



Régime de
contrôle de la
technologie de
missile
(MTCR)

Manuel annexe
2017

Sommaire électronique

Introduction aux matières et définitions

Introduction – Régime de commande de technologie de missile (MTCR) Annexe I – Les directives MTCR
Annexe II – Unités, Constantes, Acronymes, et Abréviations (utilisés dans l'annexe du MTCR) Annexe III – Tableau des Conversions
Additif - Accord du MTCR
Introduction, Définitions et Terminologie de l'annexe du MTCR

Catégorie I

Article 1 - Systèmes de vecteurs complets
Article 2 - Sous-systèmes complets utilisables avec des systèmes de vecteurs complets

Catégorie II

Article 3 - Composants et équipement de propulsion
Article 4 – Propergol, produits chimiques et production de propergol
Article 5 – Réserve
Article 6 – Production de structures composites, dépôt pyrolitique et densification, et matières de structure
Article 7 – Réserve
Article 8 – Réserve
Article 9 – Instrumentation, Navigation, et radiogoniométrie
Article 10 – Commande de vol
Article 11 - Aéro-électronique
Article 12 – Soutien au lancement
Article 13 – Calculateurs
Article 14 – Convertisseurs analogique-numérique
Article 15 – Installations d'essai et équipement
Article 16 – Modelage, simulation et intégration de la conception
Article 17 – Furtivité
Article 18 - Protection contre les effets nucléaires
Article 19 – Autres systèmes de vecteurs complets
Article 20 – Autres sous-systèmes complets

Introduction

Régime de contrôle de la Technologie (MTCR)

Introduction - Régime de contrôle de la technologie des missiles (MTCR)

- Argentine
- Australie
- Autriche
- Belgique
- Bulgarie
- Brésil
- Canada
- République Tchèque
- Danemark
- Finlande
- France
- Allemagne
- Grèce
- Hongrie
- Islande
- Inde
- Irlande
- Italie
- Japon
- Luxembourg
- Pays-Bas
- Nouvelle Zélande
- Norvège
- Pologne
- Portugal
- République de Corée
- Fédération de Russie
- Afrique du Sud
- Espagne
- Suède
- Suisse
- Turquie
- Ukraine
- Royaume Uni
- États Unis

Membres du MTCR



Le Régime de contrôle de la technologie des missiles est une association informelle et volontaire de pays qui partagent les objectifs de non-prolifération des systèmes capables de transporter des armes de destruction massive (autres que les aéronefs pilotés) et qui cherchent à coordonner leurs efforts nationaux en vue de prévenir leur prolifération. Le MTCR a été créé en 1987 par le Canada, la France, l'Allemagne, l'Italie, le Japon, le Royaume-Uni et les États-Unis. Depuis lors, le nombre de pays membres du MTCR n'a pas cessé d'augmenter et atteint aujourd'hui un total de 35 pays, ayant tous une position égale dans le régime.

Le MTCR a été lancé, en partie, en réponse à la prolifération croissante des armes de destruction massive (ADM) et, en particulier, des armes nucléaires, chimiques et biologiques. Le risque de prolifération des ADM est bien identifié comme une menace pour la paix et la sécurité internationales, y compris par le Conseil de sécurité de l'ONU dans sa déclaration au terme du sommet qui s'est tenu le 31 janvier 1992. Tandis que le problème concernait traditionnellement les proliférateurs d'État, après les événements tragiques du 11 septembre 2001, il est devenu évident que beaucoup d'efforts devaient être également entrepris pour diminuer le risque de voir des systèmes de livraison d'ADM tomber dans les mains de groupes et d'individus terroristes. L'une de voies pour faire face à cette menace consiste à maintenir la vigilance sur le transfert des équipements, du matériel, et des technologies associées utilisables pour des systèmes capables de livrer des ADM.

Le MTCR repose sur l'adhésion aux directives communes de politique d'exportation (les directives du MTCR) appliquées à une liste commune intégrale d'articles contrôlés (Annexe sur les équipements, le logiciel et la technologie du MTCR). Le MTCR ne prend pas de décisions d'autorisation d'exportation en tant que groupe. En revanche, les différents associés sont responsables de la mise en application des directives et annexe sur la base de la discrétion nationale souveraine et selon la législation et la pratique nationale.

Toutes les décisions de MTCR sont prises par consensus, et les associés de MTCR échangent régulièrement des informations sur les questions d'autorisation d'exportation nationales appropriées dans le cadre des objectifs globaux du régime. Une conférence plénière se tient annuellement et est présidée sur une base rotative. Des sessions plénières récentes se sont tenues à Copenhague au Danemark (2006), à Athènes en Grèce (2007), Canberra en Australie (2008), Rio de Janeiro au Brésil (2009), Buenos Aires en Argentine (2011), Berlin en Allemagne (2012), Rome en Italie (2013), Oslo en Norvège.

(2014), Rotterdam aux Pays-Bas (2015), et Busan en République de Corée (2016). En outre, des consultations intersession ont lieu mensuellement par le biais de réunions de points de contact (POC) à Paris, alors que des réunions d'experts techniques, des échanges d'informations, et des réunions d'experts chargés de l'application de la loi se tiennent au cas par cas. Le MTCR n'a pas de secrétariat; la distribution des documents de travail du Régime se fait via le point de contact, dont les fonctions sont assurées par le ministère des affaires étrangères de France.

Annexe sur les équipements, le logiciel et la technologie du MTCR

L'annexe sur l'équipement, les logiciels et la technologie du MTCR est la liste des articles contrôlés du Régime - militaires et à double usage - y compris pratiquement tous les équipements, matériaux, logiciels et technologies clés nécessaires au développement, à la production et à l'exploitation des systèmes capables de transporter les armes de destruction massive. L'annexe est divisée en articles de "Catégorie I" et "Catégorie II". Les pays membres font preuve d'une retenue dans l'examen de tous les transferts d'articles figurant dans l'annexe, et tous les transferts sont étudiés au cas par cas. L'annexe est régulièrement mise à jour afin d'améliorer sa transparence et prendre en compte les évolutions des technologies.

La plus grande contrainte est appliquée à ce qui est connu comme des articles de catégorie I. Ces articles incluent les systèmes complets de fusée (y compris missiles balistiques, lanceurs spatiaux et fusées-sondes) et les systèmes de véhicules aériens sans pilote (y compris systèmes de missiles de croisière, engins cible et engins de reconnaissance) avec des possibilités dépassant un seuil de portée/une charge utile de 300 km/500 kg; des équipements d'assistance de production pour de tels systèmes; et des sous-systèmes majeurs comprenant des étages de fusée, des véhicules de rentrée, des moteurs-fusées, des systèmes d'orientation et des mécanismes de tête explosive.

Le reste de l'annexe est considéré comme relevant de la catégorie II, qui comprend les systèmes complets de fusée (y compris les systèmes de missiles balistiques, les lanceurs spatiaux et les fusées sondes) et les véhicules aériens sans pilote (y compris les systèmes de missiles de croisière, les drones cibles et les drones de reconnaissance) non visés au point I, dont la portée maximale est égale ou supérieure à 300 kilomètres. Sont également inclus un large éventail d'équipements, de matériels et de technologies, dont la plupart sont utilisés à d'autres fins que pour des systèmes capables de fournir des ADM. Tout en acceptant toujours d'exercer des limitations, les membres disposent d'une plus grande flexibilité dans le traitement des applications de transfert de catégorie II

Manuel d'annexe du MTCR

Ce manuel d'annexe est conçu pour aider à mettre en application des contrôles des exportations sur des articles d'annexe de MTCR. Il expose les équipements et technologies contrôlés par le MTCR, comment ils sont employés, comment ils fonctionnent, les autres usages possibles, et ce à quoi ils ressemblent. L'annexe couvre une gamme extrêmement large d'articles, et le manuel ne met l'accent que sur les technologies les plus essentielles à la conception et à la production des systèmes de prestation. Le manuel est basé sur l'annexe du MTCR en vigueur le 20 octobre 2016. La version la plus récente de l'annexe du MTCR peut être consultée via le site Web du MTCR à l'adresse www.mtcr.info.

Le manuel est organisé comme l'annexe du MTCR, par article et sous-article. Chaque section suit le même format: le texte à jour d'annexe du MTCR est reproduit dans une section mise en exergue, suivie de développements détaillés et d'images. Toute «note» de l'annexe du MTCR concernant un sous-article particulier a été incluse avec le texte à jour pour en faciliter la lecture. Chaque sous-article est abordé séparément. En passant en revue les sous-articles, le lecteur devrait prêter attention au texte d'en-tête de l'article, qui peut contenir des descripteurs additionnels pour chaque sous-article. Selon les cas, des pavés latéraux identifiant les pays qui peuvent produire ou exporter des sous-articles particuliers d'exportation accompagnent le texte mis en exergue. Cette liste de pays qui pourraient établir les technologies ou les systèmes spécifiques à différents articles est représentative et n'est pas nécessairement exhaustive.

Le manuel de l'annexe du MTCR est produit par le gouvernement des États-Unis dans le but de faciliter un contrôle efficace des exportations d'articles contrôlés par le MTCR. Contrairement aux lignes directrices et à l'annexe du MTCR, le manuel n'est pas une publication officielle du MTCR. Les images, les sites Web et les autres références figurant dans le présent manuel ont pour but de donner des exemples de matériel et d'équipement présentant des caractéristiques similaires à celles décrites dans l'annexe du MTCR. Il est important de noter que la présence de certains articles ou équipements dans une photographie, sur un site Web ou dans une référence ne signifie pas nécessairement que l'article illustré ou référencé répond aux spécifications de contrôle du MTCR. Les décisions relatives au statut de contrôle d'un article sont prises au cas par cas en fonction des spécifications techniques d'un produit spécifique.

Annexe I
Régime de contrôle de
la Technologie (MTCR)
Directives

Annexe I - Régime de contrôle de la technologie des missiles (MTCR) - Lignes directrices pour les transferts sensibles liés aux missiles

1. Le but de ces directives est de limiter les risques de la prolifération des armes de destruction massive (c.-à-d. nucléaires, chimiques et biologiques), par le contrôle des transferts qui pourraient contribuer aux systèmes de livraison (autres que des avions pilotés) de telles armes. Les directives visent également à limiter le risque de voir des articles contrôlés et leur technologie tomber dans les mains de groupes et d'individus terroristes. Les directives ne sont pas conçues pour empêcher des programmes spatiaux nationaux ou la coopération internationale dans de tels programmes aussi longtemps qu'ils ne contribuent pas aux systèmes de livraison d'armes de destruction massive. Ces directives, y compris l'annexe jointe, forment la base pour le contrôle des transferts vers n'importe quelle destination indépendante de la juridiction de tous les systèmes de livraison (autres que les avions pilotés) capables de livrer des armes de destruction massive, de l'équipement et de la technologie concernant les missiles dont l'exécution en termes de charge utile et portée dépasse les paramètres indiqués. Une contrainte sera exercée dans la considération de tous les transferts d'articles dans l'annexe et tous ces transferts seront considérés au cas par cas. Le gouvernement mettra en application les directives conformément à la législation nationale.

2. L'annexe comporte deux catégories d'articles. Le terme «article» désigne les équipements et la technologie. Les articles de la catégorie I, à savoir les articles 1 et 2 de l'annexe, sont les plus sensibles. Tout système comportant un article de la catégorie I est également considéré comme appartenant à la catégorie I, sauf s'il ne peut être isolé, supprimé ou reproduit. Une contrainte particulière sera exercée dans la considération des transferts de la catégorie I indépendamment de leur but. Il existera une présomption forte pour refuser de tels transferts. Une contrainte particulière sera également exercée dans la considération des transferts de tous les articles de l'annexe, ou de n'importe quels missiles (qu'ils soient dans l'annexe ou pas), si le gouvernement juge, sur la base de toutes les informations disponibles et persuasives, évaluées selon des facteurs comprenant ceux du paragraphe 3, qu'ils sont censés être employés pour la livraison d'armes de destruction massive. Il existera une présomption forte pour refuser de tels transferts. Jusqu'à nouvel ordre, le transfert des installations productives de catégorie I ne sera pas autorisé. Le transfert d'autres articles de la catégorie I sera autorisé seulement à de rares occasions lorsque le gouvernement (a) obtient des engagements ayant force d'exécution de gouvernement-à-gouvernement incarnant les garanties du gouvernement destinataire réclamées dans le paragraphe 5 de ces directives et (b) assume la responsabilité de prendre toutes les mesures nécessaires pour s'assurer que l'article est utilisé uniquement aux fins indiquées. Il est entendu que la décision de transférer relève du jugement unique et souverain du Gouvernement.

3. Dans l'évaluation des demandes de transfert d'articles de l'annexe, les facteurs suivants seront pris en compte:

- A. Les inquiétudes concernant la prolifération des armes de destruction massive,
- B. Les possibilités et les objectifs des programmes de missile et des programmes spatiaux de l'État destinataire,
- C. La portée du transfert en termes de développement potentiel de systèmes de livraison (autres que les avions pilotés) pour des armes de destruction massive
- D. L'évaluation de l'utilisation finale des transferts, y compris les garanties appropriées des États destinataires visées aux paragraphes secondaires 5.A et 5.B ci-dessous,
- E. L'applicabilité des accords multilatéraux appropriés; et
- F. Le risque que les articles commandés tombent dans les mains de groupes et d'individus terroristes

4. Le transfert de la technologie de conception et de production directement liée à tous les articles de l'annexe sera également soumis à un examen et un contrôle minutieux de même que l'équipement lui-même, jusqu'au degré autorisé par la législation nationale.

5. Dans les cas où le transfert pourrait contribuer à un système de livraison pour des armes de destruction massive, le gouvernement autorisera les transferts des articles de l'annexe seulement après réception des garanties appropriées du gouvernement de l'État destinataire que:

- A. Les articles ne seront utilisés que pour les fins indiquées et une telle utilisation ne sera pas modifiée. Les articles ne seront pas modifiés ou reproduits sans l'assentiment préalable du gouvernement;
- B. Ni les articles, ni les reproductions, ni les dérivés correspondants ne seront retransférés sans le consentement du gouvernement.

6. Dans la promotion de la mise en application effective des directives, le gouvernement, en fonction des besoins et des cas, devra échanger les informations importantes avec d'autres gouvernements appliquant les mêmes directives.

7. Le gouvernement:

- A. S'assurera que les contrôles de ses exportations nationales nécessitent une autorisation pour le transfert des articles hors-nomenclature si l'exportateur a été informé par les autorités compétentes du gouvernement que les articles peuvent être destinés, dans leur intégralité ou partiellement, à un usage en liaison avec des systèmes de livraison pour des armes de destruction massive autres que les avions pilotés;
- B. Et, si l'exportateur se rend compte que des articles hors-nomenclature sont destinés à contribuer à de telles activités, dans leur intégralité ou partie, veillera, conformément aux contrôles nationaux des exportations, à ce que l'exportateur notifie les autorités visées ci-dessus, qui décideront s'il est approprié d'effectuer l'exportation concernée sujette à autorisation.

8. L'adhésion de tous les États à ces directives dans l'intérêt de la paix et la sécurité internationales serait la bienvenue.

Annexe II
UNITÉS, CONSTANTES,
ACRONYMES ET
ABRÉVIATIONS

Unités, Constantes, Acronymes et Abréviations utilisés dans cette annexe

| | |
|----------|--|
| ABEC | Annular Bearing Engineering Committee |
| ABMA | American Bearing Manufacturers Association |
| ANSI | American National Standards Institute |
| Angström | 1×10^{-10} mètre |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| bar | unité de pression |
| °C | degré Celsius |
| cc | centimètre cube |
| CAS | Chemical Abstracts Service |
| CEP | Cercle de probabilité égale |
| dB | décibel |
| g | Gramme, également accélération due à la gravité |
| GHz | gigahertz |
| GNSS | Système global de satellite de navigation, par exemple «Galileo» 'GLONASS' – système global de navigation satellitaire 'GPS' – Global Positioning System |
| h | heure |
| Hz | hertz |
| HTPB | Polybutadiène terminé par un hydroxyle |
| OACI | Organisation de l'aviation civile internationale |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IR | Infrarouge |
| ISO | Organisation internationale de normalisation |
| J | Joule |
| JIS | Norme industrielle japonaise |
| K | Kelvin |
| kg - | Kilogramme |
| kHz | kilohertz |
| km | kilometre |
| kN | kilonewton |
| kPa | kilopascal |
| Kw - | Kilowatt |
| m | mètre |
| MeV | million d'électronvolts ou mégaélectronvolt |
| MHz | megahertz |
| Milligal | 10^{-5} m/s ² (abrégé mgal ou mGal) |
| mm | millimètre |
| mm Hg | mm de mercure |
| MPa | megapascal |
| mrad | milliradian |
| ms | milliseconde |
| µm | micromètre |

| | |
|--------------|--|
| N - | Newton |
| Pa | pascal |
| ppm | parties par million |
| rads (Si) | dose de rayonnement |
| absorbée RF | radio fréquence |
| rms | valeur efficace |
| rpm | tours minute |
| RV | Corps de rentrée |
| s | seconde |
| Tg | température de transition vitreuse |
| Tyler | Tyler taille de mesh, ou tamis série Tyler |
| standard UAV | véhicule aérien sans pilote |
| UV | Ultra violet |



Annexe III -
Tableau des conversions

Annexe III - Tableau des conversions

| TABLEAU DE CONVERSIONS UTILISÉES DANS CETTE ANNEXE | | |
|---|------------------|--|
| Unité De: | Unité vers | Conversion |
| barre | pascal (Pa) | 1 barre = 100 kPa |
| g (pesanteur) | m/s ² | 1 g = 9.806 65 m/s ² |
| mrاد (millirad) | degrés (angle) | 1 mrاد ≈ 0.0573° |
| Rads | Ergs/g de Si | 1 rad (Si) = 100 ergs/g de silicone (= 0.01 gris [Gy]) |
| Mesh de tyler 250 | mm | pour un mesh de Tyler 250, ouverture de mesh de 0,063 m |

ADDITIF - ACCORD

ADDITIF - ACCORD

ADDITIF - ACCORD

Les membres conviennent que, dans les cas où il est spécifiquement autorisé d'utiliser le terme «équivalents nationaux» à la place des normes internationales spécifiées, les méthodes et paramètres techniques de l'équivalent national assureront le respect des critères définis par les normes internationales spécifiées.

