

**Le Tri-Bombe Pneumatique Rafale :**  
**- une Technologie Modulable et Evolutive**  
**- un Concept Pneumatique Novateur**

**Gal (Retd) Serge Cocault**  
Military Adviser  
Rafaut  
13 Av Marcelin Berthelot  
92 390 Villeneuve la Garenne  
France

E-mail : [cocault@rafaut.fr](mailto:cocault@rafaut.fr)

## **SOMMAIRE**

*Le Tri-bombe pneumatique Rafale, actuellement en phase de qualification en vol aussi bien dans le cadre d'emploi de l'Armée de l'Air qu'à bord du porte-avions de la Marine Nationale, fait appel à des technologies qui offrent un potentiel d'amélioration permettant de tenir compte des exigences opérationnelles futures.*

*De fabrication « modulaire », le Tri-bombe Rafale n'est pas complètement figé et peut se prêter à des évolutions mécaniques mineures sans remise en cause profonde de l'équipement complet. Cette capacité permet d'envisager l'intégration complémentaire de nouveaux équipements ou l'adaptation d'armements de types nouveaux.*

*Utilisant l'énergie pneumatique de bouteilles sous pression amovibles pour l'éjection des armements il offre les avantages de cette énergie « propre ».*

*Une version plus performante utilisant une source d'énergie pneumatique autonome de type compresseur embarqué (High Pressure Pure Air Generator / HiPPAG) est à l'étude afin de s'affranchir des contraintes logistiques résiduelles générées par le gonflage et les manipulations des bouteilles de gaz sous pression .*

*Communication présentée lors du symposium RTO AVT sur "L'intégration mécanique et fonctionnelle des systèmes d'armes dans les véhicules terrestres et aériens" , organisé à Williamsburg, VA, USA, du 7 au 9 juin 2004, et publiée sous forme du document RTO-MP-AVT-108.*

## Le Tri-Bombe Pneumatique Rafale : une Technologie Modulable et Evolutive ; un Concept Pneumatique Novateur

### 1.0 INTRODUCTION

La société RAFAUT (France) a été retenue par le Ministère de la Défense français (Délégation Générale à l'Armement) au début de l'année 2000 pour réaliser le Tri-bombe « AT 730 » de l'avion de combat RAFALE et l'éjecteur pneumatique 14" qui lui est associé.

Après qualification des armements requis par l'Armée de l'air et la Marine Nationale françaises, le Tri-bombe aura les capacités d'emport suivantes :

- 3 Armements Air Sol Modulaire ( AASM) de la société SAGEM
- 3 GBU 12
- 3 GBU 22
- 2 GBU 16
- 3 MK82 lisses
- 3 MK81 lisses
- 2 MK83 lisses

Il est également compatible des munitions de la même catégorie disponibles sur le marché (JDAM, ENHANCED PAVEWAY...).

Ce Tri-Bombe de nouvelle génération offre les avantages :

- d'une technologie modulable et évolutive,
- d'un concept pneumatique novateur.



Photo 1 : Tri-Bombe opérationnel AT 730 / Rafale en essais sur le porte avions

## 2.0 UNE TECHNOLOGIE MODULABLE ET EVOLUTIVE

L'AT730 est constitué d'une structure principale qui utilise le concept de cadres usinés, assemblés avec des revêtements travaillants également usinés et comportant les portes d'accès aux équipements. Ce type d'architecture est identique à celle utilisée pour les structures avion (Figure 1).

