets avec le système de « reverse »
- 3.2.8 Les paliers et enceintes

3.3 Le pilotage du turboréacteur

3.4 Le carburant

Chapitre IV : L'intégration du turboréacteur à l'avion

- 4.1 L'installation des turboréacteurs sur avion
- 4.2 La nacelle
- 4.3 Les prélèvements d'air et de puissance

Chapitre V : Les matériaux, la conception mécanique et la fabrication

- 5.1 Les enjeux du turboréacteur
- 5.2 Les matériaux d'un turboréacteur
- 5.3 La conception mécanique d'un turboréacteur
- 5.4 La fabrication et le contrôle qualité du turboréacteur

Chapitre VI : Quelques chiffres caractéristiques

- 6.1 Cas des turboréacteurs d'avions de transport civil subsoniques
- 6.2 Cas du moteur OLYMPUS 593 de Concorde
- 6.3 Cas des turboréacteurs d'avions de combat

Annexe 1 : La thermodynamique du turboréacteur

Annexe 2 : Les vitesses d'écoulement dans les aubages

Préambule

Début 2003, l'AAAF (Association Aéronautique et Astronautique de France) a entrepris de refondre son site Internet avec deux objectifs majeurs, à savoir: développer la communication avec et entre ses membres et s'ouvrir plus largement au monde des passionnés de l'aéronautique et de l'astronautique. Depuis quelques mois, les responsables du nouveau site web, dont je suis, reçoivent régulièrement des questions que de jeunes (et moins jeunes) internautes nous posent sur nos techniques, nos métiers, nos matériels, etc... Ces questions couvrent à peu près tous les domaines de l'aéronautique et de l'astronautique. Nous avons retenu ici celui de la propulsion des avions à réaction.

Le présent document vise à apporter des réponses à la plupart des questions concernant ce domaine en utilisant le minimum de formules mathématiques et ne faisant appel aux lois de la physique que le plus simplement possible. A cette fin, j'ai repris les idées pédagogiques du « petit livre orange » intitulé « Les turboréacteurs » que Serge Boudigues avait publié aux Editions Dunod en 1971 (édition épuisée) ainsi que celles des fascicules réalisés par le Département « Formation » et le Département « Veille et Connaissances » de la Snecma sur le même sujet.

Sur certains points, j'ai jugé utile d'apporter quelques compléments plus techniques mais dont la lecture est facultative; elles sont en italiques dans le texte. J'ai puisé nombre d'entre eux dans les cours professés à Sup'Aéro par Jean Decouflet. Si le lecteur souhaite des approfondissements en aérodynamique, je renvoie à d'autres publications dans le site web AAAF et, en particulier, sur les « didacticiels » de Jean Détery.

M'ont beaucoup aidé dans la rédaction de ce document, d'éminents ingénieurs de Snecma et membres, voire présidents de Commissions Techniques, de l'AAAF : Isabelle Dubois, Valérie Guénon, Claudine Planquet, Christophe Brisset, André Carrillo, Bernard Guillot, Robert Kervistin, Alain Lardellier, Alain Lasalmonie, Olivier Mahias, Guy-Louis Rideau, Alain Varizat et bien d'autres encore.

Les photos et schémas de moteurs existants sont tirés de la documentation de Snecma Moteurs, d'Hispano Suiza et d'autres sociétés du Groupe Snecma ainsi que celles de ses partenaires.

Bref historique du turboréacteur

Selon nos sources, le turboréacteur est né en Europe dans les années qui ont précédé la 2ème guerre mondiale. La liste des inventeurs de moteurs de ce type est plutôt longue et il est difficile de dire qui fut réellement le précurseur. En fait, la plupart des idées pour propulser des engins volants était dans l'air (à double titre !) depuis le milieu du XIXème siècle. Comme beaucoup de technologies qui font appel à de multiples disciplines, celle du turboréacteur d'aujourd'hui est le produit d'une longue succession d'inventions où chaque ingénieur et chaque technicien a apporté sa contribution, aussi modeste fut-elle.