Annexe du MTCR
Introduction, définitions, terminologie

Introduction, Définitions et Terminologie de l'annexe du MTCR

1. Introduction

- (a) Cette annexe se compose de deux catégories d'articles, qui comprennent les équipements, les matériaux, les «logiciels» ou la «technologie». Les articles de la catégorie I, à savoir les articles 1 et 2 de l'annexe, sont les plus sensibles. Tout système comportant un article de la catégorie I est également considéré comme appartenant à la catégorie I, sauf s'il ne peut être isolé, supprimé ou reproduit. Les articles de la catégorie II sont ceux qui figurent dans l'annexe et qui ne figurent pas dans la catégorie I.
- (b) Lors de l'examen des demandes de transfert de systèmes complets de fusées et de véhicules aériens sans pilote décrits aux points 1 et 19, ainsi que d'équipements, de matériels, de «logiciels» ou de «technologies» énumérés dans l'annexe technique, le gouvernement tiendra compte de la possibilité de trouver un compromis entre «portée» et «charge utile» pour ces systèmes.

(c) Note de technologie générale:

Le transfert de technologie directement en rapport avec des biens soumis à contrôle en annexe est soumis à contrôle conformément aux dispositions relatives à chaque article dans la mesure autorisée par la législation nationale. L'autorisation d'exporter tout article répertorié en annexe s'applique également à l'exportation au même utilisateur final de la «technologie» minimale nécessaire à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à la réparation de cet article.

Note:

Les contrôles ne s'appliquent pas à ce qui relève de la «technologie», «du domaine public» ou de la «recherche scientifique fondamentale».

(d) Note générale relative au logiciel:

L'annexe ne vise pas non plus le «logiciel»:

1. Généralement disponible au public en étant:
 - a. Vendu du stock aux points de vente au détail sans restriction, que la vente soit effectuée:
 1. En magasin;
 2. Par correspondance; ou
 3. Par transactions électroniques; ou
 4. Par transactions téléphoniques; et
 - b. Conçu pour être installé par l'utilisateur sans autre assistance substantielle de la part du fournisseur; ou
2. "Appartenant au domaine public".

Note:

La note générale sur les logiciels ne s'applique qu'aux «logiciels» à usage général et destinés au grand public.

(e) Note générale relative au logiciel minimum:

L'autorisation d'exporter, ou de transférer, tout article répertorié en annexes'applique également à l'exportation au même utilisateur final du «logiciel» minimum nécessaire à l'installation, à l'exploitation, à la maintenance et à la réparation de cet article afin d'en assurer la sécurité de fonctionnement comme prévu initialement.

Note:

La note générale sur les logiciels autorise également l'exportation de «logiciels» destinés à corriger les défauts (corrections de bugs) d'un article précédemment exporté légalement, à condition que les capacités et/ou performances de l'article ne soient pas autrement améliorées.

(f) Numéro CAS (Chemical Abstracts Service):

Dans certains cas, les substances chimiques sont identifiées par leur nom et par leur numéro de fichier CAS (Service des résumés analytiques de chimie). Les substances ayant la même formule développée (y compris les hydrates) sont soumises à contrôle quels que soient leur nom ou leur numéro de fichier CAS. Les numéros de fichier CAS sont indiqués pour permettre de déterminer plus facilement si une substance ou un mélange chimique donné est soumis à contrôle, indépendamment de la nomenclature. Les numéros de fichier CAS ne peuvent pas être les seuls moyens d'identification utilisés car certaines formes de substances chimiques répertoriées ont des numéros de fichier CAS distincts et les mélanges qui comportent une substance chimique répertoriée peuvent également avoir des numéros de fichier CAS différents.

2. Définitions

Aux fins de la présente annexe, les expressions ci-après sont définies comme suit:

«Précision»

Généralement mesurée par référence à l'imprécision et définie comme l'écart maximal, positif ou négatif, d'une valeur indiquée par rapport à une norme acceptée ou vraie valeur.

«Recherche scientifique fondamentale»

Travaux théoriques ou expérimentaux, entrepris principalement en vue de l'acquisition de connaissances nouvelles touchant les principes fondamentaux de phénomènes ou de faits observables, et non essentiellement orientés vers un but ou un objectif pratique.

«Développement»

Opérations liées à toutes les étapes préalables à la «production», telles que:

- Conception
- Recherches de conception
- Analyses de conception
- Principes de conception
- Montages et essais de prototypes
- Plans de production pilotes
- Données de conception
- Processus de transformation des données de conception en un produit
- Conception de configuration
- Conception d'intégration
- Plans

«Domaine public (du)»

Ceci fait référence au «logiciel» ou à la «technologie» qui a été rendu(e) disponible sans restriction sur sa diffusion. (Les restrictions de copyright n'empêchent pas le «logiciel» ou la «technologie» d'appartenir au «domaine public».)

«Microcircuit»

Dispositif dans lequel un certain nombre d'éléments passifs ou actifs sont considérés comme étant associés de façon indivisible à la surface ou à l'intérieur d'une structure continue, afin de fonctionner comme un circuit.

«Microprogrammes»

Séquence d'instructions élémentaires, enregistrées dans une mémoire spéciale, dont l'exécution est déclenchée par l'introduction de son instruction de référence dans un registre d'instruction.

«Charge utile»

Masse totale qui peut être transportée par le système de fusée ou le véhicule aérien sans pilote spécifié et qui ne sert pas à maintenir le système ou le véhicule en vol

Note:

The particular equipment, subsystems, or components to be included in the "payload" depends on the type and configuration of the vehicle under consideration.

Notes techniques:

1. *Missiles balistiques*

a. *«La charge utile» des systèmes comportant des corps de rentrée qui se séparent comprend:*

1. *Les corps d'entrée, y compris:*
 - a. *L'équipement spécialisé de guidage, de navigation et de commande;*
 - b. *L'équipement spécialisé de contre-mesure;*
2. *Les munitions, quel qu'en soit le type (notamment explosif et non explosif);*
3. *Les structures de support et les mécanismes de déploiement des munitions (servant par exemple à relier le corps de rentrée au bus/véhicule de post propulsion ou à l'en séparer) qui peuvent être enlevés sans nuire à l'intégrité structurale du véhicule;*
4. *Les mécanismes et les dispositifs de mise en sécurité, d'armement, d'allumage ou de mise à feu;*
5. *Tout autre équipement de contre-mesure (par exemple leurres, brouilleurs ou lance-paillettes) qui se sépare du bus/véhicule de post propulsion;*
6. *Le bus/véhicule de post propulsion ou le module de stabilisation/orientation/ compensation de vitesse, excluant les systèmes/sous-systèmes essentiels au fonctionnement des autres étages.*

b. *«La charge utile» des systèmes comportant des corps de rentrée qui ne se séparent pas comprend:*

1. *Les munitions, quel qu'en soit le type (notamment explosif et non explosif);*
2. *Les structures de support et les mécanismes de déploiement des munitions (servant par exemple à relier le corps de rentrée au bus/véhicule de post propulsion ou à l'en séparer) qui peuvent être enlevés sans nuire à l'intégrité structurale du véhicule;*
3. *Les mécanismes et les dispositifs de mise en sécurité, d'armement, d'allumage ou de mise à feu;*
4. *Tout équipement de contre-mesure (par exemple leurres, brouilleurs ou lance-paillettes) qui peut être enlevé sans nuire à l'intégrité structurale du véhicule.*

2. *Lanceurs spatiaux*

"La charge utile" comprend:

- a. *Des engins spatiaux (simples ou multiples), y compris les satellites;*
- b. *Des adaptateurs satellite-lanceur, comprenant, le cas échéant, des moteurs d'apogée/périgée ou des systèmes de manœuvre analogues et des systèmes de séparation.*

3. *Fusées-sondes*

"La charge utile" comprend:

- a. *L'équipement nécessaire pour une mission, tel que dispositifs de saisie, d'enregistrement ou de transmission de données pour les données spécifiques à la mission;*
- b. *L'équipement de récupération (par exemple parachutes) qui peut être enlevé sans nuire à l'intégrité structurelle du véhicule.*

4. *Missiles de croisière*

«La charge utile» comprend:

- a. *Munitions de tout type (explosif ou non-explosif);*
- b. *Les structures de support et les mécanismes de déploiement des munitions qui peuvent être retirés sans nuire à l'intégrité structurale du véhicule;*
- c. *Mécanismes et dispositifs de mise en sécurité, d'armement, d'allumage ou de mise à feu;*
- d. *L'équipement de contre-mesure (par exemple leurres, brouilleurs ou lance-paillettes) qui peut être enlevé sans nuire à l'intégrité structurelle du véhicule;*
- e. *Tout équipement d'altération de la signature qui peut être enlevé sans nuire à l'intégrité structurelle du véhicule.*

5. *Autres véhicules aériens sans pilote*

«La charge utile» comprend:

- a. *Munitions de tout type (par ex. explosif ou non-explosif);*
- b. *Mécanismes et dispositifs de mise en sécurité, d'armement, d'allumage ou de mise à feu;*
- c. *L'équipement de contre-mesure (par exemple leurres, brouilleurs ou lance-paillettes) qui peut être enlevé sans nuire à l'intégrité structurelle du véhicule;*
- d. *Tout équipement d'altération de la signature qui peut être enlevé sans nuire à l'intégrité structurelle du véhicule;*
- e. *L'équipement nécessaire pour une mission, tels que dispositifs de saisie, d'enregistrement ou de transmission de données pour les données spécifiques à la mission, et les structures de support et les mécanismes de déploiement qui peuvent être enlevés sans nuire à l'intégrité structurelle du véhicule;*
- f. *L'équipement de récupération (par exemple parachutes) qui peut être enlevé sans nuire à l'intégrité structurelle du véhicule;*
- g. *Les structures de support et les mécanismes de déploiement des munitions qui peuvent être retirés sans nuire à l'intégrité structurelle du véhicule.*

«Production»

Toutes les étapes de la production, telles que:

- Technique de production
- Fabrication
- Intégration
- Assemblage (montage)
- Contrôle
- Essais
- Assurance de la qualité

«Équipement de production»

Outillages, gabarits, montages, mandrins, moules, matrices, appareillages, mécanismes d'alignement, équipements d'essais, autres machines et leurs composants, limités à ceux spécialement conçus ou modifiés pour le «développement» ou pour une ou plusieurs phases de la «production».

«Équipements d'assistance à la production»

«Équipements de production» et «logiciels» conçus spécialement, intégrés dans les installations servant au «développement» ou à une ou plusieurs phases de «production».

«Programmes»

Séquence d'instructions pour la réalisation d'un processus, exprimées sous une forme, ou transposables dans une forme permettant leur exécution par un ordinateur.

«Résistant aux rayonnements»

Désigne un composant ou un équipement conçu pour résister ou évalué comme résistant à des niveaux de rayonnement équivalant ou excédant une dose d'irradiation totale de 5×10^5 rads (Si).

«Portée»

Distance maximale que peut parcourir en vol stable un système de fusées ou un système de véhicules aériens sans pilote, mesurée en projetant la trajectoire du système sur la surface de la Terre.

Notes techniques:

1. La capacité maximale basée sur les caractéristiques de conception du système, lorsqu'il est entièrement chargé de carburant ou de propergol, sera prise en considération pour déterminer la «portée».
2. La «portée» des systèmes de fusées et des systèmes de véhicules aériens est déterminée indépendamment de tout facteur externe, tel que les restrictions opérationnelles, limitations imposées par les télémesures, liaisons de données et autres contraintes externes.
3. Pour les systèmes de fusées, on détermine la «portée» à partir de la trajectoire qui donne la portée maximale, en supposant une atmosphère type OACI et un vent nul.
4. Pour les systèmes de véhicules aériens sans pilote, on détermine la «portée» pour la distance aller seulement, en utilisant le profil de vol correspondant à la plus faible consommation de carburant (par exemple vitesse de croisière et altitude) et en supposant une atmosphère type OACI et un vent nul.

«Logiciel»

Ensemble d'un ou plusieurs «programmes» ou de «microprogrammes», enregistrés sur tout support tangible.

«Technologie»

Désigne l'information spécifique nécessaire pour le «développement», la «production» ou l'«utilisation» de tout article de la liste. Cette information peut prendre la forme de «données techniques» ou d'«assistance technique»

«Assistance technique»

Se décline sous des formes telles que:

- L'instruction
- Les qualifications
- La formation
- Connaissances appliquées
- Services de consultants

«Données techniques»

Se décline sous des formes telles que:

- Des projets
- Des schémas
- Des diagrammes
- Des maquettes
- Des formules
- Manuels et mode d'emploi
- Sous forme écrite ou enregistrée sur d'autres supports ou dispositifs tels que:
 - Des disques
 - Des bandes magnétiques
 - Des mémoires mortes

«Emploi»

Signifie:

- Exploitation
- Installation (y compris in-situ)
- Entretien
- Réparation
- Révision
- Rénovation

3. Terminologie

Lorsque les termes suivants apparaissent dans le texte, ils doivent être compris conformément aux explications ci-dessous:

- (a) «Spécialement conçu» décrit l'équipement, les pièces, les composants ou les «logiciels» qui, par suite d'un «développement», présentent des propriétés uniques qui les distinguent pour certaines utilisations prédéterminées. Par exemple, un composant d'équipement qui est «spécialement conçu» afin d'être utilisé dans un missile ne sera considéré comme tel que s'il n'a aucune autre fonction ni aucun autre usage. De même, un composant d'équipement de fabrication qui est «spécialement conçu» pour produire un certain type de composant ne sera considéré comme tel que s'il ne permet pas de produire d'autres types de composants.
- (b) «Conçu ou modifié» décrit l'équipement, les pièces ou les composants qui, par suite d'un «développement» ou d'une modification, présentent des propriétés précises les rendant adaptés à une application particulière. L'équipement, les pièces, les composants ou les «logiciels» «conçus ou modifiés» peuvent servir pour d'autres applications. Par exemple, une pompe recouverte de titane conçue pour un missile peut être utilisée avec des fluides corrosifs autres que des propergols.
- (c) «Utilisable», «pouvant servir à» ou «pouvant servir de» décrit l'équipement, les pièces, les composants, les matériaux ou les «logiciels» qui conviennent à une utilisation particulière. Il n'est pas nécessaire que cet équipement, ces pièces, ces composants, ces matières ou ces «logiciels» aient été configurés, modifiés ou spécifiquement prévus pour cette utilisation particulière. Par exemple, tout circuit de mémoire répondant à des spécifications militaires serait «utilisable» dans un système de guidage
- (d) «Modifié», s'agissant de «logiciel», désigne un «logiciel» qui a été modifié volontairement de façon à comporter des propriétés le rendant adapté à certaines utilisations ou applications. Ses propriétés peuvent également rendre le logiciel adapté à des utilisations ou applications autres que celles pour lesquelles il a été "modifié".

Catégorie I - Article 1

Systemes de vecteurs complets

Catégorie I - Article 1 Systèmes de vecteurs complets

1.A. Équipement, assemblages et composants

1.A.1. Systèmes complets de fusées (y compris les systèmes de missiles balistiques, les lanceurs spatiaux et les fusées-sondes) pouvant transporter une «charge utile» d'au moins 500 kg sur une «portée» d'au moins 300 km.

- Brésil
- Chine
- France
- Inde
- Israël
- Japon
- Pakistan
- Corée du Sud
- Syrie
- Royaume Uni
- Canada
- Égypte
- Allemagne
- Iran
- Italie
- Corée du Nord
- Fédération de Russie
- Espagne
- Ukraine
- États Unis

Production globale



Nature et But: Les systèmes de fusée complets sont des véhicules de vol d'un seul bloc, qui portent leur carburant et oxydant intérieurement et amplifient leurs charges utiles à une vitesse élevée. Après combustion, la charge utile pour beaucoup de systèmes continue sur une trajectoire principalement non propulsée et balistique dans l'orbite ou à une cible sur terre. Selon sa portée et sa trajectoire, une fusée peut ou peut ne pas quitter l'atmosphère.

Les systèmes de fusée complets se composent habituellement de quatre éléments: (1) La charge utile ou la tête explosive; (2) un ou plusieurs sous-systèmes de propulsion pour accélérer la charge utile à la vitesse requise; (3) un système de contrôle et de guidage, qui guide la fusée le long d'une trajectoire préprogrammée à une destination prédéterminée (toutes les fusées ne

sont pas guidées, cependant); et (4) une structure globale qui maintient l'ensemble.

L'évaluation des systèmes couverts à ce point doit tenir compte de la capacité à changer la charge utile et la portée. Ces possibilités inhérentes peuvent différer de manière significative des caractéristiques des fabricants ou du concept opérationnel prévu. Par exemple, un lanceur spatial destiné à livrer de petits satellites (moins de 500 kg) en orbite pourrait être capable d'envoyer plus de 500 kg sur des distances supérieures à 300 km, dépassant ainsi les critères de contrôle.

Mode de fonctionnement: La propulsion des fusées fonctionne en expulsant la matière à bord dans la direction opposée au mouvement souhaité du missile (conservation de l'élan). Des performances élevées en termes de vitesse et de distance sont obtenues lorsque l'échappement est expulsé à grande vitesse et que la partie restante du missile a une faible masse par rapport à la masse totale expulsée. Des vitesses d'échappement élevées sont corrélées à une combustion à haute température des propergols. Ce dernier peut être solide, liquide ou un hybride des deux, à l'intérieur du missile, alors que dans tous les cas l'échappement est constitué de gaz chauds. Atteindre une faible masse pour les parties restantes du missile nécessite des techniques de réduction du poids telles que l'utilisation de moteurs légers et de

1 | Manuel d'annexe du régime de commande de technologie de missile (MTCR) - 2017

structures efficaces faites de matériaux à haute résistance.