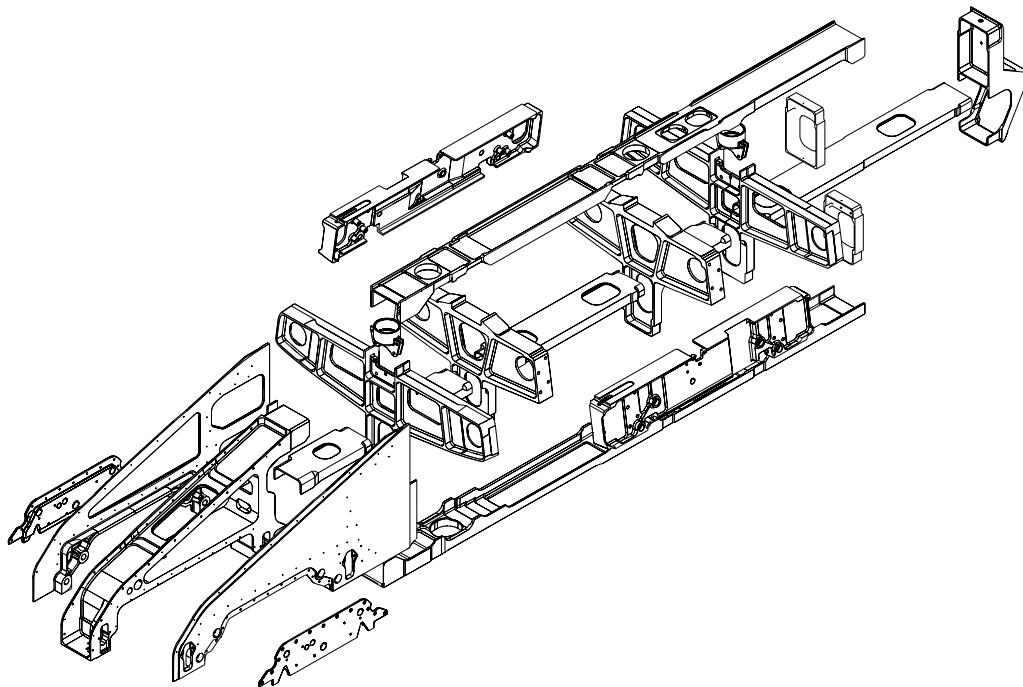


Figure 1 : Structure modulable du Tri-Bombe Rafale

## Le Tri-Bombe Pneumatique Rafale : une Technologie Modulable et Evolutive ; un Concept Pneumatique Novateur

La photo 2 ci après, d'un Tri-Bombe de pré-série en phase de montage montre clairement l'analogie avec une structure de type avion et laisse entrevoir le potentiel d'évolution d'une telle structure



**Photo 2 : Fabrication pré-série du Tri-Bombe Rafale**

Contrairement au concept de structure intégrale usinée dans la masse ou en demi coquille usinée ou moulée, cette architecture permet notamment :

- une masse optimisée,
- un important volume disponible pour les équipements,
- des évolutions plus faciles : architecture - nouvel équipement à intégrer...etc,
- des accès aisés vers les équipements internes, par portes travaillantes ou non.

En plus des avantages exposés ci-dessus, cette technologie de structure modulable permet d'obtenir un excellent comportement sous sollicitations tant en essais statiques qu'en essais dynamiques.

Ce principe de structure qui a été adopté par la société RAFAUT depuis plusieurs décennies sur ses équipements d'emport de munitions « bonnes de guerre » et d'exercice a permis de les faire évoluer à l'occasion de rétrofits plus ou moins importants comme le montrent les exemples suivants :

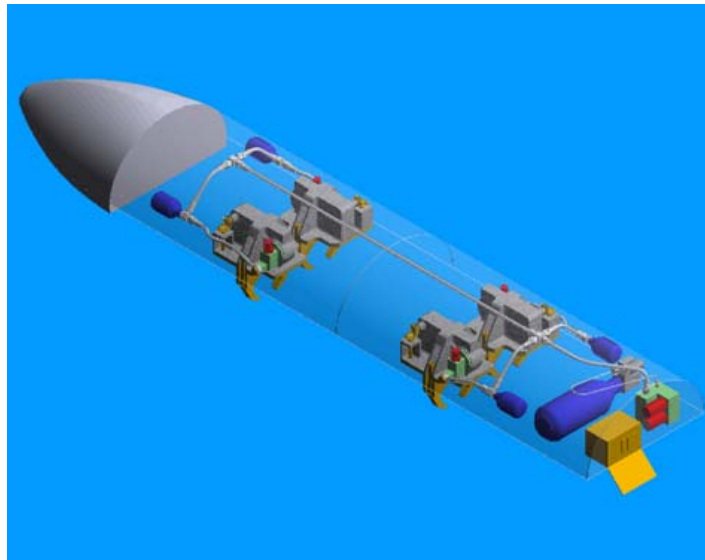
## 2.1 Le Lance Bombe d'entraînement LBF2

Le Lance Bombe d'entraînement LBF2 en « version pyrotechnique » à l'origine (photo 3) a pu ainsi évoluer sans difficulté vers « une version pneumatique » intégrant un kit pneumatique ayant pour source d'énergie un accumulateur d'azote gonflé à 350 bars permettant le tir de 6 à 12 « bombinettes d'entraînement » selon leur poids.

