

ÉTAT DU VALAIS  
VILLE DE SION

L'AÉROPORT DE SION FACE À SON AVENIR

NOTE TECHNIQUE N° 2

**UTILISATION DE LA  
POSTCOMBUSTION**

Direction de l'étude de l'EPFL:  
Dr Pan. Tzieropoulos

Doc. LITEP 351/02

Novembre 2010

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>LA TECHNIQUE DE LA POSTCOMBUSTION.....</b>	<b>1</b>
1.1	Objet de la note technique.....	1
1.2	Historique sommaire .....	1
1.3	Principe de fonctionnement d'un turboréacteur .....	2
1.4	Postcombustion .....	2
1.5	Facteurs influençant les performances du turboréacteur .....	3
<b>2</b>	<b>À PROPOS DE LA LONGUEUR.....</b>	<b>4</b>
2.1	Principe.....	4
2.2	En Suisse.....	4
<b>3</b>	<b>À PROPOS DU BRUIT .....</b>	<b>6</b>
3.1	Origine et niveau.....	6
3.2	Le cas du F/A-18 .....	6
3.2.1	Un malentendu? .....	6
3.2.2	Procédures de décollage.....	6
3.2.3	Cadastre du bruit.....	7
<b>4</b>	<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>8</b>

*L'étude sur l'avenir de l'aérodrome de Sion a été confiée par le Conseil d'État du Valais à un groupement d'études, dirigé par l'EPFL-LITEP (Intermodalité des transports et planification) de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), et composée de:*

<i>Groupe EPFL-LITEP</i>	<i>Direction générale de l'étude Méthodologie et études économiques</i>
<i>Hertig &amp; Lador SA</i>	<i>Études environnementales</i>
<i>Laboratoire EPFL-REME</i>	<i>Évaluation des impacts sur le foncier</i>
<i>Monsieur Joseph In-Albon</i>	<i>Potentiel de développement</i>

*Le présent document constitue une des notes techniques produites dans le contexte de cette étude et rédigée sous la responsabilité de l'EPFL-LITEP. Y ont contribué:*

<i>Marine Vidaud</i>	<i>Rédaction de la note</i>
<i>Dr P. Tzieropoulos</i>	<i>Responsabilité de la rédaction</i>

*Les conclusions, appréciations et qualifications contenues dans le présent document relèvent de la seule responsabilité de l'EPFL-LITEP.*

*Lausanne, le 11 novembre 2010*

# 1 LA TECHNIQUE DE LA POSTCOMBUSTION

## 1.1 Objet de la note technique

Le décollage avec postcombustion des gaz d'échappement est mis à l'index, car générateur d'un bruit supplémentaire. La présente note recueille et présente quelques informations de base sur la postcombustion, utilisée notamment lors de décollages de F/A-18 de la Base aérienne de Sion.

## 1.2 Historique sommaire

La postcombustion est utilisée dans l'aviation militaire depuis les années 50. À l'époque, elle constituait le seul moyen pour atteindre la vitesse supersonique. Aujourd'hui, elle offre toujours une réserve de puissance pour réaliser des pointes de vitesse ou pour obtenir une forte accélération permettant un décollage plus court.

Deux avions civils ont eu recours à la post combustion : le Concorde et le Tupolev Tu-144.

En Suisse, la postcombustion dans l'aviation est utilisée dès le début des années 60 (Tableau 1). Après le Vampire (de De Havilland) acquis dès la fin des années 40 et Hawker Hunter (de Hawker-Siddeley) commandé en janvier 1958, le Mirage III (de Dassault) est acheté au début des années 60. Ce dernier est le premier appareil équipé d'un turboréacteur à postcombustion (à 1 tuyère). En 1978, la Suisse achète le F5 Freedom Fighter (F/5-E et F/5-F de Northrop). Le F/A-18 (F/A-18-C et F/A-18-D de McDonnell Douglas) acquis en 1997 dispose également d'un turboréacteur avec postcombustion (à 2 tuyères).

Appareil	Constructeur	Année d'achat	Nombre	Postcombustion	Nombre de tuyères
Vampire	De Havilland	1949, 1951, 1960	221	Sans	1
Hawker Hunter MK 58/58A, TMK 68	Hawker-Siddeley	1958	73	Sans <sup>1</sup>	1
Mirage III-C, III-BS, III-S, III-RS	Dassault	1962, 1964, 1966, 1971, 1983	60	Avec	1
F/5-E, F/5-F	Northrop	1978	90	Avec	1
F/A-18-C, F/A-18-D	McDonnell Douglas	1997	34	Avec	2

**Tableau 1: Avions de chasse des Forces aériennes suisses et postcombustion**

<sup>1</sup> Le Hawker F3 prototype avait un réacteur à postcombustion. La Suisse a acquis des Hawker TMK 68, version plus ancienne que le F3, sans postcombustion.