Des systèmes et sous-systèmes complets de fusée sont examinés pour assurer l'état de préparation opérationnelle avant le lancement, et le plan ou la trajectoire de vol est programmé dans un ordinateur de guidage, qui commande et oriente la fusée afin de garder la bonne trajectoire. Le temps total de vol, la vitesse de rentrée et portée des systèmes de fusée peuvent être manœuvrés en changeant la trajectoire.

Les missiles balistiques ont trois phases principales de vol: la "phase de poussée/montée"; les "phases de mi-parcours"; et la "phase terminale". Pendant la phase de poussée/montée, le propergol liquide ou solide produit de la poussée pour lancer le missile qui accélère à une vitesse maximum. Les missiles à une plus longue portée présentent généralement plusieurs étapes: chaque étape termine sa poussée quand son carburant est dépensé ou lorsqu'il n'est plus nécessaire et est séparé du reste de la fusée, et la prochaine étape déclenchée.



Schéma 1: Le lancement d'un lanceur spatial (ULA - Carleton Bailie)

Pour les missiles balistiques qui quittent l'atmosphère, au cours de la "phase de mi-course", le missile se met à rouler en roue libre jusqu'au point de réintroduction dans l'atmosphère. Dans la première partie de cette phase, le missile continuera d'augmenter en altitude jusqu'à l'apogée (point le plus éloigné de la terre). Si le missile transporte plusieurs ogives, elles sont généralement lâchées ou éjectées pendant cette phase. Quelques têtes explosives ne pourraient être éjectées que peu avant que le missile ne rentre dans l'atmosphère, et dans certains cas, la charge utile reste attachée au corps de missile pendant qu'il rentre dans l'atmosphère.

Si la tête explosive se sépare, alors elle sera portée dans un véhicule de rentrée (RV). Le RV sera porté dans une charge utile, qui peut inclure des têtes explosives multiples et des RV. Sur des missiles équipés de véhicules de rentrée Indépendamment ciblés (MIRV), chaque RV sera porté par un véhicule en phase de post propulsion, qui a son propre moteur de propulsion de sorte qu'il puisse se déplacer dans l'espace et déployer chaque RV contre la cible indiquée.

La "phase terminale" se rapporte à la partie de la trajectoire après que le missile ou les têtes explosives soient rentrés dans l'atmosphère (en-dessous de 120 kilomètres d'altitude).

Il convient de noter que tandis que quelques systèmes ont pu avoir énuméré la charge utile et/ou les seuils de portée qui tombent en-dessous des exigences minimums de 300 kilomètres et de 500 kilogrammes pour cette catégorie, il est possible de sacrifier la charge utile pour obtenir une portée accrue ou la portée pour une charge utile accrue. Les réglages de la portée et de la charge utile peuvent être effectués en augmentant ou en diminuant la quantité de propergols transportés ou par d'autres modifications. De telles modifications peuvent faire en sorte que l'article en question ne corresponde pas aux spécifications du fabricant ou au concept opérationnel prévu.

1 | Manuel d'annexe du régime de commande de technologie de missile (MTCR) - 2017

Utilisations typiques liées aux missiles: Des lanceurs spatiaux et les fusées-sondes sont utilisés pour placer des satellites en orbite ou pour recueillir des données scientifiques dans la haute atmosphère, respectivement. La différence critique entre ces systèmes et les missiles balistiques offensifs est leur charge utile et leur utilisation prévue. Avec l'addition d'une charge utile d'armes et de différents algorithmes de guidage, des lanceurs spatiaux et les fusées-sondes peuvent être utilisés en tant que missiles balistiques. En fait, beaucoup de lanceurs spatiaux ont été développés à partir de missiles balistiques opérationnels, et partagent des composants avec ceux-ci.

Plusieurs missiles balistiques opérationnels ont été utilisés comme lanceurs spatiaux. Les fusées sondes, comme les missiles balistiques, n'atteignent pas l'orbite, mais leurs algorithmes de guidage et leurs trajectoires peuvent être très différents, en l'absence d'une cible particulière à portée réduite.

Autres usages: N/A

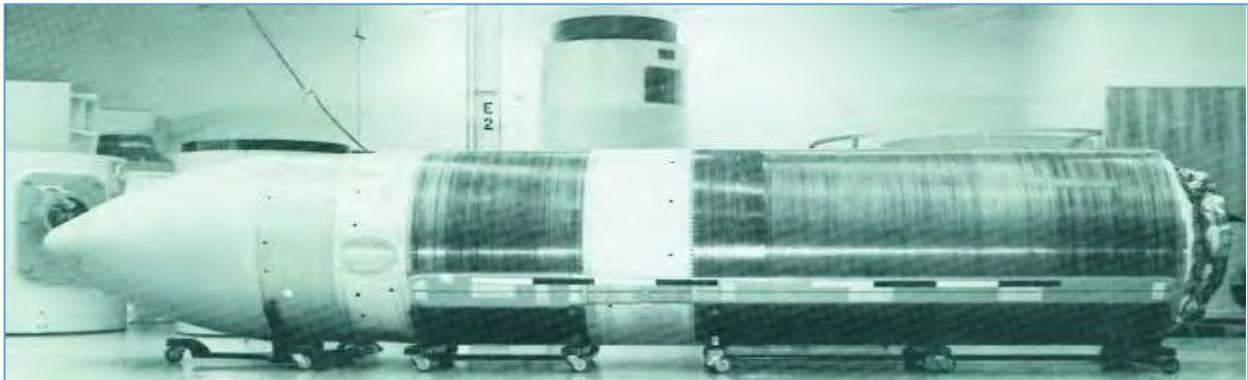


Schéma 2: Un missile balistique à propergol solide lancé à partir de sous-marins. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

Aspect (sortie d'usine): Les systèmes complets de fusée sont de grands, longs, étroits cylindres. Une fois assemblés, ces systèmes ont typiquement des dimensions d'au moins 8 m de longueur, 0.8 m de diamètre, et un poids de 5.000 kilogrammes, avec un chargement complet de propergol. Quelques photos représentatives des systèmes de missile balistique, des lanceurs spatiaux sont montrées dans les schémas 1, 2 et 3. Les missiles balistiques lancés par sous-marin (SLBM) peuvent être relativement larges et courts pour entrer dans un sous-marin (Figure 2). Une fusée sonde est illustrée à l'article 19.A.1, car les fusées sondes sont généralement plus petites que les missiles visés à l'article 1. A.1.

Le schéma 4 fournit une vue étendue d'un missile balistique notionnel, montrant une portée des articles commandés par le MTCR. Afin d'illustrer les différents types de fusées, le premier étage est illustré avec un propergol solide et le deuxième étage avec un propergol liquide.

L'embout avant, ou le nez, a typiquement un capot de carénage conique, elliptique, ou à bulbe qui loge la charge utile, et se joint au corps cylindrique dans lequel les propergols se trouvent. L'extrémité arrière émoussée est droite, évasée, ou à ailettes symétriques pour la stabilité pendant le lancement et le vol atmosphérique. Le corps des caissons de système de fusée contient le moteur de fusée, qui fournit la poussée. La surface de système de fusée est habituellement faite de matières métalliques ou composites avec des matériaux anti caloriques ou des revêtements de protection. Selon leur utilisation prévue, quelques surfaces peuvent être non finies (non peintes ou autrement enduites).

1 | Manuel d'annexe du régime de commande de technologie de missile (MTCR) - 2017

Aspect (à l'emballage): Un système complet de fusée est rarement emballé comme unité entièrement assemblée pour l'expédition du fabricant à son point d'utilisation ou de stockage. Au lieu de cela, les sous-systèmes principaux (les étages) sont embarqués dans des caisses ou des récipients en métal scellé vers un site d'assemblage près du site de lancement, où ils sont assemblés, examinés pour leur état de préparation opérationnelle, et érigés pour le lancement vertical. L'assemblage final est parfois complété avec le missile en position horizontale, tandis que certains missiles sont assemblés en superposant les étages.

Les missiles balistiques mobiles, qui peuvent être transportés entièrement assemblés jusqu'au lieu de lancement après stockage en position horizontale sur un véhicule à roues, constituent une exception. Il peut s'agir d'un lanceur d'érection mobile (MEL, une remorque reliée à un véhicule tracteur) ou d'un transporteur-érecteur-lanceur (TEL, un véhicule long avec son propre moteur et sa propre chaîne cinématique). Un MEL ou un TEL a un mécanisme pour incliner le missile vers le haut avant le lancement. Les missiles mobiles sont susceptibles d'être contenus à l'intérieur d'un conteneur de sorte que le missile lui-même n'est pas exposé avant d'être prêt pour le lancement.



Schéma 3: *Gauche*: Un lanceur spatial (ISRO) *Droite*: Un missile balistique intercontinental (ICBM) à silo et mobile sur route, à tête explosive simple. (Images de maxime Shipenkov/AFP/Getty)

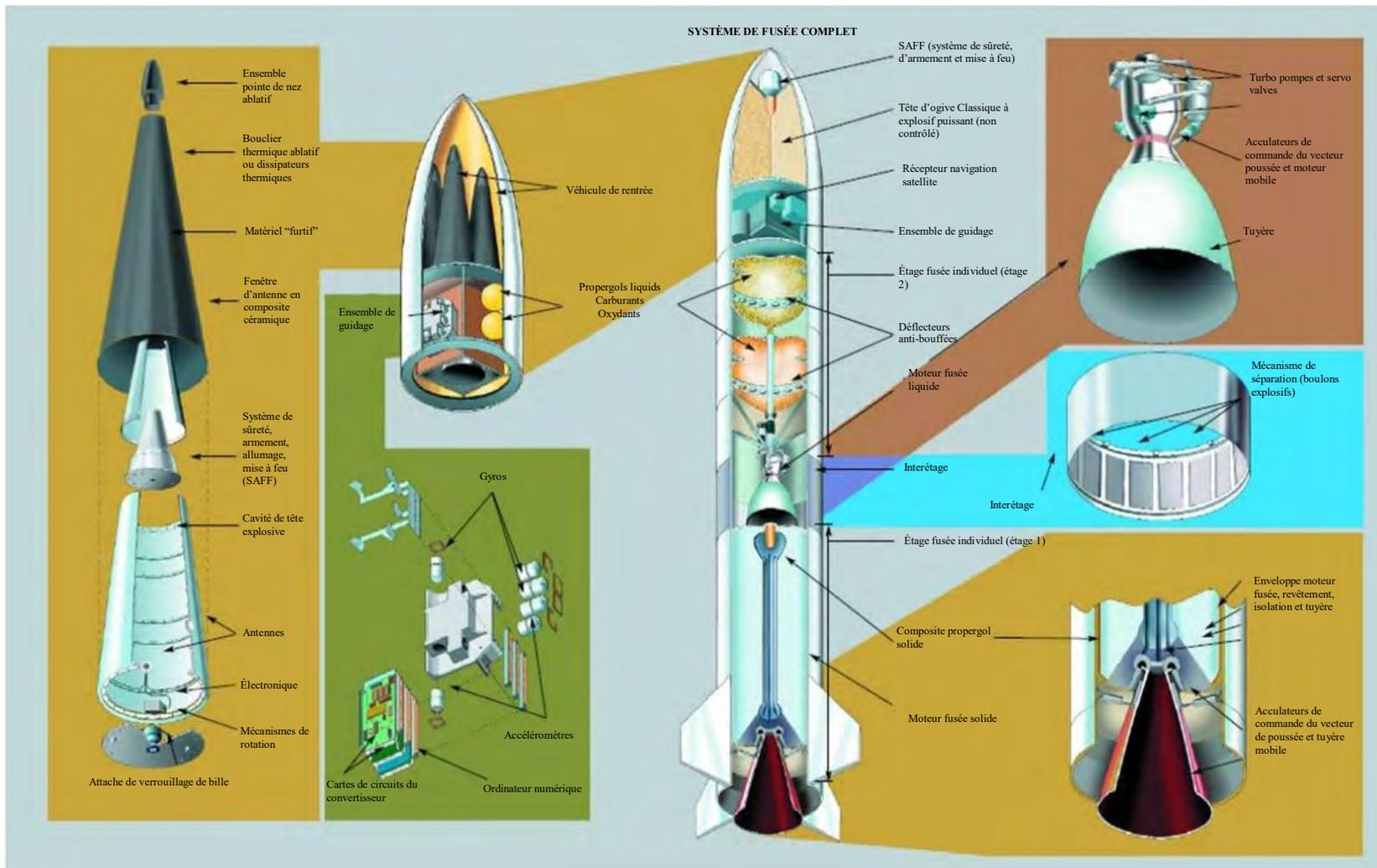


Schéma 4: Vue agrandie d'un missile balistique notionnel montrant des articles d'annexe de MTCR. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

1.A.2. Systèmes complets de véhicules aériens sans pilote (y compris les systèmes de missiles de croisière, les engins-cibles et les engins de reconnaissance) pouvant transporter une «charge utile» d'au moins 500 kg sur une portée d'au moins 300 km.

- Australie
- Chine
- France
- Allemagne
- Israël
- Pakistan
- Fédération de Russie
- États Unis

Production
globale



Nature et But: Les véhicules aériens sans pilote (UAV) sont des véhicules en général aérobies qui emploient la portance aérodynamique pour voler (et exécuter de ce fait leur mission entière dans l'atmosphère terrestre). Les UAV sont habituellement propulsés par de petites turbines ou de petits moteurs à pistons qui entraînent des hélices libres ou à canalisations, ou de petits réacteurs (certains de ces systèmes de propulsion sont couverts par l'article 3 de l'annexe MTCR). Les missiles de croisière fonctionnent généralement à des vitesses subsoniques élevées (moins de 900 km/h), tandis que les autres UAV ont tendance à voler à des vitesses comprises entre 360 km/h et 640 km/h.

L'évaluation des systèmes couverts à ce point doit tenir compte de la capacité à changer la charge utile et la portée. Ces possibilités inhérentes peuvent différer de manière significative des caractéristiques des fabricants ou du concept opérationnel prévu.

Plusieurs des UAV couverts dans cette section du MTCR sont de grands systèmes capables du fonctionnement à des altitudes allant jusqu'à environ 20 000 m, ont des temps d'endurance de vol compris entre 24 et 48 heures, et des masses de décollage maximales comprises entre 2 500 et 12 500 kilogrammes. Ces UAV peuvent être désignés sous le nom d'UAV (HALE) haute altitude et longue endurance. Plusieurs UAV à grande autonomie en moyenne altitude (MALE) sont également inclus dans l'article 1.A.2.

Il existe plusieurs définitions des missiles de croisière, qui peuvent voler à altitude élevée ou près de la terre. D'autres UAV peuvent et ont été convertis pour porter des têtes explosives afin d'attaquer des cibles, et de tels UAV sont effectivement des missiles de croisière pour cette mission spécifique. Parfois ils ont également des similitudes avec les missiles de croisière tels que la propulsion de fusée, l'aspect, et la capacité de recevoir et transmettre des données et des commandes en vol. La différence critique entre les missiles de croisière et d'autres UAV est que ce dernier est conçu pour être réutilisable. Alors que d'autres UAV sont conçus pour



Schéma 5: Un véhicule aérien sans pilote (UAV) à grande autonomie en haute altitude (HALE). (l'Armée de l'air des États-Unis)

1 | Manuel d'annexe du régime de commande de technologie de missile (MTCR) - 2017

revenir après les missions, ils tendent à avoir beaucoup de dispositifs en commun avec les avions pilotés, tels que des mécanismes pour un atterrissage sûr et de grandes ailes destinées à maintenir l'altitude et augmenter la résistance.

La différence fondamentale entre les missiles de croisière et les missiles balistiques se situe dans l'altitude du vol. Les missiles de croisière volent dans l'atmosphère basse (en-dessous de 20 kilomètres), employant la portance aérodynamique pour gagner et maintenir de l'altitude. Ils tendent à être moins chers et plus petits que les missiles balistiques, avec un guidage habituellement au cours de la totalité du vol. Il est plus facile de détecter leur lancement que celui d'un missile de croisière. Il y a des missiles balistiques qui ont des dispositifs en commun avec les missiles de croisière, telles que les possibilités supplémentaires de guidage lorsqu'ils sont en vol ou en basse trajectoire, mais ceux-ci sont en général bien au-dessus de l'altitude maximum de 20 kilomètres des missiles de croisière.

Il convient de noter que tandis que quelques systèmes ont pu avoir énuméré la charge utile et/ou les seuils de portée qui tombent sous le minimum des exigences de 300 kilomètres et de 500 kilogrammes pour cette catégorie, il est possible de sacrifier la charge utile pour obtenir une portée accrue ou la portée pour une charge utile accrue, en augmentant ou en diminuant la quantité du combustible portée ou par l'intermédiaire d'autres modifications. Ceci peut amener l'article en question à dépasser les caractéristiques des fabricants ou le concept opérationnel prévu.

Mode de fonctionnement: Les systèmes d'UAV peuvent être contrôlés en vol par un système de navigation embarqué, qui peut suivre une route préprogrammée en suivant des points de cheminement.

Il est également possible de régler le cap du système d'UAV en vol à l'aide des commandes d'un système au sol, relayées par la liaison de données embarquée. Les stations au sol des UAV comprennent un système de commandes de vol (généralement une console à joystick) et une série de moniteurs d'affichage et d'équipement d'enregistrement. En attendant, un système de contrôle de vol à bord maintient le système d'UAV dans le vol commandé, ajustant les gouvernes pour maintenir la trajectoire de vol désirée.