Le principe consistant à créer un jet propulsif par compression puis chauffage de l'air a été breveté en 1908 par le français René Lorin. Dans ce cas, la compression était produite par un moteur à piston. En parallèle, a émergé le principe de la turbine à gaz qui transforme l'énergie des gaz de combustion en énergie de rotation (Suédois G. de Laval). L'association de ces 2 principes conduit dans les années 30, aux idées puis à la réalisation des premiers turbomoteurs. Ceux-ci entraînaient une hélice. Le turboréacteur n'était pas loin. En 1930, Maurice Roy décrit une « turbofusée » qui a tous les constituants de base du turboréacteur.

Les premiers turboréacteurs furent fabriqués un peu plus tard, lorsque les matériaux et les technologies le permirent. Ils apparurent presque simultanément, à partir de 1937, en Grande Bretagne (Franck Whittle), en Allemagne (Pabst von Ohain, Heinkel) et en France (Sensaud de Lavaud, René Anxionnaz, Rateau,).

D'abord d'usage militaire, les turboréacteurs furent rapidement utilisés pour la propulsion des avions civils. Le premier avion de transport civil à réaction à voler fut le Comet de De Havilland avec 4 moteurs DH Ghost (GB). Le 1^{er} vol commercial eut lieu entre Londres et Johannesburg, en mai 1952. Malgré les accidents qui frappèrent cet avion, accidents qui n'étaient pas dus aux moteurs, l'épopée des avions à réaction qui venait de commencer allait se poursuivre brillamment.

A partir des années soixante, le moteur à explosion et à hélice fut progressivement remplacé par ce nouveau moyen de propulsion qui a multiplié par plus de deux les vitesses de croisière, tout en permettant aux avions long-courriers d'aller de Paris à New York en vol direct, sans escale. Ce fut l'époque des premiers Boeing 707 et DC8 (à partir de 1958) équipés de JT3C, bruyants et gourmands en carburant, ou de JT3D un peu plus performants, de la Caravelle de Sud Aviation (à partir de 1959) avec moteurs RR Avon puis JT8D. A partir de 1970, entrèrent en service les avions propulsés par des moteurs à double flux et à grand taux de dilution, comme les Boeing 747 équipés de JT9D de Pratt&Whitney, qui marquèrent une avancée importante et décisive dans l'épopée de l'aviation civile à réaction.

Du côté militaire, les progrès furent sensationnels. Les enjeux étaient la vitesse maximale (c'est à qui dépasserait le premier la vitesse du son ou ses premiers multiples, en piqué, puis en vol horizontal ou en montée), l'altitude maximale, la capacité d'emport, la discrétion, l'accélération...et la maniabilité. Qui ne se souvient pas des figures dites du cobra exécutées par les avions Russes, MIG 29 et SUKHOI 27 aux salons du Bourget dans les années 90 !

Pour ne pas disparaître, les entreprises qui étudiaient et fabriquaient des moteurs à pistons avant la 2^{ème} guerre mondiale ont du se reconvertir rapidement à ce nouveau type de moteur qu'était le turboréacteur. Les autres ont périclité. Le développement extraordinaire de l'aviation à réaction commerciale a conduit à une forte expansion de cette industrie, mais aussi à une sélection impitoyable. Elle a donné lieu à de nombreux regroupements industriels. En France, par exemple, la société Gnôme et Rhone qui avait absorbé les Moteurs d'Aviation Lorraine, donna naissance à la Snecma en 1945. D'autres sociétés renommées telles que : Hispano-Suiza, TURBOMECA (1938) et MICROTURBO (1961) rejoignirent le Groupe Snecma un plus tard.