Si les utilisateurs en exprime le besoin , on pourrait encore envisager d'intégrer un compresseur de type HiPPAG pour rendre cet équipement complètement autonome au plan de l'énergie d'éjection sans remise en cause profonde de l'équipement.



**Photo 3 : Lance Bombe d'entraînement LBF2 (version pyrotechnique)**



**Photo 4 : Lance Bombe d'entraînement LBF2 (intégrant un kit pneumatique)**

## **2.2 Le Bi-Bombe opérationnel AUF2**

Grâce à ce type de technologie la société Rafaut a pu décliner toute une famille de bi-bombe opérationnels qui ont été modernisés au fil des années pour s'adapter aux demandes nouvelles des utilisateurs soucieux d'améliorer leurs capacités opérationnelles en adaptant de nouveaux armements de plus en plus performants et « intelligents ».

### **2.2.1 Le Bi-Bombe opérationnel AUF2/Jaguar-Mirage F1-Mirage 2000**

La première version du bi-bombe AUF2 remonte aux années 1980. Cette version n'était compatible que des armements conventionnels disponibles à cette époque. Elle a été largement utilisée, notamment en opérations, sur les Jaguar, Mirage F1 et Mirage 2000 de l'Armée de l'Air Française.



**Photo 5 : Bi-Bombe opérationnel AUF2 sur Mirage F1 avec bombes MK 82**

### **2.2.2 Le Bi-Bombe opérationnel AUF2/2000-F1 (pour Mirage 2000 et Mirage F1)**

Cette nouvelle version, qui reste compatible du Jaguar, est destinée aux Mirage F1 et Mirage 2000 de l'Armée de l'Air qui dans l'attente du Rafale ne dispose plus que de ces deux types d'avions.

Dans le cadre de sa modernisation, le Bi-bombe opérationnel d'origine a subi de profondes modifications lui permettant de devenir compatible :

- des armement conventionnels de la classe 1000lbs,
- des armements à guidage Laser de la classe 500lbs
- des armements à dialogue de type AASM (SAGEM), JDAM, ENHANCED PAVEWAY requérant une connectique au standard 1760.

Ce Bi-bombe est proposé à l'exportation sous l'appellation STBR 2000 (Smart Twin Bomb Rack 2000)



**Photo 6 : Bi-Bombe opérationnel AUF2 sur Mirage 2000 avec bombes GBU 12**

### 2.2.3 Le Bi-Bombe opérationnel AUF2/Rafale

Pour des besoins de développement et de promotion, le Bi-bombe AUF2 a été adapté au Rafale pour l'emport de bombes à guidage Laser. Une fois encore la technologie modulaire de cet équipement a permis de rendre l'AUF2 compatible d'un nouvel environnement à moindre coût.



**Photo 7 : Bi-Bombe opérationnel AUF2 sur Rafale avec bombes GBU 12**

### 2.2.4 Bi-Bombe opérationnel AUF2/Super Etendard

A partir de bi-bombe opérationnels AUF2 rendus disponibles lors du retrait des Jaguar de l'Armée de l'Air, l'Aéronavale française disposera à court terme d'un bi-bombe AUF2 de dimensions réduites compatibles des bombes de 250 et de 500 lbs conventionnelles ou à guidage Laser. Cet équipement pourra également s'adapter à des bombes de type Enhanced Paveway le moment voulu.

Cette opération au profit de la Marine n'a été rendue possible que grâce à la modularité du bi-bombe AUF2.



### 2.3 Le Tri-Bombe opérationnel AT 730/Rafale

En phase de développement du Tri-bombe Rafale, le concept de modularité a déjà permis d'intégrer certaines améliorations et d'envisager l'évolution du concept pneumatique sans remise en cause profonde des éléments de structure et des dossiers de calculs :

- pour les postes latéraux, amélioration de la sécurité de mise en œuvre par un système de mise en précontrainte « croisée » déporté à l'extérieur qui permet de « torquer » la bombe interne sans que l'armurier soit obligé de se glisser entre le corps de bombe et le réservoir de voilure,
- amélioration du système de déverrouillage des bombes des postes latéraux par l'implantation d'une palette placée sur le dessus du tri-bombe. Comme pour la mise en précontrainte cette palette évite à l'armurier de dérocher les bombes en étant placé entre le corps de bombe et le réservoir de voilure.