Schéma 6: Un UAV armé de missiles air-sol. (General Atomics Aeronautical Systems, Inc.)

Les missiles de croisière utilisent la portance aérodynamique et volent dans la basse atmosphère (en dessous de 20 km ou 65 617 pieds d'altitude), et peuvent changer de direction ou d'altitude à tout moment de leur trajectoire de vol. Ces caractéristiques - altitudes fonctionnelles et manœuvrabilité - sont des éléments de distinction cruciaux entre les missiles de croisière et les missiles balistiques. Cependant comme avec les missiles balistiques, les missiles de croisière ont trois phases de vol: la phase de poussée, la phase de croisière et la phase terminale. La Vitesse pendant la phase de croisière peut varier de 0.5 mach (610 km/h au niveau de la mer) jusqu'à 2.5 mach (3060 km/h au niveau de la mer ou 2065 km/h à 15 km d'altitude).

1 | Manuel d'annexe du régime de commande de technologie de missile (MTCR) - 2017

Un missile de croisière peut être lancé à partir de véhicules au sol, habituellement désignés sous le nom de Transporteur-Monteur-Lanceur (TEL), de bateaux, des sous-marins, ou des avions. Lorsqu'ils sont lancés à partir du sol et de la mer, les missiles de croisière utiliseront de petits propulseurs de fusée pour les lancer à partir de leurs boîtes métalliques et pour les faire accélérer à la vitesse de vol. Les missiles de croisière ont la capacité de voler sur des trajectoires multiples, et effectuent souvent des missions de vol pré planifiées spécifiquement conçues pour battre les défenses au moyen de masquage de terrain ou d'évitement de défense, et de plus en plus au moyen de la technologie de furtivité. La plupart des missiles de croisière contiennent un système de sonde qui les guide vers leurs cibles en employant des dispositifs de terrain ou des signatures de cible.



Schéma 7: Un missile de croisière opérationnel sur sa caisse de sortie, montrant son cône de nez modifié pour réduire les échos radar et améliorer les performances aérodynamiques. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (Mai 2005))

Les missiles de croisière emploient de plus en plus des systèmes de navigation par inertie mis à jour par des récepteurs de navigation par satellite en plus, ou à la place, des systèmes de navigation facilités par le terrain pour les guider à proximité de la cible, où une sonde terminale est déclenchée pour s'autoguidé vers la cible. Divers types de sondes sont employés pour détecter les signatures distinctives de cible ou pour assortir des scènes préprogrammées de la zone ciblée. Une fois à la cible, le missile de croisière détone la tête explosive ou, s'il en est équipé, distribue des sous-munitions.

D'autres systèmes d'UAV peuvent être basés sur un avion construit spécialement pour le vol sans pilote ou peuvent être une modification d'un avion habité, qu'il s'agisse d'une aile fixe ou d'un hélicoptère. Selon les moyens de décollage de l'UAV, l'avion peut être caché et mis à l'eau à partir de divers endroits, y compris des pistes d'atterrissage accidentées, des navires maritimes ou des aéroports ordinaires.

Les UAV de grande taille sont généralement équipés de plusieurs types de charges utiles, y compris l'équipement de capteurs, contiennent une aéro-électronique et des liaisons de données, et sont soutenus par une composante terrestre, composée d'éléments de contrôle de mission (MCE) et de lancement et récupération (LRE), qui comprend un personnel au sol de taille variable selon la complexité et le nombre des systèmes nécessitant une opération humaine. Au cours des opérations, la collecte du véhicule aérien sans pilote (avec ses charges utiles et son aéro-électronique) et de sa composante de soutien au sol (y compris les MCE et les LRE) est souvent appelée un système aérien sans pilote (UAS).

Utilisations typiques liées aux missiles: Tandis que les UAV étaient initialement déployés le plus généralement pour des opérations de reconnaissance, les avancements technologiques permettent maintenant à des UAV de porter des charges utiles bien plus grandes sur de grandes distances pendant de longues périodes. En conséquence, beaucoup d'UAV sont maintenant conçus spécifiquement en tant que systèmes à missions multiples, capables de remplir une série de fonctions opérationnelles, incluant: intelligence, surveillance, et reconnaissance (ISR); identification de cible; recherche scientifique, et opérations de combat/livraison d'armes.

Des missiles de croisière sont typiquement utilisés spécifiquement pour livrer des charges utiles d'armes à une distance située entre 300 kilomètres et 5 500 kilomètres.

1 | Manuel d'annexe du régime de commande de technologie de missile (MTCR) - 2017

Autres usages: Certains UAV HALE sont utilisés pour appuyer une mission visant à améliorer la prévision de la trajectoire et de l'intensité des ouragans. L'UAV HALE peut rester au-dessus de régimes météorologiques violents pendant de longues périodes comparables à celles d'un satellite, mais leur proximité de la tempête fournit des données à résolution plus fine. Dans certains cas les UAV HALE sont également utilisés pour appuyer les missions géo scientifiques et le développement de technologies aéronautiques de pointe.

Aspect (sortie d'usine) Les UAV, y compris des engins de cible et de reconnaissance, ressemblent souvent aux avions sans habitacles pour pilotes. Les grands UAV auront un aspect varié suivant leurs conceptions spécifiques à leurs rôles, mais la plupart auront des fonctionnalités usuelles, y compris de grandes (et souvent minces) envergures comprises entre 20 et 40 m, et des dômes distinctifs vers l'embout avant du fuselage où se loge l'aéro-électronique et les composants électriques, y compris l'antenne de communication par satellite (SATCOM), l'antenne d'émetteur récepteur de champ de vision, les instruments de navigation et les systèmes de localisation par satellite (GPS). Les UAV utilisés à des fins militaires auront typiquement des références de voilure externes pour le chariot de charge utile.

Les systèmes complets d'UAV commandés à ce point peuvent également inclure les avions équipés qui sont modifiés pour voler de façon autonome en tant que véhicules pilotés de manière optionnelle. Habituellement, de tels systèmes maintiennent également un habitacle, qui est vide ou rempli de matériel électronique ou de charge utile pendant le vol.



Schéma 8: Image générée par ordinateur d'un missile de croisière à lanceur aérien. Compagnie Boeing

Les missiles de croisière ont habituellement une coupe cylindrique ou de type boîte et un rapport de finesse (rapport de longueur au diamètre) entre 8 à 1 et 10 à 1. La plupart ont une surface portante, ou des ailes, et la plupart des ailerons utilisent des commandes à la queue (certains ont des ailerons sur les ailes et/ou les canards), bien que la forme et la taille de ces surfaces dépendent considérablement du régime et de la charge utile de vol prévus. Les missiles de croisière tendent également à avoir une finition ou un revêtement terne pour les rendre plus durs à détecter, et les conceptions avancées peuvent incorporer des surfaces géométriques spéciales pour réduire les réflexions au radar. La plupart de ces dispositifs de missile de croisière type sont montrées sur le schéma 8.

Aspect (à l'emballage) Des UAV, y compris les missiles de croisière, sont fabriqués en plusieurs parties ou sections à différents endroits et par différents fabricants, et assemblés sur un site militaire ou dans une installation de production civile. Ces sections peuvent varier en taille, de moins de 10 kilogrammes et 0,03 m³ à 150 kilogrammes et 0,1 m à 1 m³ ou plus grand, selon la classe de l'UAV.

Les grands systèmes d'UAV peuvent être démontés, emballés et expédiés dans des cartons lourds ou des conteneurs personnalisés; les sections de taille moyenne nécessitent des caisses en bois lourdes. Les ailes des gros UAV sont détachées du fuselage, et chaque section est mise en caisse séparément pour le transport par camion, par train ou par avion-cargo.

La plupart des missiles de croisière sont embarqués entièrement montés dans des boîtes métalliques en métal hermétiques, qui peuvent également servir de tubes de lancement. Leurs ailes sont souvent pliées dans ou le long du corps de missile, et les ailerons de queue sont souvent pliés sur les charnières longitudinales afin d'entrer dans la boîte métallique de lancement ou sur la plate-forme de lancement et s'ouvrir après le lancement pour commander le missile.

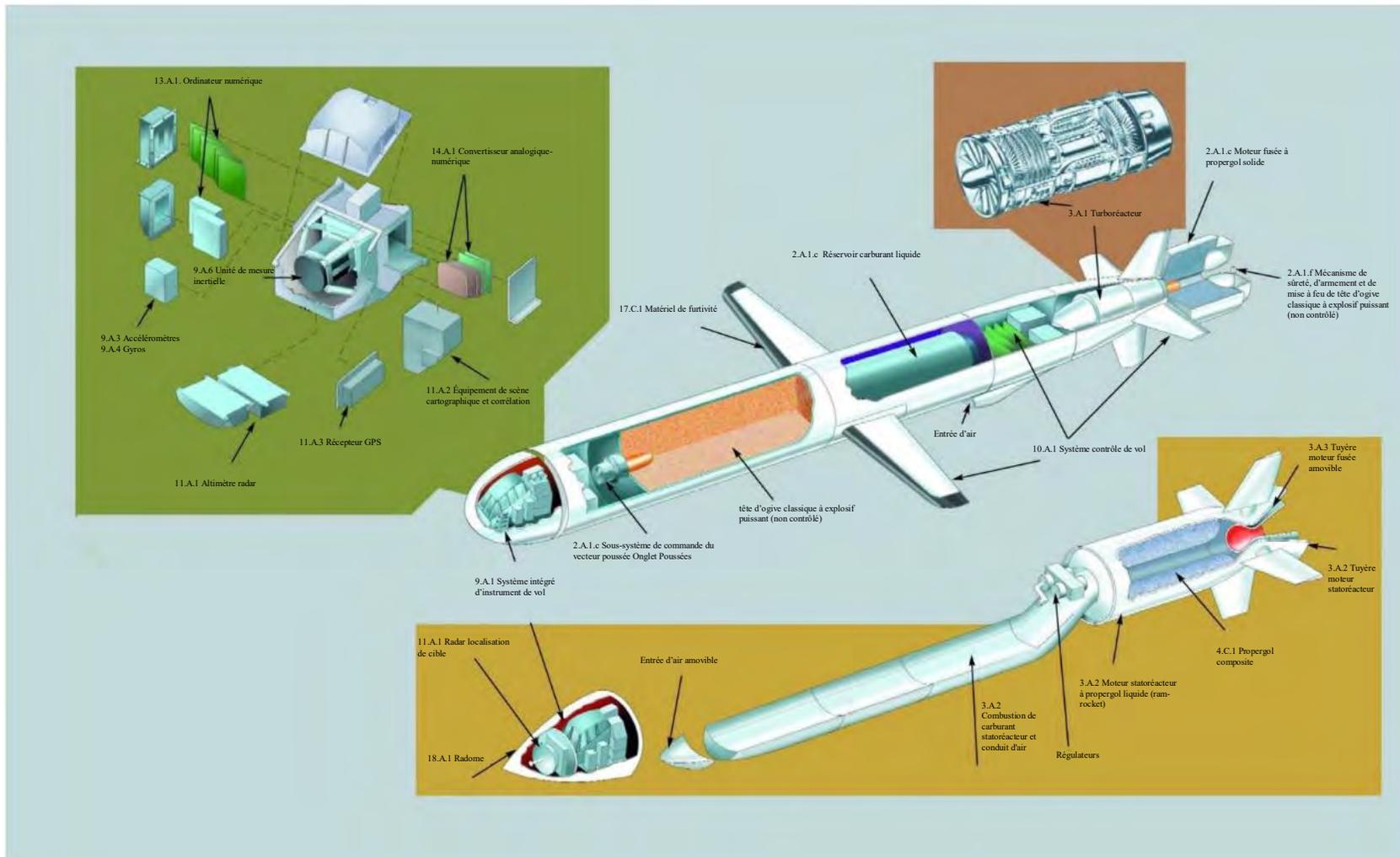


Schéma 9: Vue agrandie d'un missile de croisière notionnel montrant des articles d'annexe de MTCR. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

1.B. Équipement d'essai et de production

1.B.1. «Équipements d'assistance à la production» spécialement conçus pour les systèmes mentionnés à l'article 1.A.

- | | |
|------------------------|------------------|
| • Argentine | • Brésil |
| • Canada | • Chine |
| • Égypte | • France |
| • Allemagne | • Inde |
| • Iran | • Israël |
| • Italie | • Japon |
| • Corée du Nord | • Pakistan |
| • Fédération de Russie | • Afrique du Sud |
| • République de Corée | • Suède |
| • Suisse | • Ukraine |
| • Royaume Uni | |
| • États Unis | |

Production



Nature et But: Des installations de production conçues spécialement pour la production des systèmes de fusée et des UAV dans leur totalité incluent tout l'équipement spécial nécessaire. Il y a beaucoup de types différents d'équipement de production spécialement conçus pour de tels missiles qui, une fois intégrés dans des installations pour le développement ou la production, constituent des installations de production. Certains des plus grands morceaux d'équipement dans de tels équipements de production sont les montages et les gabarits employés pour assurer l'alignement approprié de différents composants de missile pendant l'assemblage. Les moules, les matrices et les mandrins sont utilisés intensivement dans tout le processus de fabrication. Ceux-ci sont conçus pour des processus de fabrication spécifiques et sont habituellement uniques à une pièce ou à un composant.

Méthode de fonctionnement: Les gabarits et les montages sont utilisés pour recevoir, soutenir, aligner et assembler les différents composants du système de distribution. Pour les systèmes de fusée, cela comprend les réservoirs de carburant et d'oxydant, les carters moteurs et les ensembles moteurs. Pour les systèmes d'UAV, cela

comprend la cellule, les longerons d'aile et les ensembles moteurs. Des ponts roulants sont utilisés pour déplacer les composants du missile de leurs récipients d'expédition et chariots sur le gabarit d'assemblage. Des instruments d'alignement de laser sont parfois construits dans les montages afin d'assurer un ajustement précis, et les équipements d'essai électrique et électronique pour l'essai fonctionnel et opérationnel sont utilisés selon les besoins pendant l'assemblage.

Utilisations typiques liées aux missiles: Des installations de production sont employées pour assembler un système de missiles complet à partir de ses montages partiels et éléments. À la fin de chaque étape de production, des essais mécaniques et électriques d'ajustement et de fonctionnement sont réalisés pour vérifier que l'assemblage est prêt pour la prochaine étape. Après qu'une fusée soit assemblée et passe tous les essais de production, elle peut être démontée aux points d'arrêt de corps prescrits. Ces composants de missile séparés sont chargés dans différents récipients ou caisses pour l'expédition à une installation pour l'entreposage à long terme ou au point de lancement opérationnel pour le remontage

et l'usage finaux. Cependant, des UAV, y compris des missiles de croisière, sont typiquement embarqués entièrement assemblés aux unités opérationnelles (selon le type de plate-forme de lancement) ou aux dépôts de stockage pour l'entreposage à long terme.

Autres usages: Les montages et gabarits d'assemblage sont habituellement des articles à application unique conçus pour produire un type de système de fusée ou d'UAV. Il n'est habituellement pas pratique de les modifier pour d'autres usages.

Aspect (à la sortie d'usine): Les montages et gabarits d'assemblage utilisés dans la production des systèmes de fusée (comme cela est représenté dans la figure 10) sont habituellement de grandes et lourdes structures. Leur longueur et largeur totales sont approximativement de 20 % à 30 % plus grandes que le système de missiles qu'elles sont conçues pour assembler. Leur poids peut s'évaluer à des centaines ou même à des milliers de kilos.

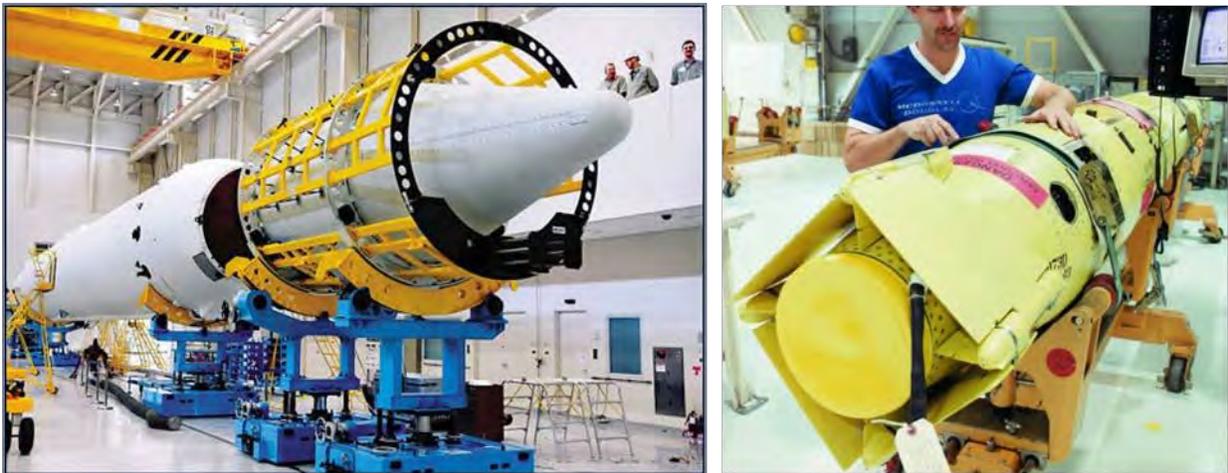


Schéma 10: *Gauche:* Un lanceur spatial sur un montage d'assemblage. (Korea Times) *Droite:* Montage modulaire soutenant un missile de croisière lors de l'assemblage final.

Aspect (à l'emballage): Des montages et gabarits d'assemblage pour de grands missiles sont souvent trop grands et lourds pour être emballés et embarqués à l'usine en tant qu'unités complètes. Au lieu de cela, des éléments sont embarqués séparément dans de grandes caisses ou protégés sur des palettes pour l'assemblage sur place. Ils seront solidement attachés dans la caisse pour empêcher tout mouvement et dommages. De plus petits montages peuvent être emballés individuellement sur des caisses ou des palettes pour l'expédition. Les grandes usines peuvent produire des montages et des gabarits d'assemblage sur place faisant partie de leur effort global de fabrication.