### 1.3 Principe de fonctionnement d'un turboréacteur<sup>2</sup>

Un turboréacteur fonctionne sur le principe d'action - réaction. La force nécessaire (dénommée poussée) pour accroître la vitesse du flux d'air entre l'entrée et la sortie du réacteur crée une quantité de mouvement vers l'arrière du moteur qui, par réaction, - d'où le terme de moteur à réaction - engendre le déplacement vers l'avant du moteur, donc de l'appareil sur lequel il est fixé.

Pour accélérer le flux d'air entre l'entrée et la sortie, le turboréacteur fonctionne sur le même principe qu'une hélice d'avion, à ceci près qu'il utilise l'énergie fournie par la combustion du kérosène pour maintenir en mouvement l'hélice et pour éjecter des gaz à grande vitesse.

Le turboréacteur fonctionne sur le principe des turbines à gaz (Figure 1). À l'admission, l'air est aspiré par la soufflante puis comprimé. Du kérosène est ensuite injecté dans l'air au niveau de la chambre de combustion puis enflammé, ce qui permet de fortement dilater les gaz. Ces derniers s'échappent du turboréacteur par la tuyère qui, en raison de sa section rétrécissant, accélère la vitesse de l'air. L'air passe au préalable par une turbine et l'entraîne, ce qui à son tour fait tourner la soufflante; et ainsi de suite.

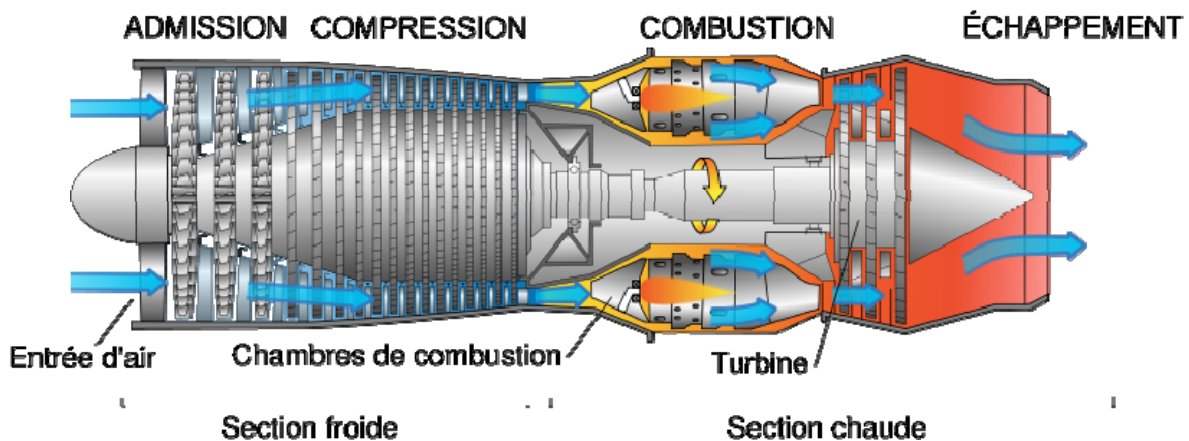


Figure 1: Principe de fonctionnement d'un turboréacteur

Source: [http://broadway.canalblog.com/archives/aviation\\_militaire/index.html](http://broadway.canalblog.com/archives/aviation_militaire/index.html)