Entre les grands industriels restants, pour les principaux avionneurs : Boeing, Airbus...et les principaux motoristes : General Electric, Pratt&Withney, Rolls Royce, Snecma SA... la compétition est certes sévère, mais les coopérations croisées sont aussi très actives. Dans ces coopérations, la France et la Grande Bretagne, avec Concorde et ses moteurs Olympus 593, puis l'Europe, avec AIRBUS, la France et les USA avec les moteurs CFM 56 de CFMI (50% Snecma-50% GE) et bien d'autres encore sont exemplaires .

Pour ceux qui veulent en savoir plus sur l'histoire du turboréacteur en France, je recommande l'ouvrage de A.Bodemer et R.Laugier « L'ATAR et tous les autres moteurs à réaction Français », Edition L.D.REBER, 1996. Je recommande aussi la visite du musée des moteurs de Snecma, à Villaroche, près de Melun (Conservateur : Jacques Hauvette de Snecma Moteurs).

Chapitre I

Les principes de la propulsion par réaction

La propulsion des avions "à réaction" s'appuie, principalement, sur deux branches de la science physique :

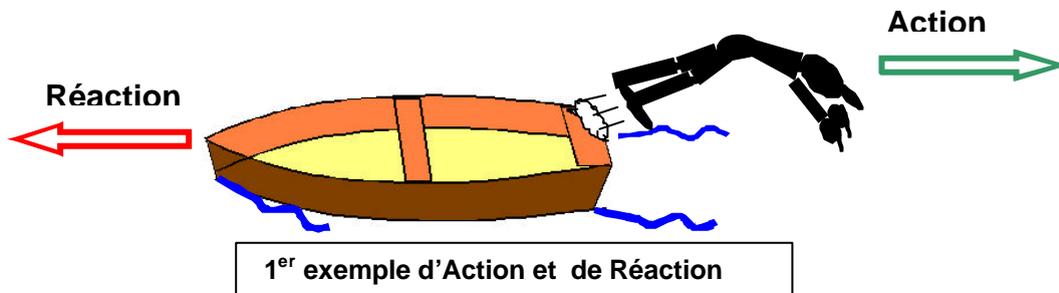
- 1°) la mécanique : avec le principe de "l'action et de la réaction",
- 2°) l'aérodynamique : avec les "jets propulsifs".

(nous verrons en annexe que la transformation d'énergie dans le turboréacteur s'appuie sur une troisième branche, la thermodynamique).

La réaction:

Elle est la conséquence d'une action. Par exemple, imaginez que vous êtes dans une barque sur l'eau d'un étang. Lorsque vous tirez sur les rames, vous exercez une « action » qui propulse la barque par « réaction ». Si vous plongez hors de la barque ou si vous sautez sur la berge, la barque va de se déplacer en sens contraire, par la réaction qui résulte de l'action que vous avez exercée en vous éjectant du bateau.

Il est à noter que cette action est quasi instantanée et qu'il en est de même pour la réaction. La barque subit une impulsion et sera freinée par le frottement de l'eau au bout de quelques secondes. On notera aussi qu'il existe un autre couple action-réaction, permanent celui-là, qui équilibre le poids de la barque par la poussée d'Archimède, l'empêchant ainsi de couler.