Informations complémentaires: Les montages et gabarits d'assemblage établis pour recevoir et assembler des composants de missile horizontalement exigent des garnitures ou des rouleaux extérieurs profilés pour soutenir les pièces du corps cylindrique avec une déformation minimale. Les systèmes de fusée qui sont employés pour construire une fusée dans une attitude verticale exigent peu de gabarits de support de corps mais doivent avoir une hauteur libre élevée dans le bâtiment pour empiler les composants et pour déplacer un missile entièrement assemblé. Les composants primaires des montages et des montages d'assemblage sont les membres standards d'acier de construction. Leur taille et force sont fonction de la condition requise pour soutenir et maintenir l'alignement des grands et lourds composants de missile pendant l'assemblage.

Des montages et gabarits sont habituellement assemblés en soudant ou en boulonnant de grandes plaques en acier et profilés en I ou des membres tubulaires ensemble sur le sol du bâtiment d'assemblage du missile.

Dans certains cas, ces montages sont établis sur des garnitures mobiles, qui ne sont pas boulonnés au sol; de telles garnitures isolent la structure des vibrations, qui pourraient autrement causer une déviation de l'alignement de leurs points de référence de précision. Des dispositifs d'enquête de précision sont utilisés pour assurer un alignement correct.

Les gabarits et les dispositifs de fixation des systèmes d'UAV varient considérablement en fonction de la complexité du système de largage. Certains UAV utilisent des méthodes d'assemblage similaires à la construction d'un avion en kit avec de la mousse structurelle et des couches de verre ou de carbone à la main. Les UAV plus sophistiqués utilisent des gabarits et des dispositifs de production qui ressemblent à la fabrication d'avions habités avec des cellules de composants alimentant une ligne d'assemblage en traction.

1.C. Matériaux

Aucune.

1.D. Logiciel

1.D.1. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié aux fins de l'«utilisation» d'«équipements d'assistance à la production» mentionnés par l'article

- Argentine
- Canada
- Égypte
- Allemagne
- Iran
- Italie
- Corée du Nord
- Fédération de Russie
- République de Corée
- Suisse
- Royaume Uni
- Brésil
- Chine
- France
- Inde
- Israël
- Japon
- Pakistan
- Afrique du Sud
- Suède
- Ukraine
- États Unis

Production globale



Nature et But: Les logiciels de processus des installations de production vont des routines de commande numérique utilisées pour la fabrication des composants aux systèmes de contrôle et d'acquisition de données (SCADA) qui surveillent et contrôlent les fonctions et processus à l'échelle de l'usine. Les plus grandes installations peuvent également utiliser un système d'exécution de la fabrication (MES) qui gère tous les aspects du processus de fabrication, de la définition de la production à la documentation " telle que construite ". Le MES s'appuie sur les systèmes SCADA et les équipements à commande numérique pour coordonner les processus de production.

Mode de fonctionnement: Les routines de commande numérique résident sur le contrôleur de l'équipement automatisé et exécutent généralement une opération

spécifique telle que le perçage de trous dans un carter de moteur. Les systèmes SCADA intègrent des informations de capteurs provenant d'une variété de systèmes analogiques et numériques pour

coordonner le déroulement du processus à l'aide d'ordinateurs et d'automates programmables dédiés. Les installations de propergol à débit continu exigent une mesure précise des ingrédients spécialisés, comme les modificateurs de vitesse de combustion, pendant que le propergol est mélangé et transféré dans les boîtiers des moteurs. Le MES s'interface avec l'installation de production pour planifier la production, suivre l'avancement des travaux et rendre compte des résultats afin de maintenir les opérations.

Utilisations typiques liées aux missiles: Le logiciel des installations de production est installé dans des ordinateurs qui sont reliés aux sondes d'équipement de commande numérique et/ou à toute autre automation employée pour produire des composants de missile. Aucun de ces logiciels n'est conçu pour l'usage sur l'ordinateur de missile.

Autres usages: Le logiciel qui est employé dans des équipements de production de missile peut également être utilisé, avec des modifications, pour commander une installation non liée au missile, comme une usine de fabrication automobile ou pour contrôler d'autres processus industriels où des tâches précises et reproductibles sont exigées.

Aspect (sortie d'usine) Typiquement, le logiciel utilisé dans la production prend la forme d'un programme informatique stocké sur médias imprimés, magnétiques, optiques ou autres. Tous les médias communs comprenant la bande magnétique, les disquettes, les disques durs démontables, les disques compacts et les documents peuvent contenir ces logiciels et données.

Aspect (à l'emballage) La bande magnétique, les disquettes, les disques durs démontables, les disques compacts et les documents contenant le logiciel de maîtrise de la production de missile sont indiscernables de tous les autres supports de stockage. Seul l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit utilisé sur l'ordinateur approprié. Ce logiciel et cette documentation peuvent être transmis électroniquement sur un réseau informatique.



Schéma 11: Logiciel sous forme de disque d'ordinateur, d'enregistreur de cassettes, et de médias écrits. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

1.D.2. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié pour coordonner le fonctionnement de plus d'un Sous-systèmes dans les systèmes mentionnés dans l'article 1.A.

Note:

Dans le cas d'un appareil habité converti pour fonctionner comme véhicule aérien sans pilote mentionné à l'article 1.A.2, l'article 1.D.2. comprend le «logiciel», comme suit:

- a. «logiciel» spécialement conçu ou modifié pour intégrer l'équipement de conversion avec Les fonctions du système de l'appareil;
- b. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié pour faire fonctionner l'appareil en tant que véhicule aérien sans pilote.

- | | |
|----------------------|----------------|
| •Argentine | •Australie |
| •Brésil | •Canada |
| •Chine | •France |
| •Allemagne | •Inde |
| •Israël | •Italie |
| •Japon | •Pakistan |
| •Portugal | •Fédération de |
| •République de Corée | |
| •Suisse | •Suède |
| •Royaume Uni | |
| •États Unis | •Ukraine |

Production



Nature et But: Le logiciel employé pour coordonner la fonction des sous-systèmes multiples sur des missiles spécifiques dans 1.A. est typiquement le logiciel de commande de vol. Le logiciel de vol incorporé à l'ordinateur embarqué rassemble la vitesse et l'information de position fournies par le système de navigation ou d'orientation et la rétroaction du système de contrôle, permettant à l'ordinateur de calculer et fournir des corrections de direction aux systèmes de contrôle de vol. Ce logiciel détermine également quand exécuter d'autres événements de vol, tels que l'arrêt de moteur, la séparation des étages et la séparation de véhicule de rentrée

Le logiciel utilisé pour la conversion d'un aéronef habité en UAV comprend généralement un logiciel spécialement conçu pour intégrer l'équipement de conversion avec les principaux systèmes de l'appareil, avec les principaux systèmes de l'appareil et un logiciel supplémentaire pour faire fonctionner l'UAV converti. Le logiciel d'intégration permet à l'équipement de conversion de communiquer avec les principaux systèmes de l'avion de la même manière que les commandes d'entrée d'un pilote. Le logiciel d'exploitation peut permettre le contrôle de l'aéronef à partir du sol ou en vol autonome.

Mode de fonctionnement: Le logiciel de vol est installé dans l'ordinateur du missile et est examiné avant le lancement. Pendant le compte à rebours de lancement, ce logiciel devient actif et prend la commande du processus de lancement, habituellement avec l'allumage de première phase. Une fois exempt de tous les raccordements de signal de plate-forme de lancement, le missile est sous la commande de ce logiciel. Tous les signaux de position ou de vitesse produits par le système de

navigation, aussi bien que la rétroaction du système de contrôle, sont envoyés à l'ordinateur de vol qui produit des signaux correctifs au matériel de commande de vol. Des pressions de moteur et la santé du système générale sont contrôlées. Pour des systèmes de fusée, quand la vitesse et la position exigées sont senties, le système de propulsion est arrêté. Pour les missiles balistiques, quand les signaux d'armement sont confirmés par la tête explosive, le véhicule de rentrée peut être séparé de la cellule d'avion.

Le logiciel de vol d'UAV commande le fonctionnement du moteur, émet des commandes de direction au système de commande de vol, basé sur l'information de navigation, et active la charge utile (appareil-photo, arme, etc.)

Utilisations typiques liées aux missiles: Le logiciel de vol est employé à la fois dans les systèmes de fusée complets et les UAV (pour inclure des missiles de croisière) afin de commander le fonctionnement de tous les systèmes de vol.

Autres usages: Ce logiciel est uniquement préparé pour différents types de systèmes de fusée ou d'UAV et n'est pas habituellement employé dans d'autres types d'applications.

Aspect (sortie d'usine): En général le logiciel qui commande plus d'un sous-système et qui est particulièrement conçu ou modifié pour l'usage dans les systèmes spécifiés à la section 1.A. prend la forme d'un programme informatique stocké sur support imprimé, magnétique, optique ou autre. Any common media including magnetic tape, floppy disks, removable hard disks, compact discs, USB flash drives and documents can contain this software and data.

Aspect (à l'emballage): La bande magnétique, les disquettes, les disques durs démontables, les disques compacts, les clés USB et les documents contenant le logiciel qui commande plus d'un sous-système et qui est spécialement conçu ou modifié pour usage dans les systèmes spécifiés en 1.A. sont indiscernables de tous les autres supports de stockage. Seuls l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit utilisé sur l'ordinateur approprié. Ce logiciel et cette documentation peuvent être transmis électroniquement sur un réseau informatique.

1.E. Technologie

1.E.1. «Technologie», au sens de la note générale relative à la technologie, pour le «développement», la «production» ou l'«utilisation» d'équipements ou de «logiciels» mentionnés aux articles 1.A, 1.B. ou 1.D.

Nature et But: La «technologie» pour le «développement», la «production» ou l'«usage» de l'équipement ou du «logiciel» spécifié en 1.A., 1.B. ou 1.D. inclut «l'assistance technique» ou «les données techniques». «L'assistance technique» est la prestation de l'instruction, des qualifications, de la formation, de la connaissance de fonctionnement ou des services de consultation à un pays

développant des systèmes de fusée ou UAV. «Les données techniques» incluent - mais ne s'y limitent pas - des formules, des modèles, des rapports techniques ou des bases de données informatiques «qui ne sont pas dans le domaine public». Le but de la «technologie» est de donner à des utilisateurs la capacité d'élaborer de façon locale les moyens pour le «développement», la «production» ou l'«usage» de l'équipement ou du «logiciel» spécifié en 1.A., 1.B. ou 1.D.

Mode de fonctionnement: La «technologie» et «l'assistance technique» sont disponibles sous beaucoup de formes. «L'assistance technique» peut se composer de l'instruction fournie par une personne expérimentée dans un ou plusieurs sujets concernant les articles commandés (tels que les moteurs de fusées à propergol liquide) qui agit en tant qu'instructeur dans une salle de classe sur ou près du site de production ou d'essai ou de l'utilisation d'un service de consultation qui se spécialise dans la production de matériaux d'aérospatial dirigeant l'achat des matériaux et de l'équipement appropriés. Un pays peut recevoir «l'assistance technique» en envoyant des étudiants dans d'autres pays pour y recevoir la formation et pour acquérir les aptitudes nécessaires pour établir des systèmes de la catégorie I. Les manuels et les matériaux reçus pendant la formation peuvent être qualifiés de «données techniques».

Utilisations typiques liées aux missiles: À quelques exceptions près, la «technologie» exigée pour établir des systèmes de fusée est employée seulement dans ces buts. Des fusées-sondes utilisées dans la recherche météorologique, avec des ajustements mineurs, peuvent être converties en missiles balistiques. La «technologie» utilisée dans chaque dispositif est très semblable.

Autres Usages: Certaines «technologies» utilisée pour la conception, la fabrication, et l'essai des UAV peut avoir une fonctionnalité dans l'industrie aéronautique militaire ou commerciale.

Aspect (sortie d'usine) N/A

Aspect (à l'emballage) N/A

Catégorie I - Article 2

Sous-Systèmes complets
utilisables avec des systèmes
de vecteurs complets

Catégorie I - Article 2: Sous-systèmes complets utilisables avec des systèmes de vecteurs complets

2.A. Équipement, assemblages et composants

2.A.1. Sous-systèmes complets utilisables avec les systèmes mentionnés à l'article 1.A, comme suit:
a. Étages individuels de fusée utilisables avec les systèmes mentionnés à l'article 1.A;

- | | |
|------------------------|-----------------|
| • Brésil | • Chine |
| • Égypte | • France |
| • Allemagne | • Inde |
| • Iran | • Irak |
| • Israël | • Italie |
| • Japon | • Libye |
| • Corée du Nord | • Pakistan |
| • Fédération de Russie | • Rep. de Corée |
| • Syrie | • Ukraine |
| • Royaume Uni | • États Unis |

Production



Nature et But: Un étage de fusée se compose généralement d'un moteur-fusée à propergol solide ou de réservoirs de liquide avec moteurs, ainsi que de diverses pièces structurales et composants du système de commande. Les moteurs de fusée produisent une poussée propulsive pour effectuer le lancement de la fusée et accélérer en vol. Les propergols solides brûlent généralement jusqu'à épuisement une fois enflammés, tandis que les moteurs liquides peuvent être arrêtés pour un contrôle plus souple de la trajectoire.

Les gros moteurs de fusée à propergol liquide comprennent généralement des pompes à haut rendement, de sorte que la chambre de combustion et la tuyère peuvent être relativement compactes en raison du fonctionnement à haute pression, tandis que

les gros réservoirs restent légers en raison de leurs fines parois qui correspondent aux basses pressions. En revanche, les parois (boîtier) d'un moteur fusée à propergol solide doivent être plus épaisses pour contenir des pressions de combustion élevées. Le propergol solide est généralement plus dense que les liquides, et l'ensemble du moteur-fusée sert à la fois à stocker le propergol et à assurer la combustion de la chambre lorsqu'elle s'enflamme. Ces caractéristiques permettent à un étage de fusée solide d'être compact, tout en évitant une masse structurale trop lourde.

Mode de fonctionnement: Un signal de lancement déclenche soit un allumeur dans le propergol solide à l'intérieur de la partie supérieure d'un moteur-fusée à propergol solide, soit des soupapes sont ouvertes pour laisser entrer les propergols liquides dans la chambre de combustion d'un moteur-fusée où ils brûlent. Dans les deux cas, les gaz haute pression et haute température s'échappent à des vitesses sonores à travers une gorge étroite à l'arrière de l'étage de la fusée, puis accélèrent en se dilatant dans une tuyère divergente. L'élan des gaz d'échappement fournit la poussée du missile. Les systèmes de fusées à plusieurs étages rejettent les étages inférieurs lorsqu'ils brûlent leur propergol, afin de perdre progressivement du poids inutile et d'atteindre ainsi une plus grande portée que les systèmes de fusées à un étage de taille comparable.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les étages de fusée sont des composants nécessaires de n'importe quel système de fusée. Les étages de fusée sont également employés dans des applications d'essai de missile et de composants de missile.

L'un des principaux avantages des étages à propergol solide est qu'ils sont prêts au lancement, car le propergol solide fait partie du moteur-fusée tel qu'il est fabriqué. Les étages de fusées à propergol liquide nécessitent généralement plus de temps pour se préparer au lancement, car les propergols ne peuvent généralement pas être chargés à l'avance pour un stockage humide à long terme.

Les étages de fusées sont utilisés par les lanceurs spatiaux pour les départs terrestres, tandis que les étages complets plus petits (étages supérieurs) sont utilisés pour les manœuvres en orbite ou au-delà de l'orbite terrestre basse.

Autres usages: N/A

Aspect (à la sortie d'usine): Les étages de fusée à propergol solide sont des cylindres s'étendant habituellement de 4 m à 10 m dans la longueur et de 0,5 m à 4 m en diamètre, couverts à chaque extrémité avec des dômes pour un confinement structurellement efficace des hautes pressions. Le schéma 1 montre l'intégration d'un propulseur de lanceurs spatiaux avec l'étage de fusée à propergol solide. Le dôme avant a habituellement une ouverture filetée ou couverte pour insérer un dispositif d'allumage. La partie centrale du dôme arrière est munie d'une tuyère conique, ou (rarement) il peut y en avoir plusieurs.

Les cylindres (chemises de moteur) sont généralement faits de tôle d'acier à haute résistance mécanique, d'un composite de fibres filamenteuses enroulées dans une matrice de résine ou d'une combinaison des deux, et peuvent comprendre un matériau isolant interne comme le liège ou une feuille de caoutchouc. Parce que les étages de fusées solides tels qu'ils sont fabriqués contiennent du propergol à haute densité, ils sont très lourds. Le grain du propergol peut être visible à travers la tuyère, en l'absence de tout revêtement ajouté.

Les étages de fusée à propergol liquide se composent généralement de réservoirs cylindriques empilés, l'un pour le carburant et l'autre pour l'oxydant, illustrés grossièrement dans le croquis en coupe de l'article 1.A.1, et représentés à l'extérieur à la figure 13. Les parois des réservoirs des fusées sont en métal mince, souvent avec des raidisseurs intégrés à l'intérieur (anneaux, etc.). Les parois du réservoir servent également de structure à étage. Chaque réservoir a un dôme aux deux extrémités, entouré d'une structure supplémentaire s'étendant au-delà des extrémités du réservoir afin de relier les citernes ensemble à l'intérieur de l'étage (inter réservoirs), et de même pour relier les étapes ensemble (interétages). Parfois, l'extrémité d'un réservoir est concave, s'ajustant près du dôme convexe d'un autre réservoir.