**Photo 8 : Tri-Bombe Rafale avec trois maquettes « Armements Air Sol Modulaire »**

### 3.0 UN CONCEPT PNEUMATIQUE NOVATEUR

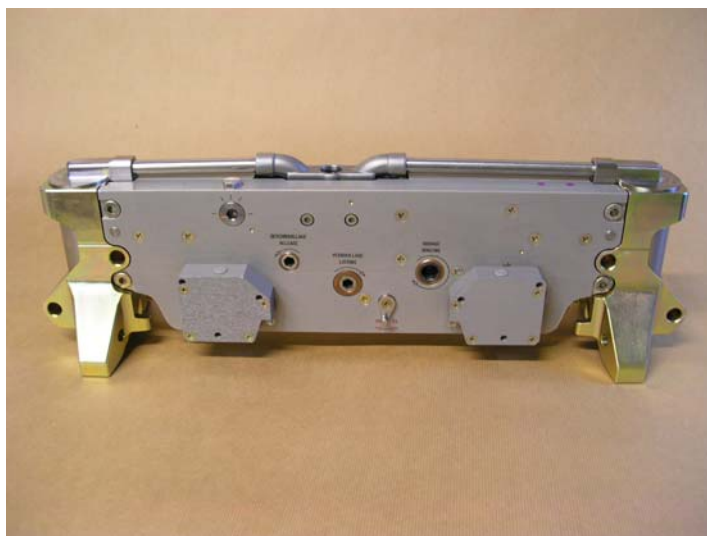
Pour l'éjection de ses charges, notamment en mode Air Sol, le Rafale utilise l'énergie pneumatique et non plus l'énergie pyrotechnique comme les avions des générations antérieures. Cette énergie « propre » qui permet de s'affranchir des contraintes de nettoyage systématique des éjecteurs peut provenir de deux types de sources très différentes au plan des contraintes logistiques :

- une source du type « bouteilles amovibles re-gonflables »,
- une source du type « compresseur autonome » rechargeant à la demande des accumulateurs pneumatiques fixes.

#### 3.1 Phase « bouteilles amovibles re-gonflables »

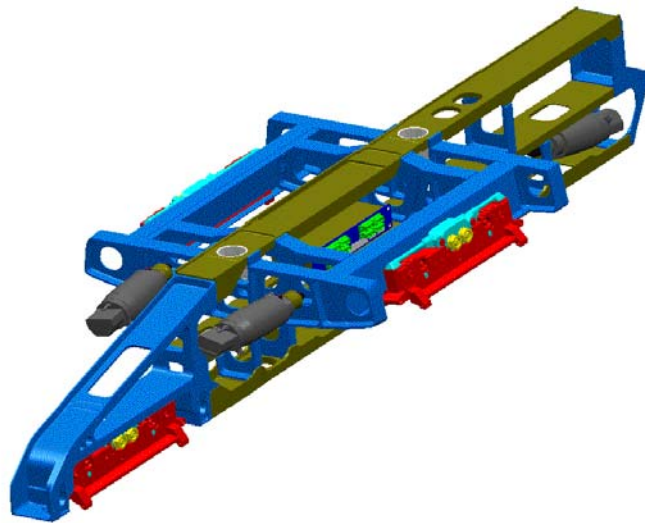
Le Tri-Bombe Rafale est équipé de base :

- d'un éjecteur pneumatique « Rafaut TG480 » de nouvelle génération dont les capacités en termes de vitesse d'éjection et d'asservissement sont très développées. En effet, pour les besoins de l'armement air sol modulaire, l'éjecteur doit être en mesure de communiquer à l'armement une vitesse de 4,6 m/s à la température de  $-55^{\circ}\text{C}$ .



**Photo 9 : Ejecteurs pneumatiques Rafaut TG 480**

- de trois bouteilles pneumatiques amovibles et re-gonflables gonflés à 350 bars à la température standard de  $15^{\circ}\text{C}$  permettant de fournir l'énergie nécessaire à l'éjection des munitions emportées. Ces bouteilles amovibles permettent de s'affranchir des contraintes de maintenance inhérentes à l'utilisation de cartouches pyrotechniques d'éjection. Ce concept pneumatique proche de la solution adoptée par Rafaut pour son Lance Bombe d'Entraînement pneumatique a été imposé par les services officiels français qui ne disposaient pas, à l'époque du lancement du programme du Tri bombe, de solution pneumatique plus mature.