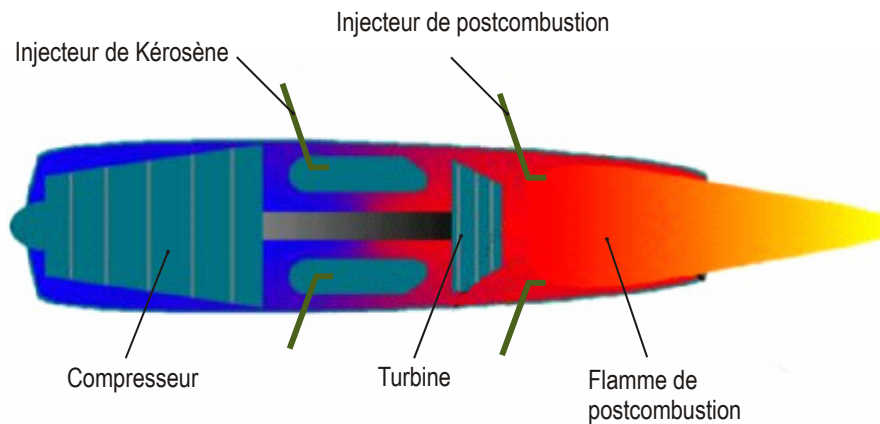
### 1.4 Postcombustion

Il y a deux façons d'augmenter la puissance fournie par un turboréacteur: augmenter le flux d'air du réacteur, ou la vitesse du flux. La postcombustion<sup>3</sup> augmente cette dernière. Elle consiste (Figure 2) à réinjecter du kérosène dans les gaz d'échappement, dans un canal prolongeant la tuyère du turboréacteur. La température élevée des gaz, comprise entre 1'800 K et 2'000 K, favorise la formation du mélange carburant - gaz ainsi que son inflammation et sa combustion. L'élévation de la température accélère les gaz d'échappement. Il se produit alors une réaction supplémentaire. Le fait de réchauffer l'air en sortie de réacteur permet d'augmenter la vitesse de sortie des gaz, et donc la poussée du réacteur.

<sup>2</sup> Ce texte est largement basé sur [http://broadway.canalblog.com/archives/aviation\\_militaire/index.html](http://broadway.canalblog.com/archives/aviation_militaire/index.html)

<sup>3</sup> Afterburn, en anglais, pour ce qui concerne l'action; afterburner, pour ce qui concerne le dispositif.

Sur les avions militaires, la poussée obtenue avec un maximum de postcombustion atteint en général 150% de la poussée à sec (sans postcombustion).



**Figure 2: Principe de fonctionnement de la postcombustion dans un réacteur**

Source: <http://perso.id-net.fr/~brolis/docs/reaction/turbo.html>

## 1.5 Facteurs influençant les performances du turbo réacteur

Les performances d'un appareil au décollage, déterminantes quant au besoin de recourir à la postcombustion, dépendent de nombreux facteurs:

- Le poids de l'avion  
Hormis le type d'appareil, ceci est directement lié à la configuration de l'appareil, soit présence, capacité et taux de remplissage de réservoirs auxiliaires de carburant, présence d'équipement optionnel (caméras infrarouge FLIR, ...) et d'armement. La configuration dépend à son tour de la durée et du genre de mission souhaitée.
- La densité de l'air  
La poussée dépend notamment de la masse volumique de l'air. Celle-ci varie avec la température et la pression atmosphérique. Plus la température extérieure augmente, plus la puissance des réacteurs diminue.
- Autres facteurs exogènes  
Les conditions météorologiques, la topographie, ... influencent également les performances de l'appareil au décollage.

Ces facteurs, comme développé par la suite, déterminent la longueur nécessaire au décollage qui, comparée à la longueur de la piste va déterminer le besoin de recourir ou non à la postcombustion.

## 2 À PROPOS DE LA LONGUEUR

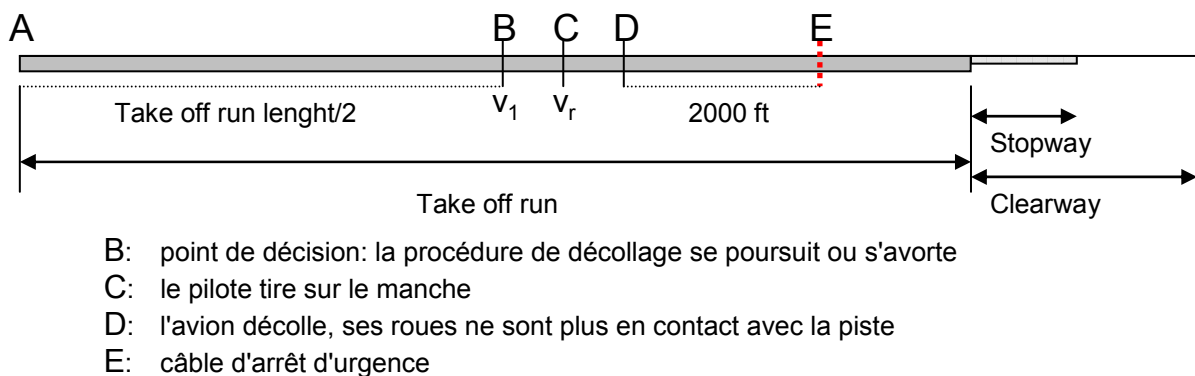
### 2.1 Principe

Le pilote doit, s'il l'estime nécessaire, pouvoir interrompre le décollage, à tout instant pendant la procédure. De ce fait, l'avion doit avoir atteint une certaine vitesse minimale bien avant la fin de la piste de manière à:

- soit pouvoir accomplir le décollage sans encombre et décoller avec une pente supérieure à une valeur minimale;
- soit interrompre le décollage et être capable de s'arrêter en sécurité; dans le cas particulier du décollage des avions à réaction militaires à Sion, il a la possibilité de s'arrêter en bout de piste en attrapant le câble d'arrêt d'urgence prévu à cet effet.

L'avion accélère (Figure 3) jusqu'à atteindre la vitesse  $V_1$  (au point B), vitesse limite au delà de laquelle le décollage doit obligatoirement avoir lieu, y compris en cas de dysfonctionnement majeur, en raison de la distance disponible sur la piste pour s'arrêter.

Lorsque l'appareil atteint la vitesse de rotation au point C, appelée  $V_r$ , le pilote peut commencer à tirer sur le manche pour donner à l'avion l'assiette de décollage, ce qui entraîne l'envol en D (les roues quittent le sol) et ensuite la montée.



**Figure 3: Grandeurs limites en procédure de décollage**

La vitesse de roulement nécessaire pour décoller,  $V_r$ , dépend des performances de l'avion, de sa configuration et de l'utilisation éventuelle de la postcombustion.

Les longueurs de décollage sont généralement données par les courbes de performances de l'appareil.

### 2.2 En Suisse

En Suisse, les procédures de décollage se basent sur des considérations liées:

- à la sécurité,
- au bruit,
- à la topographie et aux conditions géographiques locales,
- au type d'opération.

Les premières estimations concernant la longueur de décollage du F/A-18 avaient été faites avant l'introduction de l'appareil en Suisse. Le fait que, pour des raisons de sécurité, la postcombustion doit être enclenchée durant la phase d'accélération jusqu'au décollage proprement dit - en particulier dans la configuration avec un réservoir externe - n'a été consolidé qu'après l'introduction de l'avion, lors de ses missions opérationnelles.

Actuellement, en configuration standard ou d'entraînement, le F/A-18 doit à Sion recourir à la postcombustion pour des températures externes supérieures à 0° C, afin de pouvoir atteindre les paramètres de vols nécessaires sur une distance de roulement aussi courte que possible et un temps de réaction suffisant pour qu'en cas d'interruption de décollage, l'aéronef puisse accrocher le second câble d'arrêt d'urgence<sup>4</sup>.

Les procédures de décollage pour le F/A-18 en Suisse se basent sur règlement (Operating Manual) délivré par Naval Air Training and Operating Procedures Standardization et certaines règles propres à l'utilisation du F/A-18 en Suisse:

- le décollage n'est pas autorisé, si le roulement nécessaire calculé pour le décollage de l'appareil est supérieur à 80% de la longueur disponible de la piste;
- le décollage doit avoir lieu 2'000 ft (soit environ 610 mètres) avant le câble d'arrêt d'urgence<sup>5</sup>.

À titre d'exemple, les longueurs de décollage du F/A-18, depuis le départ arrêté jusqu'à ce que les roues quittent la piste, par température extérieure de 12° C et sans vent, sont (Tableau 2):

Configuration	Avec postcombustion	Sans postcombustion
sans réservoir supplémentaire ("lisse")	449 m	814 m
"habituelle", avec réservoir central supplémentaire	630 m	1'104 m
avec réservoir central supplémentaire et armement complet (WEF)	665 m	1'146 m

**Tableau 2: Longueurs de décollage F/A-18 à 12° C et sans vent**

Parmi ces 3 configurations, seule la première offre la possibilité de pouvoir décoller sans postcombustion à Sion.

<sup>4</sup> Source: *Aérodrome de Sion; Faisabilité d'un prolongement de la piste de 40 m -500 m pour réduire le nombre de décollages de F/A-18 avec postcombustion*, Arma Suisse, octobre 2007 [2]

<sup>5</sup> Ceci permet de tenir en compte du temps de réaction.

## 3 À PROPOS DU BRUIT

### 3.1 Origine et niveau

L'allumage de la postcombustion génère un chuintement qui peut être très désagréable pour l'oreille. Ce sont les turbulences des jets de kérosène dans la tuyère qui sont à l'origine de ce bruit supplémentaire.