Schéma 12: Étage de moteur fusée à propergol solide positionné sur un lanceur spatial (ci-dessus). (Agence spatiale européenne)

Un ou plusieurs moteurs se trouvent à l'arrière d'un étage de fusée à propergol liquide, chacun recevant à la fois l'oxydant et le carburant par de gros tuyaux ou conduits. Une tuyère ou des tuyères de forme conique sont attachées derrière l'étage à la sortie de la chambre de combustion. Les pièces de propulsion comprennent diverses vannes et petits réservoirs pour des gaz sous pression. Les autres éléments de l'étage de la fusée sont les systèmes électriques et/ou les systèmes hydrauliques de commande et de direction.

Aspect (à l'emballage): Pratiquement tous les étages de fusée sont expédiés dans des conteneurs ou avec des montages spécifiquement conçus pour eux. Les étages de fusée à propergol solide plus petits peuvent être expédiés dans des caisses en bois avec des dispositifs internes de retenue et de protection contre les chocs. Les étages à propergol solide un peu plus grands sont souvent expédiés dans des conteneurs métalliques spécialement conçus, d'aspect habituellement cylindrique et parfois remplis d'une atmosphère inerte. Les étages très grands peuvent simplement être enveloppés d'un revêtement de protection. Les étages à propergol solide sont censés être conformes aux conditions d'expédition internationale pour explosifs et porter les inscriptions appropriées. Si l'on considère que les étages de fusées solides sont presque entièrement remplis de propergol à haute densité, de type caoutchouc, leur masse dépasse généralement une tonne par mètre cube de volume d'étage.

Les étages de fusée liquide sont expédiés de la même manière ou avec des montages conçus sur mesure sans emballage externe. Puisqu'ils sont expédiés sans propergol ou composition pyrotechnique, ils peuvent être transportés en tant qu'équipement de routine sans aucune restriction ou étiquette d'avertissement quelconque, et pèsent sensiblement moins que les étages de fusée à propergol solide. La masse transportée d'un étage de fusée à propergol liquide vide peut être inférieure à 100 kg par mètre cube de volume total de l'étage.



Schéma 13 à Gauche: Premier étage d'un ICBM à carburant liquide. Droite: Un conteneur d'expédition pour un étage supérieur à carburant liquide. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

2.A.1.b. Corps de rentrée et équipements correspondants conçus ou modifiés à cette fin, utilisables avec les systèmes mentionnés à l'article 1.A, comme ci-dessous, sous réserve des dispositions de la note au-dessous de l'article 2.A.1. pour ceux conçus pour des charges utiles non militaires:

1. Boucliers thermiques et leurs composants en matières céramiques ou d'ablation;
2. Dissipateurs de chaleur et leurs composants fabriqués en matières légères et à haute capacité thermique
3. Équipement électronique spécialement conçu pour les corps de rentrée;

- Chine
- Allemagne
- Israël
- Royaume Uni
- France
- Inde
- Fédération de
- États Unis

Production globale



Nature et But: Alors que de nombreux missiles à courte portée s'approchent de leurs cibles en une seule pièce, les missiles à plus longue portée larguent des étages de fusées en cours de route, laissant leurs ogives pénétrer séparément dans l'atmosphère. Les véhicules de rentrée (VR) sont des corps de forme conique à extrémité pointue ou émoussée (figure 14) qui abritent et protègent la charge utile du missile, ou ogive, de la chaleur et des vibrations élevées qu'ils subissent pendant leur rentrée. Les corps de rentrée transportent également l'équipement d'armement, de mise à feu et de tir qui déclenchera la détonation de l'ogive lorsqu'elle

atteindra la cible. Les RV sont libérés de la section de charge utile du missile, et tombent vers le sol en suivant une trajectoire balistique, avec pénétration dans l'atmosphère à des vitesses comprises entre mach 2 et mach 20, selon la portée. Certains RV, désignés véhicule de rentrée manœuvrable (ou MARV), portent également des équipements de guidage et de commande qui leur permettent de se diriger vers leurs cibles ou d'esquiver les dispositifs de défense.

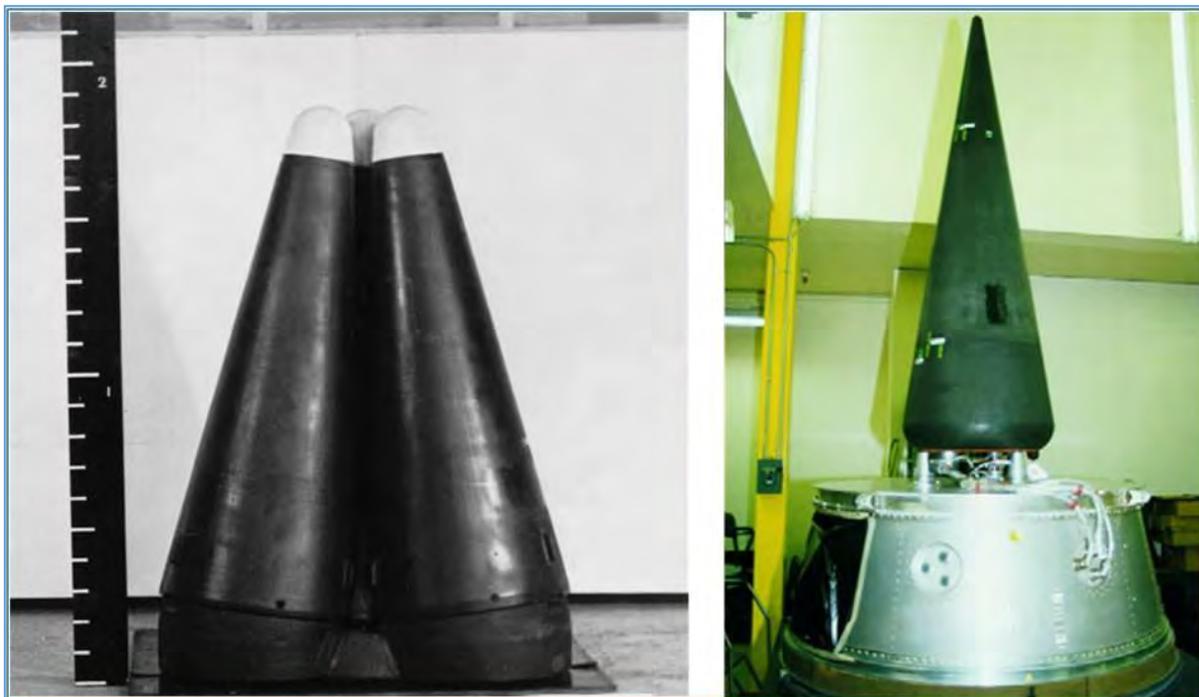


Schéma 14: Gauche: Trois RV modernes attachés à leur bride de support. Les petits ailerons à l'extrémité arrière tournent et stabilisent les RV lors de leur rentrée dans l'atmosphère. Droite: Un RV moderne sur sa cloison étanche de soutien de charge utile (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

Méthode de fonctionnement: Un missile peut porter un ou plusieurs RV dans sa section avant, dite section de charge utile. Un seul RV pourrait lui-même être la pointe d'un missile. Si le missile porte deux RV ou plus, il est habituellement recouvert d'une coiffe conique ou d'un carénage avant en forme d'ogive qui couvre toute la section de charge utile au sommet du missile pendant le lancement et l'ascension dans l'atmosphère. Après que la traînée de montée et le chauffage se soient abaissés, le capot ou le carénage est largué. Un système post-boost transportant les RVs peut orienter séquentiellement chaque RVs et les libérer. Les véhicules récréatifs réorientés sont habituellement tournés autour de leur axe longitudinal, de sorte qu'ils retournent dans l'atmosphère dans une assiette gyroscopique stable, en bout de nez vers l'avant, ce qui leur confère une plus grande précision de visée. Les RV non-orientés culbutent sur leur trajectoire jusque à ce que les forces aérodynamiques les stabilisent, pendant la rentrée, avec leurs pointes vers l'avant. La surface conique du nez de pointe avant et du RV est habituellement couverte de matériel faisant office de bouclier thermique pour résister à la chaleur élevée de rentrée.

Un MARV employant le guidage de fin de trajectoire peut mettre en application une manœuvre pendant qu'il rentre dans l'atmosphère pour diminuer sa vitesse, et puis s'orienter de façon à ce que la sonde se fixe sur la cible. Les MARV peuvent employer des surfaces de commande, changer leur forme aérodynamique, changer leur distribution de poids, ou utiliser des systèmes à expulsion de masse pour améliorer la précision ou modifier leur trajectoire de manière imprévisible pour le système de défense. Les véhicules à planeurs hypersoniques sont un type potentiel de MARV qui a fait l'objet d'une attention accrue dans le monde entier pour la recherche sur les manœuvres aérodynamiques.

Utilisations typiques liées aux missiles: La fonction principale d'un RV est de fournir précision et protection thermique et structurale à l'arme, ainsi que l'allumage de l'arme et le système de mise à feu pendant la rentrée.

Autres usages: Les structures de RV destinées aux armes possèdent peu d'applications non militaires. Certains composants de RV ont des applications commerciales, notamment des matériaux de protection thermique employés dans les fours, la sidérurgie et les moteurs. Certaines configurations de RV ont été employées pour le retour de véhicules spatiaux pilotés. Les matériaux et les technologies se chevauchent, mais ils n'ont pas été conçus pour les conditions de rentrée requises d'un système d'armes. Contrairement aux RV de missiles, les équipages et les cargaisons de retour d'orbite imposent des limites strictes à la décélération de pointe et aux vitesses terminales. Le blindage thermique nécessaire est souvent appelé système de protection thermique (TPS).

Aspect (sortie d'usine): Les RV sont des structures de forme conique (certains avec plusieurs angles de cône), habituellement avec un nez de pointe avant hémisphérique arrondi. La base, ou l'arrière, du véhicule peut être hémisphérique ou arrondie. De petits ailerons pour la stabilité aérodynamique peuvent être attachés à plusieurs endroits, à l'arrière de la surface conique. La surface conique est couverte d'un bouclier thermique, qui peut être naturellement coloré (noir pour les boucliers thermiques à base de carbone, jaune foncé ou jaune pour les boucliers à base de silice) ou peut être peint. Les RV à la pointe de la technologie sont habituellement sous la forme de cônes longs et minces avec des nez pointus (voir le schéma 15). Ils peuvent être munis de petites garnitures en céramique qui servent de fenêtres d'antenne à plusieurs endroits sur la surface conique. Ceux-ci sont normalement placés près de l'arrière du RV pour éviter la chaleur et le choc de la rentrée



Schéma 15: *Gauche:* Une description graphique du corps de rentrée d'un missile balistique intercontinental. (U.S. Air Force) *Droite:* Sections médianes de RV durant la fabrication. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

Les RV destinés aux missiles à tête explosive multiple ont habituellement moins de 3 m de longueur et 1 m de diamètre de base. Les RV employés sur des missiles portant une arme unique ont souvent des diamètres égaux à celui de l'étage le plus élevée, et ont typiquement des longueurs situées entre 1 m et 4 m. Les RV, y compris les armes qu'ils contiennent, ont typiquement un poids de légèrement moins de 100 kilogrammes à approximativement 1 000 kilogrammes.

La structure d'un RV est habituellement fabriquée en plusieurs sections pour faciliter l'installation de l'arme et la maintenance sur le terrain. La section la plus à l'avant contient généralement une partie ou la totalité de l'électronique de mise à feu, la section centrale porte l'ogive, et la section arrière contient généralement des minuteriers, des systèmes électroniques d'armement supplémentaires et le système de rotation pour les RV qui sont remisés après leur sortie du booster, du bus ou du quai.

Aspect (à l'emballage): Les sections de RV sont généralement transportées ensemble dans des

conteneurs spéciaux, en bois ou en acier, à peine plus grands que le RV lui-même. Ils sont isolés des chocs et supportés à plusieurs endroits à l'intérieur du conteneur d'expédition, ce qui peut être contrôlé par des mesures environnementales. Sur le terrain, les RV reçoivent une manutention spéciale parce qu'ils contiennent des ogives. Ils sont presque toujours transportés séparément de l'amplificateur et ne sont accouplés à l'amplificateur que sur le site de lancement. S'il n'y a pas de lieu de lancement fixe, les missiles ont déjà leurs RV installés, par exemple s'ils sont destinés à être mobiles sur route ou transportés à bord de sous-marins.

- Chine
- France
- Inde
- Israël
- Fédération de Russie
- Royaume Uni
- États Unis

Production
Globale



Boucliers thermiques et dissipateurs de chaleur

Nature et But: Lorsque la traînée atmosphérique ralentit un objet à grande vitesse, l'énergie cinétique est convertie en chaleur. Les boucliers thermiques et les dissipateurs thermiques sont des revêtements de protection sur les RV qui s'adaptent à la forme. Leur but premier est de protéger la charge utile du RV de la destruction par les températures élevées causées par la compression de l'air et la friction lorsque le RV retourne dans l'atmosphère.

Mode de fonctionnement: Les boucliers thermiques protègent le RV et sa charge utile par ablation ou isolation. Dans le cas de l'ablation, le bouclier thermique absorbe la

chaleur, ce qui entraîne, par conséquent une décomposition et une vaporisation superficielle et ainsi un transfert de la chaleur au flux d'air. Ce processus maintient les couches sous-jacentes froides jusqu'à ce qu'elles soient, à leur tour, exposées à des températures élevées. Les dissipateurs de chaleur utilisent leur masse pour absorber simplement la chaleur de la rentrée et diminuent de ce fait le flux de chaleur à la charge utile.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les boucliers thermiques ou les dissipateurs de chaleur fournissent un revêtement de protection externe pour les RV et peuvent servir de parachute de freinage. Leur composition et leur épaisseur sont une fonction de la vitesse de rentrée, elle-même une fonction de la portée opérationnelle du système de fusée. Pour des portées de moins de 1 000 kilomètres, approximativement, des peaux en acier d'étanchéité simples peuvent servir de dissipateurs de chaleur. Les portées de plus de 1 000 kilomètres exigent des boucliers thermiques composites ou des dissipateurs de chaleur beaucoup plus grands

Autres Usages: Les boucliers thermiques et leurs composants sont employés dans les fours et les moteurs. L'équipement utilisé dans leur fabrication peut aussi être utilisé pour fabriquer la tuyauterie composite pour le forage de pétrole. Les dissipateurs de chaleur et la technologie associée ont beaucoup d'applications commerciales, y compris la production d'énergie et l'électronique. Il n'y a aucune utilisation commerciale pour des boucliers thermiques ou des dissipateurs de chaleur conçus pour s'adapter aux RV du missile. Le matériel à base de carbone approprié aux boucliers thermiques est également employé pour garnir des tuyères de moteur et dans la fabrication de freins à disque.

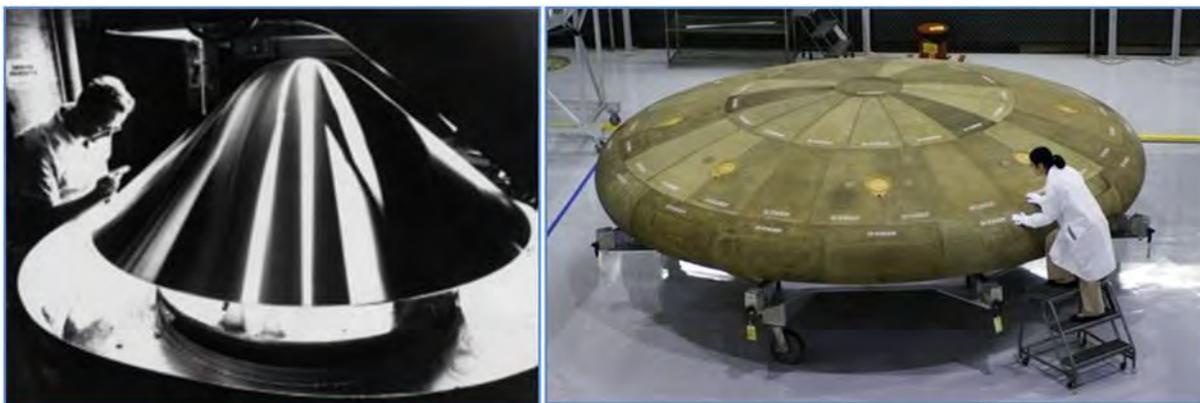


Schéma 16: Gauche: Un dissipateur de chaleur de cuivre au béryllium. (musée atomique national) Droite: Un prototype de bouclier thermique pour l'usage sur des véhicules pendant la rentrée des missions lunaires et en orbite terrestre basse. (Boeing)

Aspect (à la sortie d'usine): Les boucliers thermiques et les dissipateurs de chaleur ont habituellement la même taille et forme que leurs RV sous-jacente. Dans certains cas, ils recouvrent seulement la portion frontale du cône de nez du RV. Les tailles pour les applications de missile varient de 1 m à 3 m de longueur et à moins de 1 m de diamètre. Les boucliers sont généralement coniques ou en ogive, avec des nez pointus ou arrondis. Ils sont soit collés au RV, soit glissés par-dessus afin d'obtenir un ajustement serré. Leurs surfaces présentent parfois des joints de corps et des fenêtres d'antenne peuvent y être installées à un ou plusieurs endroits. Ces fenêtres permettent au radar ou à d'autres émetteurs d'ondes radio d'émettre pendant la rentrée. La figure 16 illustre le contraste entre les dissipateurs thermiques ou boucliers des RV et leurs équivalents pour les véhicules spatiaux coniques. Les boucliers thermiques recouvrent l'extrémité conique d'un RV de missile, tandis que les missions spatiales commerciales ou habitées exigent que le bouclier thermique soit à l'extrémité émoussée de la capsule spatiale pour assurer un retour sûr de l'espace.

Aspect (à l'emballage): Les boucliers thermiques du missile RV, les dissipateurs de chaleur et leurs composants sont assez petits pour être emballés dans des cartons d'expédition ou des caisses traditionnelles pour la protection contre tous dommages. Si les boucliers thermiques ou les dissipateurs de chaleur sont collés sur le RV, l'emballage doit soutenir le poids total du RV, afin de protéger toute la charge utile contre les chocs et les vibrations tout comme la surface du bouclier thermique contre les dommages associés à l'expédition.