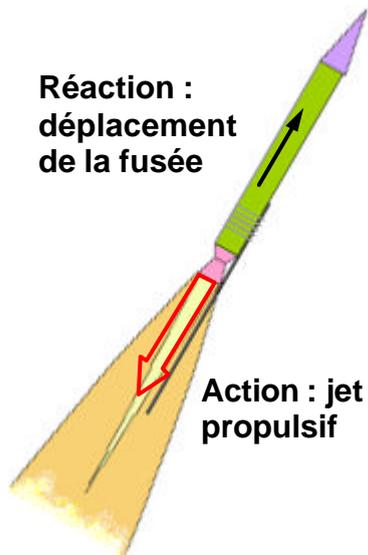
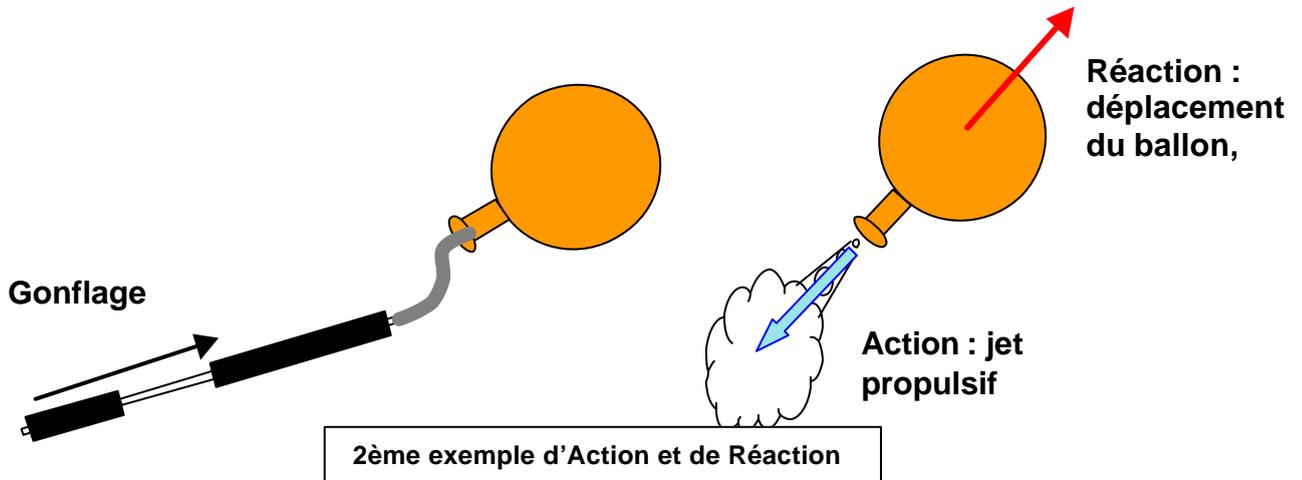
Le principe de l'action et de la réaction régit ainsi de nombreux phénomènes d'équilibre statique et de locomotion, dont la marche à pied, le déplacement en bicyclette, le déplacement en automobile ... et, bien sûr, celui en avion.

L'action et la réaction qui en résulte correspondent à des forces égales et de sens opposés.

La réaction par jet :

Si vous gonflez un ballon baudruche puis si vous le lâchez en laissant s'échapper l'air qu'il contient, le ballon va se déplacer dans l'espace jusqu'à ce que la réserve d'air sous pression se soit épuisée. L'air qui s'échappe de l'embouchure du ballon (à une vitesse V_j) crée une action; le ballon se déplace (à une vitesse V_b) par réaction.

Les deux figures ci-après illustrent cette expérience qui est à la portée de chacun.



3ème exemple d'Action et de Réaction

Les fusées des feux d'artifice sont propulsées grâce à l'éjection des gaz sous pression qui résultent de la réaction chimique interne d'un mélange solide de « carburant » et de « comburant ». Les gaz qui s'échappent de la fusée (à une vitesse V_j) créent une action; la fusée se déplace (à une vitesse V_b) par réaction.

Les fusées modernes qui envoient des véhicules dans l'espace et qui mettent des satellites en orbite, par exemple ARIANE 4 ou 5, se propulsent de façon similaire. Les gaz du jet propulsif sont produits en général par la réaction chimique (ou combustion) de mélanges carburant-comburant très énergétiques, liquides ou solides. Ces carburants et comburants sont nommés « propergols ».

Les "turboréacteurs" (qui seuls font l'objet du présent document) ainsi que les "statoréacteurs" et les "pulsoréacteurs", n'emportent pas avec eux les gaz de propulsion, mais seulement le carburant. Ils absorbent de l'air et le rejettent après l'avoir accéléré. Les propulseurs à hélice, procèdent de même, bien que les limites du volume d'air que les hélices accélèrent, ne soient difficiles à matérialiser.