**Photo 10 : Structure Tri-Bombe équipée de trois « bouteilles amovibles re-gonflables »**

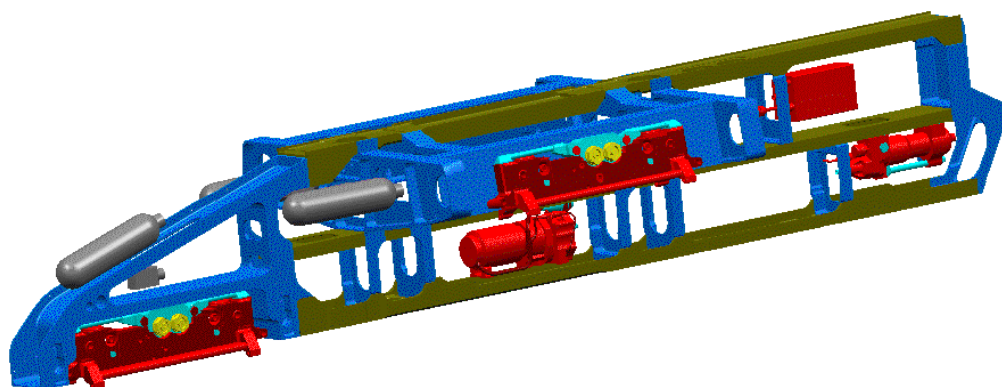
A l'usage il s'avère que l'utilisation des bouteilles amovibles re-gonflables présente un certain nombre d'inconvénients qui vont à l'encontre de l'intérêt de l'énergie pneumatique:

- l'éjection de chaque bombe opérationnelle requiert l'utilisation d'une bouteille qu'il faut manipuler et regonfler après chaque largage (pour mémoire rappelons qu'une bouteille du même type peut larguer 6 à 12 «bombinettes d'entraînement»). En opération l'utilisation des bouteilles génère des contraintes de remise en œuvre d'autant plus lourdes que le rythme des vols s'accélère,
- les moyens de gonflage et les bouteilles complémentaires qu'il faut déployer pour assurer la continuité des vols engendre une logistique qui croît en fonction du nombre d'avions déployés, chaque avion nécessitant une quinzaine de bouteilles pour la mise en œuvre de ses deux Tri-Bombe,
- malgré une technologie sophistiquée, la manipulation fréquente des bouteilles peut générer des fuites qui impliquent un suivi du gonflage qui augmente la charge du personnel de remise en œuvre,
- la diversité des conditions d'emploi d'un avion de combat s'accommode mal des variations de pressions que subit une bouteille de gaz comprimé en fonction de l'altitude. Au plan opérationnel cela se traduit par une dégradation des conditions de largage si le tir a lieu à une altitude différente de celle qui correspond à la pression optimale de la bouteille.

Compte tenu de ces inconvénients et des progrès techniques réalisés par la société Ultra Electronics Precision Air Systems, fabricant de compresseurs embarqués haute pression, la société Rafaut propose un Tri-Bombe amélioré utilisant une source « d'énergie pneumatique autonome ».

### 3.2 Phase «compresseur autonome »

Le Tri-Bombe de la phase initiale offre un potentiel d'amélioration important. Le remplacement des bouteilles amovibles re-gonflables par un compresseur autonome de type HiPPAG (High Pressure Pure Air Generator) associé à trois accumulateurs fixes permettrait de bénéficier des avantages de l'énergie pneumatique sans les contraintes liées à la manutention et au gonflage des bouteilles pneumatiques amovibles actuellement en service sur le Tri-Bombe Rafale.



**Photo 11 : Structure Tri-Bombe équipée d'un compresseur autonome et de trois accumulateurs fixes**

Afin de démontrer le bien fondé d'une solution utilisant un compresseur autonome embarqué, les sociétés Rafaut et Ultra Electronics Precision Air System (UEPAS) ont déjà réalisé les travaux suivants :

- échange de fichiers informatiques et « démonstration logicielle » de la faisabilité d'intégration du compresseur, de son filtre, de l'électronique de commande et de trois accumulateurs fixes dans l'environnement du Tri-Bombe,
- essais sol du compresseur dans un environnement mécanique représentatif du Tri-Bombe. Ces essais réalisés, pour certains d'entre eux, en présence de représentants des services officiels français (DGA et Etats Major de l'Armée de l'Air et de la Marine Nationale) ont permis de démontrer une bonne fiabilité du compresseur et des temps de regonflage des accumulateurs conformes aux attentes des utilisateurs,
- le fonctionnement d'un tel compresseur dans une structure représentative des volumes disponibles dans la structure modulaire du Tri-Bombe.

Un nombre significatif de cycles de fonctionnement et de regonflages d'un accumulateur à la pression requise de 300 bars ont permis de vérifier le bon fonctionnement au sol de ce modèle de compresseur.