- Chine
- France
- Inde
- Israël
- Fédération de Russie
- Royaume Uni
- États Unis

Production
Globale



Équipement électronique spécialement conçu pour les corps de rentrée;

Nature et But: Les RV contiennent divers genres d'électronique. Ils doivent avoir un sous-système de mise en sûreté, d'armement, d'allumage ou de mise à feu de la tête explosive (le système SAFF). Ils peuvent aussi être munis de radars, d'un équipement de télémétrie, de sondes, de systèmes d'orientation, d'ordinateurs et de systèmes défensifs tels que des brouilleurs de radar et des lance-paillettes. Les composants électroniques des RV sont caractérisés par leur taille relativement petite et leur capacité de résistance aux hautes températures, à l'accélération élevée et aux vibrations fortes produites à la fois lors du lancement du missile et pendant la rentrée atmosphérique. En outre, les RV pour les têtes

explosives nucléaires utilisent des circuits protégés contre les impulsions électromagnétiques (IEM) et des microcircuits résistants aux rayonnements, comme décrit dans les articles 11.E.1 et 18.A.1., respectivement.

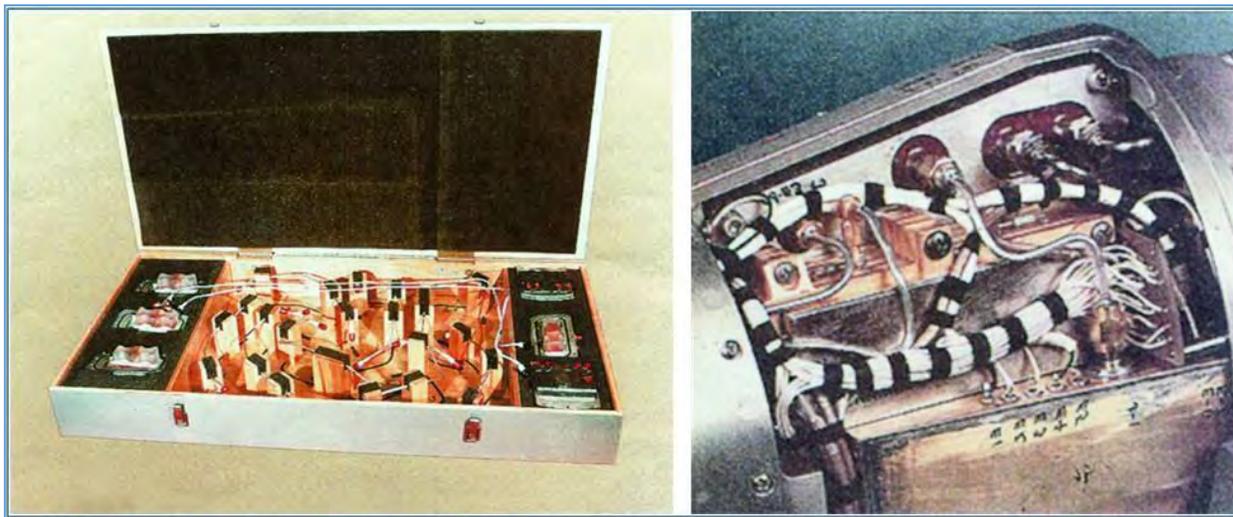


Schéma 17: Gauche: Un ensemble d'antenne de radar de RV emballé pour l'expédition. Droite: Une partie de l'électronique de radar du RV. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

Mode de fonctionnement: Les différents types de matériel électronique de RV fonctionnent de la même façon que n'importe quel équipement d'aéro-électronique équivalent; cependant, une batterie assure habituellement l'alimentation électrique du matériel électronique du RV. Un bloc d'alimentation électrique convertit la tension de la batterie en tension exigée par les divers composants électroniques du RV. En plus, tout le matériel électronique à bord du RV doit être conçu pour fonctionner de manière sûre dans les environnements difficiles.

Utilisations typiques liées aux missiles: Pratiquement tous les composants électroniques des RV sont conçus spécifiquement pour eux. Les composants électroniques des RV les plus importants sont ceux du système SAFF; leurs fonctions sont exposées au point 2.A.1.f. ci-dessous. L'autre matériel électronique est facultatif et dépend des conditions de mission. Les câbles et les raccordements sont des accessoires ordinaires mais nécessaires. Les RV conçus pour fonctionner dans les environnements hostiles à rayons X et à neutrons créés par les défenses nucléaires doivent employer des composants électroniques et des câblages fortement protégés, clairement identifiés dans leurs spécifications comme étant des produits capables d'opérer dans des environnements hostiles de ce genre.

Autres usages: Des commutateurs barométriques, des conditionneurs d'énergie et de relais, qui ne sont pas particulièrement conçus pour les RV, sont utilisés dans l'aviation générale. Le câblage standard et les connecteurs (sans protection anti-nucléaire) sont communs à diverses utilisations commerciales. Généralement, distinguer du matériel électronique commercial de l'équipement particulièrement conçu pour les RV est difficile parce que les plus grandes différences (la protection anti-nucléaire, les limites de température de fonctionnement, et les exigences de vibration) ne sont habituellement pas visibles.

Aspect (à la sortie d'usine): Les composants habituels de l'ensemble électronique d'un RV sont d'aspect fort ordinaire. La partie la plus grande et la plus distinctive est probablement la batterie, qui peut avoir environ la moitié de la taille d'une batterie d'automobile mais qui est souvent considérablement plus petite. La plupart des composants électroniques restants sont petits et sont habituellement logés dans des boîtes en aluminium. Le sous-système SAFF est assemblé par le fabricant des RV et est peu susceptible d'être obtenu

comme unité pré-emballée. Les conceptions très avancées des RV peuvent employer des dispositifs chercheurs actifs/passifs (radar et sondes optiques) couplés aux systèmes de contrôle actifs et aux cartes stockées des caractéristiques de cible. Un tel équipement peut avoir un aspect de disque, de cône ou de cône tronqué parce qu'il est conçu pour s'insérer exactement dans un RV. N'importe quelle indication ayant trait à des possibilités spéciales de résistance à une accélération élevée ou à de sévères vibrations peut suggérer une application liée au missile.

Aspect (à l'emballage): Des composants électroniques de catégorie militaire sont emballés dans des sacs ou des conteneurs scellés utilisés pour protéger l'électronique contre l'humidité, les chocs et l'électricité statique. Des boîtes, des caisses ou des valises métalliques garnies de mousse peuvent également être utilisées pour l'emballage.

2.A.1.c. Sous-systèmes de propulseur à fusée, utilisables avec les systèmes mentionnés à l'article 1.A, comme ci-dessous:

1. Moteurs-fusées à propergol solide ou liquide, utilisables avec les systèmes mentionnés à l'article 1.A, d'une impulsion totale égale ou supérieure à 1.1×10^6 Ns;
2. Moteurs fusée à propergol liquide ou à propergol gélifié intégrés ou conçus ou modifiés pour être intégrés dans un système de propulsion à propergol liquide ou à propergol gélifié ayant une capacité d'impulsion totale égale ou supérieure à 1.1×10^6 Ns;

Note:

Les moteurs d'apogée à propergol liquide et les moteurs de maintien en position mentionnés par l'article 2.A.1.c.2, conçus ou modifiés pour des applications pour satellites, peuvent être considérés comme appartenant à la catégorie II si l'exportation du sous-système se fait sous réserve de déclarations d'utilisation finale et des limites quantitatives appropriées à l'utilisation finale prévue ci-dessus, lorsqu'ils ont une poussée à vide égale ou inférieure à 1kN.

- | | |
|------------------------|-----------------|
| • Brésil | • Chine |
| • Égypte | • France |
| • Allemagne | • Inde |
| • Iran | • Israël |
| • Italie | • Japon |
| • Norvège | • Pakistan |
| • Fédération de Russie | • Rep. de Corée |
| • Suède | • Ukraine |
| • Royaume Uni | • États Unis |

Production globale



Moteurs fusée à propergol solide

Nature et But: Les moteurs-fusées à propergol solide contiennent le carburant et l'oxydant à l'intérieur d'un corps de propulseur unique. Aucun réservoir, tuyau, pompe, ou valve ne sont nécessaires parce que le carburant et l'oxydant sont pré-mélangés au rapport approprié et sont coulés dans un moule creux, qui est mis à feu de manière interne. L'enveloppe extérieure du moteur de fusée joue souvent le rôle d'empreinte dans laquelle le propergol est moulé. Le corps agit en tant que récipient sous pression qui maintient des gaz de combustion confinés pendant le fonctionnement, et constitue l'élément structural principal qui transmet la poussée à la charge utile. Les moteurs-fusées à propergols solides sont rentables et ne demandent qu'un entretien faible; ils sont faciles à stocker, peuvent être stockés pendant de nombreuses années, et sont capables d'un déploiement et d'un lancement rapides.

Mode de fonctionnement: Une fois mis à feu, le propergol brûle à l'intérieur d'une chambre creuse fonctionnant en bas du centre du moteur; les gaz en expansion chauds sont expulsés hors de l'extrémité de la tuyère à grande vitesse et fournissent la poussée. Le propergol brûle jusqu'à ce qu'il soit épuisé.

Certains moteurs terminent la poussée en ouvrant des trous dans le corps du propulseur et permettent la ventilation des gaz sur les côtés ou par le haut.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les moteurs-fusées fournissent la poussée pour accélérer les missiles jusqu'à la vitesse exigée pour atteindre la cible prévue ou pour actionner le prochain étage de missile. Le produit requis de la poussée et du temps (l'impulsion, qui est l'élan) peut être obtenu par un gros moteur-fusée ou par des groupes de petits moteurs, bien qu'un groupe serait moins efficace pour la même masse.

Certains lanceurs spatiaux ont utilisé des moteurs-fusée à propergol solide pour accroître la poussée au cours des premières phases du lancement. L'élévation de l'orbite de transfert géosynchrone (GTO) à l'orbite géostationnaire terrestre (GEO) a parfois été réalisée avec des moteurs de fusée à propergol solide appelés «moteurs d'apogée».

Autres usages: Les applications spatiales des moteurs de fusées à propergol solide comprennent l'atterrissage lunaire sans équipage (Surveyor vers 1965) et l'insertion en orbite à Venus (Magellan, 1989). Dans les installations d'essai, les moteurs-fusée à propergol solide ont été utilisés pour atteindre des accélérations et des vitesses élevées, en particulier pour pousser des traîneaux de fusées qui accélèrent un objet à tester sur une piste au sol.

Aspect (sortie d'usine): Les moteurs à propergol solide les plus préoccupants pour la prolifération des missiles se présentent sous la forme de tubes cylindriques, souvent munis de dômes aux deux extrémités pour une meilleure résistance aux pressions de fonctionnement. Un dôme peut avoir un petit trou pour attacher le dispositif d'allumage; l'autre dôme peut avoir un plus grand trou pour attacher la tuyère. Le dispositif d'allumage peut ou non être installé avant l'expédition; sinon, le trou est couvert par une plaque faite d'acier ou d'un autre matériau. La tuyère est habituellement attachée avant l'expédition et scellée avec une prise environnementale pour protéger le propergol contre l'humidité et d'autres effets de l'environnement. Ce bouchon empêche également tout accès visuel ou physique non autorisé au propergol dans le boîtier du moteur.

Une fois installés, l'allumeur et la tuyère sont habituellement boulonnés en place. Un moteur fusée à propergol solide moderne utilisé dans les lanceurs spatiaux et muni d'une tuyère est illustré dans le coin supérieur gauche de la figure 18. Approximativement 400 kilogrammes de propergol sont exigés pour réaliser le seuil d'impulsion 2.A.1.c. égal ou supérieur à $1,1 \times 10^6$ NS en supposant une vitesse d'échappement de 2750 m/s. Les moteurs de fusée contenant cette quantité de propergol auraient une longueur d'environ 2 m si le diamètre est de 0,5 m (environ une tonne par mètre cube de volume d'étage). Un moteur fusée de cette taille aurait généralement un boîtier en acier, bien que des boîtiers composites en verre, en carbone ou en fibre para-aramide soient possibles.

Aspect (à l'emballage): Les moteurs à propergol solide sont généralement expédiés dans des conteneurs en acier ou en aluminium ou dans des caisses en bois. Les caisses ont des berceaux à plusieurs endroits pour supporter le poids du moteur et sont habituellement garnies de mousse ou de matériau de rembourrage pour protéger le moteur pendant le transport. Les moteurs de fusée sont parfois emballés dans une atmosphère inerte pour protéger le propergol de l'humidité. Ces contenants sont généralement scellés hermétiquement, pressurisés et faits d'aluminium. Les limites de température de stockage sont indiquées sur les étiquettes pour assurer la longévité des moteurs. Les moteurs de fusée à propergol solide sont munis d'une courroie métallique épaisse, généralement tressée, avec des pinces à chaque extrémité qui mènent d'un point quelconque sur le carter du moteur à la terre statique locale. Cette sangle évacue toute accumulation d'électricité statique et aide à éviter les incendies et les explosions. Une fois expédié, le moteur est mis à la terre dans le récipient d'expédition, et le récipient est lui-même relié à la masse locale.



Schéma 18: *En haut à gauche*: Un moteur-fusée à propergol solide réutilisable pour l'usage de véhicule spatial (ATK) *en bas à gauche*: Moteur-fusée à propergol solide à impulsion totale proche de la limite inférieure de la commande de l'article 2. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005) Droite: Un moteur-fusée à propergol liquide alimenté sous pression. (Aerojet)

Moteurs-fusée à propergol liquide

- Chine
- Inde
- Japon
- Corée du Nord
- Ukraine
- États Unis
- France
- Irak
- Libye
- Fédération de Russie
- Royaume Uni

Production globale



Nature et But: Les moteurs-fusées à propergol liquide brûlent le carburant et l'oxydant, qui leur sont fournis à partir de réservoirs dans le rapport approprié par des tuyaux, des valves, et parfois des pompes. Ainsi, ces moteurs sont beaucoup plus complexes que les moteurs à propergol solide et peuvent contenir de nombreuses pièces usinées avec précision et mobiles.

Contrairement aux moteurs à propergol solide, les moteurs à propergol liquide peuvent généralement être arrêtés et redémarrés. Certains moteurs-fusées à propergol liquide peuvent être réutilisés après rénovation, alors que peu de moteurs-fusées à propergols solides sont conçus pour être réutilisables. Les moteurs de fusée à propergol liquide sont généralement préférés pour les lanceurs spatiaux de

grande taille parce qu'ils fournissent plus d'impulsion pour une masse totale de propergol donnée (plus de poussée pour un débit massique donné).

Cependant, ils sont plus difficiles à fabriquer, nécessitent plus d'entretien et prennent plus de temps à préparer pour le lancement que les moteurs fusées à propergol solide. Le carburant et l'oxydant peuvent également être difficiles à manipuler et à stocker parce qu'ils sont souvent toxiques, corrosifs ou cryogéniques.

Méthode de fonctionnement: Avant le lancement, les réservoirs de carburant et d'oxydant doivent être remplis de propergols liquides et pressurisés avec un gaz dans leur vide. Les propergols cryogéniques doivent s'écouler à travers les pièces du moteur pour les refroidir à la température du liquide avant l'allumage. Si une pompe est utilisée, elle est mise en marche en même temps que l'ouverture des soupapes pour laisser s'écouler les propergols. Le carburant et l'oxydant sont forcés dans la tête de l'injecteur, puis à travers de petits trous pour le mélange dans la chambre de combustion. Une méthode typique de mélange consiste, pour de nombreux petits flux de combustible liquide et d'oxydant, à se diriger l'un vers l'autre par paires juste à l'intérieur de la chambre de combustion près de la face de l'injecteur. Au moment de l'allumage, le mélange s'évapore et brûle complètement, puis les gaz chauds et en expansion s'échappent à travers la tuyère à très haute vitesse pour propulser le missile vers lui. Les charges de poussée sont transmises de la chambre de combustion par divers éléments structuraux qui fixent le moteur à l'étage de la fusée.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les moteurs-fusées fournissent la poussée nécessaire pour accélérer les missiles à la vitesse exigée pour atteindre la cible prévue. Sur un étage donné d'un missile, la poussée requise peut être obtenue par un gros moteur-fusée ou par plusieurs petits moteurs. De plus petits moteurs de fusée à propergol liquide pourraient être utilisés pour manœuvrer les corps de rentrée.

Les moteurs de fusées à propergol liquide sont couramment utilisés sur les lanceurs spatiaux, où les gros moteurs (par exemple, un million de newtons de poussée) sont généralement équipés de pompes pour alimenter les chambres de combustion haute pression à partir de réservoirs basse pression. Les étages supérieurs utilisent des moteurs à propergol liquide qui sont successivement plus petits. Les troisièmes étages sont plus susceptibles d'utiliser des pressions de réservoir plus élevées et des pressions de combustion plus basses, afin d'éviter la complexité des pompes.

Autres usages: Les petits moteurs de fusée à propergol liquide sont largement utilisés pour les manœuvres en orbite et l'entretien de l'orbite des satellites et autres engins spatiaux, généralement sans pompes.

Aspect (sortie d'usine): Les moteurs-fusées à propergol liquide sont caractérisés par une chambre de combustion à laquelle est fixée une tuyère convergente/divergente. La tuyère est généralement plus grande que le reste du moteur (figures 18 et 20). Les tuyères refroidies par des propergols qui s'écoulent à l'intérieur peuvent avoir des parois de tôle maintenues séparées par une tôle ondulée ou être composées d'un faisceau de tubes métalliques profilés. Les tuyères non refroidies sont faites d'un métal réfractaire ou d'un matériau composite ablatif. L'injecteur, une plaque plate ou courbée avec un grand nombre de trous individuels, peut souvent être vu en regardant dans la tuyère vers le haut de la chambre de combustion. Un exemple d'injecteur est illustré à la figure 20. Un certain nombre de tuyaux, de tubes et de pompes sont fixés sur le dessus et les côtés de la chambre de combustion. Alors que la figure 20 montre un moteur de deuxième étage dont les pompes sont alimentées par des turbines à gaz chauds, le moteur à liquide de la figure 18 est plus petit et n'utilise pas de pompes.