Avion	Sans postcombustion	Avec postcombustion
Vampire		<i>pas de postcombustion</i>
Hawker Hunter	?	<i>pas de postcombustion</i>
Mirage III	?	?
F-5- Tiger	100.3 dB	106 dB
F/A-18	107.3 dB	113.2 <sup>6</sup> dB
Nouvel avion (candidats)	Grippen	112 dB
	Eurofigther	114 dB
	Rafale	113 <sup>7</sup> dB

Tableau 3: Niveaux de bruit à 305 mètres, selon le type d'appareil

Au-delà de l'intensité sonore à proprement parler (Tableau 3), la gêne ressentie dépend également du spectre des fréquences émises.

### 3.2 Le cas du F/A-18

#### 3.2.1 Un malentendu?

Au milieu des années 90, lors du choix du F/A-18, la Confédération avait annoncé, selon les estimations faites a priori, que les F/A-18 décolleraient dans la plupart de cas sans postcombustion. Le fait que, pour des raisons de sécurité, la postcombustion doive être enclenchée durant la phase d'accélération et jusqu'au décollage proprement dit, en particulier dans la configuration avec un réservoir externe, n'a été révélé qu'après l'introduction de l'avion en 1997, lors de ses missions opérationnelles. Il est alors apparu que, dans le cadre des engagements quotidiens, la configuration avec un réservoir externe offrait des avantages opérationnels considérables: l'avion pouvait ainsi faire des exercices de plus longue durée.

#### 3.2.2 Procédures de décollage

Trois différentes procédures de décollage sont possibles:

- sans postcombustion (environ 19% des décollages de F/A-18 à Sion);
- avec postcombustion enclenchée durant toute la phase de décollage et de montée; ceci correspond également aux normes internationales (environ 1% des décollages de F/A-18 à Sion, surtout pour des essais);

<sup>6</sup> Référence: *Base Aérienne Sion News*, 2/2008, article basé sur "*Calcul du bruit des aéronefs, pronostic 2010*", EMPA, septembre 2005 [3]

<sup>7</sup> Référence: "*Évaluation dans le cadre du remplacement partiel de la flotte de Tiger, mesures du bruit 2008, Résultats*", Conférence de presse du 02.12.2009, Berne; Valeurs: niveaux maximal à 305 mètres.[4]



- avec postcombustion selon une procédure propre aux Forces aériennes suisses; la postcombustion est enclenchée pendant la phase d'accélération et déclenchée dès la mi-piste lorsque les roues de l'avion quittent le sol; la montée s'effectue sans postcombustion (environ 80 % des décollages de F/A-18 à Sion).

### 3.2.3 Cadastre du bruit

Le cadastre du bruit 2000 élaboré en 1998 explicite pour la première fois les effets des nuisances sonores dus aux vols d'avions sur le territoire. Les calculs tiennent compte d'une postcombustion utilisée pendant le décollage et toute la phase de montée. Pour les estimations de 2010, les calculs tiennent compte du fait que les F/A-18 effectuent près de 80% de leurs décollages avec la postcombustion, enclenchée uniquement durant la phase d'accélération jusqu'au décollage proprement dit<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Selon la feuille d'information du Secrétariat générale du DDPS "*Utilisation de la postcombustion par les jets de combat*", 22.03.2007 [5]

## 4 RÉFÉRENCES

- [1] Entretien avec Monsieur Clerc, ancien pilote d'essai d'avions de combat, le 04.05.2010
- [2] *Aérodrome de Sion: faisabilité d'un prolongement de la piste de 400 m -500 m pour réduire le nombre de décollages de F/A-18 avec postcombustion*, ArmaSuisse, octobre 2007
- [3] *Base Aérienne Sion News*, 2/2008, article basé sur "*Calcul du bruit des aéronefs, pronostic 2010*", EMPA, septembre 2005
- [4] *Évaluation dans le cadre du remplacement partiel de la flotte de Tiger; Mesures du bruit 2008; Résultats*, Conférence de presse du 02.12.2009, Berne
- [5] *Utilisation de la postcombustion par les jets de combat*, feuille d'information du Secrétariat général du Département fédéral de la Défense, la Protection de la population et les Sports, 22.03.2007
- [6] <http://broadway.canalblog.com>
- [7] <http://perso.id-net.fr>
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/Afterburners> et <http://fr.wikipedia.org/wiki/Postcombustion>

\*

\*\*