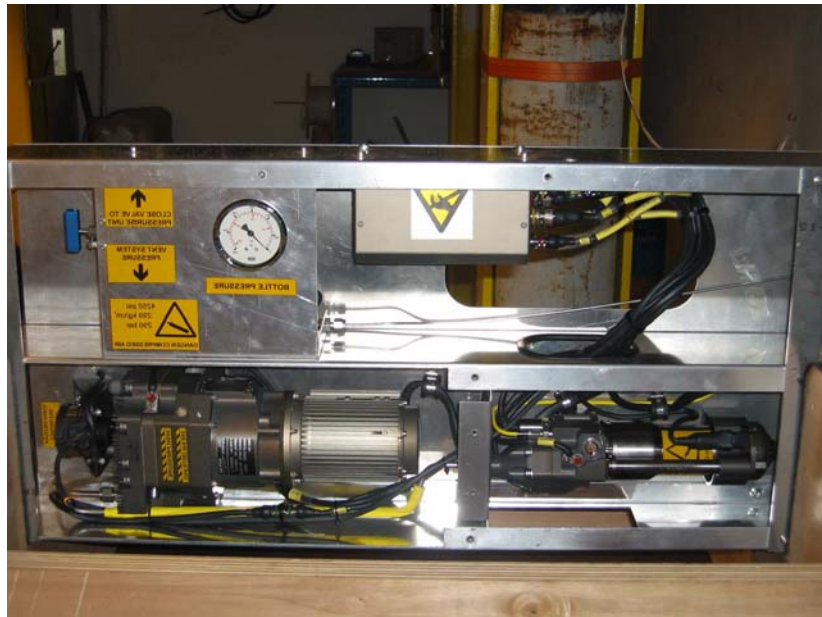


Photo 12 : Démonstrateur sol d'un compresseur embarqué (type 540)

A l'issue de cette phase de démonstrations au sol, une intégration complète d'un compresseur, des sous ensembles associés (filtre, boîtier électronique de contrôle) a été réalisée confirmant la faisabilité technique de cette solution qui confère une autonomie de fonctionnement au Tri-Bombe.



Photo 13 : Intégration d'un compresseur HiPPAG dans le Tri-Bombe Rafale

## **Le Tri-Bombe Pneumatique Rafale : une Technologie Modulable et Evolutive ; un Concept Pneumatique Novateur**

---

Si la motivation des utilisateurs pour une solution de ce type se confirme, Rafaut et UEPAS sont en mesure de réaliser à court terme un démonstrateur « bon de vol » qui permettrait de valider l'intérêt opérationnel et logistique d'une source pneumatique autonome embarquée pour une éjection optimisée des munitions modernes présentes et futures.

### **CONCLUSION**

Comme tous les matériels d'emport antérieurs de la société Rafaut, le Tri-Bombe Rafale, qui entrera en service opérationnel à court terme, offre un fort potentiel d'amélioration du fait de sa conception modulable et évolutive qui devrait lui permettre de s'adapter, sans remise en cause radicale, aux besoins futurs des utilisateurs français. Ce potentiel d'amélioration peut également permettre de satisfaire les besoins d'emport spécifiques de plate formes étrangères de la classe du Rafale.

S'agissant de l'énergie d'éjection souhaitée par les utilisateurs, les travaux déjà réalisés montrent que toutes les solutions pneumatiques ou pyrotechniques sont envisageables en fonction de leur disponibilité « technique ».

**DISCUSSION EDITING****Paper No. 3: LE TRI-BOMBE PNEUMATIQUE RAFALE :UNE TECHNOLOGIE  
MODULABLE ET EVOLUTIVE - UN CONCEPT PNEUMATIQUE NOVATEUR**

- Authors: General Serge Cocault, Rafaut, France
- Speaker: s.a.
- Discussor: Stephen Perillo
- Question: Are any current stores making use of your racks ability to have a continuously variable pitch value setting in flight?
- Speaker's Reply: **missing**
- Discussor: Jean Philippe Planas
- Question: Is the triple rack adaptable to small diameter bombs?
- Speaker's Reply :No requirement has been accessed up to now by the end users, but RAFAUT has done preliminary studies to carry up to two SDB per station on the triple store carrier thanks to intermediate adaptors.

**Le Tri-Bombe Pneumatique Rafale : une Technologie  
Modulable et Evolutive ; un Concept Pneumatique Novateur**

---