Aspect (à l'emballage): Les moteurs-fusées à propergol liquide sont des dispositifs robustes, mais ils doivent être protégés contre les chocs et l'humidité. Les récipients typiques comprennent de grandes caisses en bois et des récipients en métal.

Moteurs fusées hybrides

Nature et But: Les moteurs fusées hybrides (Figure 19) utilisent des propergols solides et liquides, habituellement un combustible solide et un oxydant liquide. Comme le débit de l'oxydant liquide peut être contrôlé, les moteurs hybrides peuvent être étranglés ou complètement arrêtés, puis redémarrés. Les moteurs de fusée hybrides combinent ainsi une partie de la simplicité des moteurs de fusée à propergol solide avec la pilotabilité des moteurs de fusée à propergol liquide.



Schéma 19: Un moteur fusée à sonde hybride

Mode de fonctionnement: Les moteurs fusées hybrides utilisent soit des réservoirs pressurisés, soit des pompes pour alimenter en oxydant la chambre de combustion, qui est revêtue de combustible solide. Les pompes sont entraînées par un générateur à gaz alimenté par son propre grain de carburant ou par une autre source de carburant. L'oxydant liquide brûle le combustible solide à l'intérieur de la chambre creuse, et les gaz chauds et en expansion sont expulsés par la tuyère à vitesse supersonique pour assurer la poussée. Comme dans un moteur fusée à propergol solide, l'enveloppe extérieure de la chambre de combustion est protégée d'une grande partie de la chaleur de combustion par le carburant lui-même car elle brûle de l'intérieur vers l'extérieur. Les tuyères et les boîtiers de moteur pour les hybrides sont similaires à ceux des moteurs de fusée à propergol solide, par exemple, le boîtier doit résister à la pression de combustion.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les moteurs de fusées hybrides peuvent être utilisés pour propulser des lanceurs spatiaux, des fusées sondes et des missiles balistiques.

Autres usages: N/A

Aspect (à la sortie d'usine): Un moteur fusée hybride a un injecteur d'oxydant monté dans la partie supérieure du carter du moteur haute pression et une tuyère convergente/divergente dans la partie inférieure. L'injecteur est muni de vannes et de tuyauteries provenant soit d'un réservoir sous pression, soit d'un réservoir et d'une pompe associée. La chambre de combustion est généralement fabriquée soit en acier ou en titane, qui peut être noir ou gris, soit en graphite filamenteux ou en verre époxy, qui est généralement jaune ou brun. La chambre est revêtue d'un propergol épais et solide ayant l'une des diverses configurations et ressemblant à un seul cylindre avec un centre creux, des cylindres concentriques ou des roues de chariot. Les tuyères sont faites d'un matériau ablatif, qui est souvent brunâtre, ou de métaux à haute température, et elles peuvent avoir des inserts à haute température dans leur gorge (voir la figure 9).

Aspect (à l'emballage): Les moteurs fusées hybrides peuvent être expédiés entièrement assemblés ou partiellement assemblés, les réservoirs et le matériel connexe étant emballés séparément de la chambre de combustion et des tuyères qui y sont fixées. Les unités entièrement assemblées sont emballées dans des caisses en bois; les composants sont emballés dans des caisses en bois ou des cartons lourds. Les caisses légalement marquées sont étiquetées avec des avertissements d'explosifs ou de danger d'incendie parce que les missiles sont alimentés avec du propergol solide. Cependant, comme les moteurs ne contiennent que du carburant et aucun oxydant, ils sont moins dangereux que les moteurs fusées à propergol solide ordinaires.

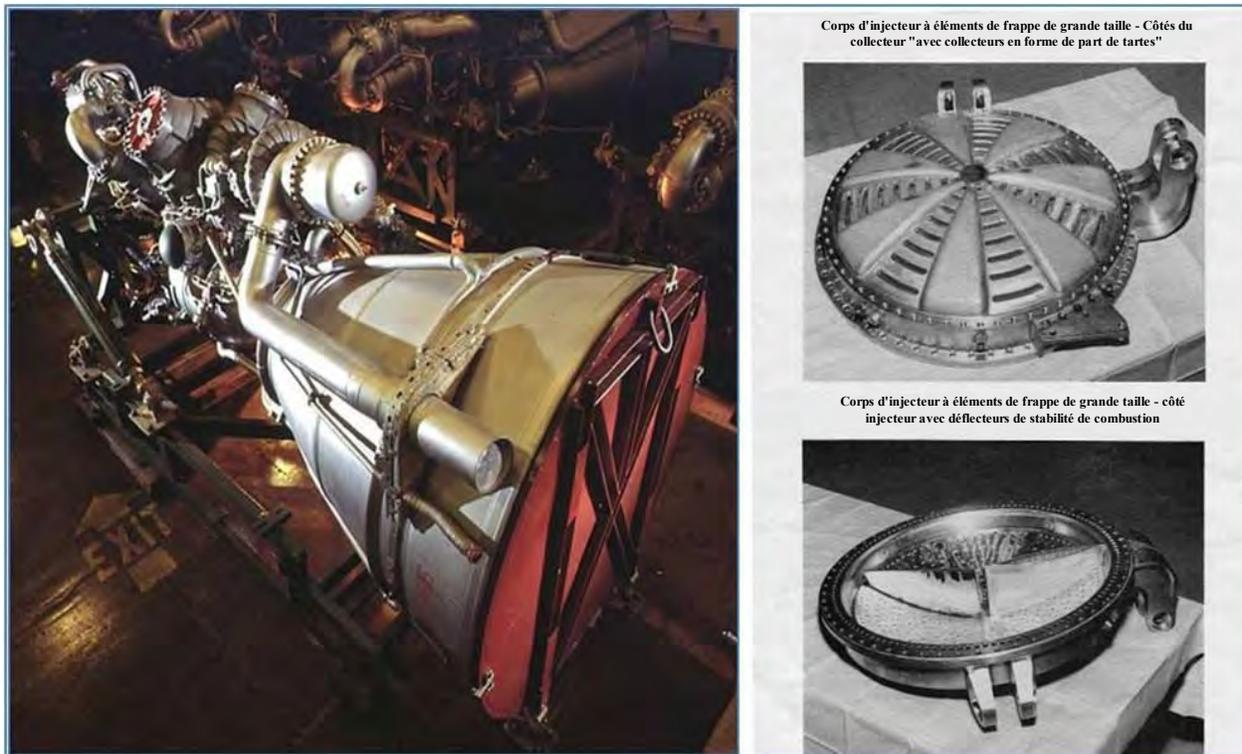


Schéma 20: *Gauche:* Un moteur-fusée de deuxième étage à propergols liquides oxygène/kérosène (Aerojet) *Droite:* Le dôme d'une tête d'injecteur (image supérieure) et de son dessous, montrant les injecteurs et les chicanes (équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

Moteurs fusée à propergol gélifié

Nature et But: Les propergols en gel, ainsi que leurs moteurs, propulseurs et sous-systèmes de propulsion, constituent un cas particulier de leurs homologues en propergol liquide. Si les réservoirs de carburant et d'oxydant s'ouvrent, les propergols liquides peuvent facilement s'écouler et se mélanger, ce qui provoque un incendie important. Les propergols en gel ne s'écoulent pas et ne se mélangent pas si facilement, de sorte que la propulsion en gel offre une sécurité dans le stockage pour les applications qui nécessitent des caractéristiques des liquides (par opposition aux solides), comme la possibilité d'activer et de désactiver rapidement divers moteurs ou propulseurs à l'aide de soupapes. Une autre caractéristique potentielle des propergols en gel est que les propergols peuvent contenir des additifs pour l'amélioration de l'énergie. Alors que les particules solides de matériaux énergétiques se déposent dans un liquide, ces particules ont tendance à rester en suspension et donc à se mélanger uniformément dans un agent propulseur en gel.

Mode de fonctionnement: Les moteurs pour propergols gélifiés et leurs pièces, comme les injecteurs et les chambres de poussée, sont similaires à leurs équivalents liquides. Les détails de conception diffèrent parce que des pressions plus élevées sont nécessaires pour faire circuler les propergols en gel dans les passages étroits, ou inversement, les passages doivent être plus grands. Bien qu'il puisse y avoir des exceptions, les propergols en gel sont plus susceptibles d'être utilisés avec une propulsion alimentée par pression, étant donné que les gels ne s'écoulent pas facilement des réservoirs basse pression pour alimenter les pompes.

De même, les gels ne s'écoulent pas naturellement d'un réservoir comme les liquides. Par conséquent, les réservoirs de propergols gélifiés sont susceptibles de comporter des séparateurs mobiles tels que des membranes ou des pistons entre le propergol et le gaz de pressurisation.

Utilisations typiques liées aux missiles: L'utilisation la plus probable des propergols en gel concerne les petits sous-systèmes de propulsion, tels que les petits missiles, les étages supérieurs des missiles balistiques et les véhicules de rentrée en manœuvre. Étant donné la nécessité de pressions élevées par rapport à l'écoulement, les propergols en gel sont plus susceptibles d'être utilisés avec des pressions de réservoir relativement élevées et d'autres caractéristiques qui ajoutent du poids aux réservoirs. Pour ces raisons, les gels sont plus appropriés pour les petits sous-systèmes de propulsion que pour les grands étages de fusées.

Autres usages: N/A

Aspect (sortie d'usine): Les moteurs et sous-systèmes de propulsion pour les propergols en gel sont très similaires à leurs homologues construits pour les propergols liquides. La taille est relativement petite, comme nous l'avons mentionné plus haut.

Aspect (à l'emballage): L'emballage doit être spécialisé pour protéger des dommages, en particulier pour les sous-systèmes de missiles qui sont chargés de propergols. Bien que les sous-systèmes complets de propulsion à liquide ne soient pas expédiés pendant le chargement, la sécurité relative des gels permet potentiellement le transport pendant le chargement.

2.A.1.d. «Ensembles de guidage» utilisables avec les systèmes mentionnés par l'article 1.A., pouvant assurer une précision de 3,33% ou moins de la «portée» (soit par exemple une erreur circulaire probable – ECP – de 10 km ou moins à une «portée» de 300 km), à l'exclusion des dispositions de la note au-dessous de l'article 2.A.1. concernant ceux conçus pour les missiles d'une «portée» inférieure à 300 km et les avions pilotés;

Notes techniques:

1. Dans un «ensemble de guidage», la mesure et le calcul de la position et de la vitesse d'un véhicule (c'est-à-dire la fonction navigation) sont intégrés au système de calcul et de télécommande du vol du véhicule servant à corriger sa trajectoire.

2. L'«ECP» (écart circulaire probable) est une mesure de précision; c'est le rayon du cercle, centré sur la cible se trouvant à une distance spécifique, dans lequel tomberont 50% des charges utile.

- Canada
- France
- Israël
- Corée du Nord
- Ukraine
- États Unis
- Chine
- Inde
- Japon
- Fédération de Russie
- Royaume Uni

Production globale



Nature et But: Un ensemble de guidage dirige automatiquement les véhicules le long d'une trajectoire ou d'une trajectoire de vol. Les ensembles de guidage sont des ensembles de haute qualité d'équipements électroniques, inertiels, environnementaux (p. ex. pression), mécaniques et satellitaires de capteurs sensibles. Le cœur de n'importe quel ensemble de guidage est l'unité de mesure à inertie (IMU), qui contient les gyroscopes et les accéléromètres permettant à l'ensemble de guidage d'enregistrer tout mouvement et tout changement d'orientation. Les ensembles de guidage peuvent être très coûteux, avec des coûts allant de plusieurs milliers à plusieurs millions de dollars chacun; les sous-systèmes les plus précis étant les plus coûteux.

Mode de fonctionnement: Les ensembles de guidage sont calibrés et fournis avec des informations sur la position du véhicule, la vitesse et l'orientation avant le lancement. Après le lancement, les instruments à inertie enregistrent les accélérations et les rotations du véhicule, et convertissent habituellement ces dernières en signaux électriques. Un dispositif informatique convertit ces signaux en déviations par rapport à la trajectoire de vol programmée et fournit des instructions au système de contrôle de vol pour corriger le parcours à suivre. Cependant, en raison d'erreurs dans les instruments inertiels eux-mêmes, le missile a tendance à dévier de sa trajectoire avec le temps. Les ensembles de guidage qui dévient de leur trajectoire sur moins de 3,33 % de la distance parcourue sont contrôlés au titre de cet article. D'autres aides au guidage telles qu'un récepteur GNSS (Global Navigation Satellite System), des systèmes de référence du terrain ou des compas gyro-astroscopiques peuvent être utilisés pour fournir une ou plusieurs mises à jour à mi-course sur l'emplacement ou l'orientation de l'ordinateur de guidage, augmentant ainsi sa précision. (L'équipement de navigation, y compris l'équipement de mise à jour, est couvert au point 9.A. de l'annexe du MTCR.)

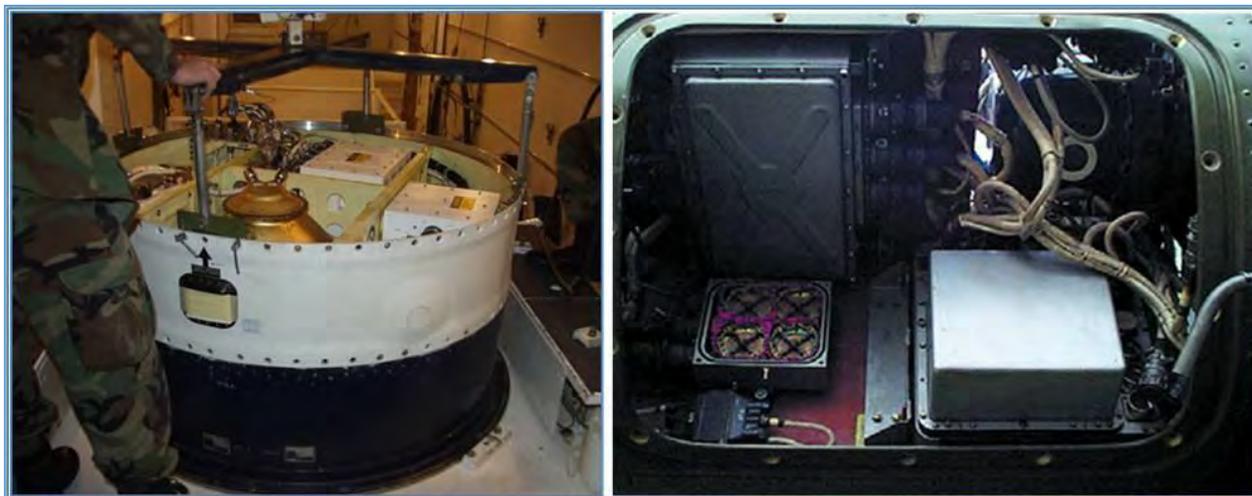


Schéma 21: *Gauche*: Un ensemble de guidage de missile transporté vers une installation de lancement. (Northrop Grumman) *Droite*: Un ensemble de guidage de technologie plus ancienne, composée de plusieurs composants, installés dans un missile. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

Utilisations typiques liées aux missiles: Un ensemble de guidage est un sous-système commun à tous les systèmes de missiles. Les ensembles de guidage de missiles balistiques sont habituellement des pièces d'équipement très spécialisées, souvent construites pour s'adapter à un missile particulier, pour supporter des environnements hostiles et pour fonctionner avec un haut degré de précision. Ils sont conçus pour répondre aux exigences rigoureuses en matière de taille, de poids, de puissance et d'environnement des applications de lancement spatial et de missiles balistiques. Les systèmes de guidage des UAV, y compris ceux des missiles de croisière, peuvent encore être des systèmes hautement spécialisés mais moins complexes, et ils sont souvent complétés par de nombreux autres capteurs et récepteurs dans le cadre d'un système de navigation intégré (voir 9.A., détails).

Autres Usages: Des systèmes de guidage et navigation de divers types sont employés couramment dans les bâtiments de mer, les avions, et même dans certains véhicules terrestres.

Aspect (sortie d'usine) La taille, le poids et l'apparence des ensembles de guidage varient selon le type de missile en raison des caractéristiques structurelles du missile et des variations des besoins de la mission. Les modèles plus anciens ont tendance à être plus grands et plus lourds (jusqu'à environ 1 m sur un côté / diamètre et pesant jusqu'à 100 kg); les nouveaux systèmes, qui sont nettement plus précis, peuvent nécessiter seulement 30 cm sur un côté et peser quelques kg. La plupart des ensembles sont enfermés dans des boîtes métalliques qui ont des panneaux d'accès étanches mais amovibles. Ils sont souvent rectangulaires, mais ils peuvent soit être également cylindriques, soit être composés de plusieurs boîtes de diverses formes (Figure 21 (gauche)). Les ensembles de guidage ont également des connecteurs électriques de qualité, des surfaces de montage de précision et, dans certains cas, des raccords de contrôle de température. Certains systèmes sont équipés d'une UMI montée sur cardan ou flottante, logée dans une chambre à peu près sphérique qui se bombe quelque part sur l'ensemble de guidage. D'autres systèmes ont une UMI séparée de l'électronique.



Schéma 22: *Gauche*: Un système de guidage et de navigation, conçu pour répondre aux exigences de mission spatiale de longue durée. (Northrop Grumman) *Droite*: Un conteneur d'expédition pour un système de guidage ICBM.

Les sous-systèmes modernes de guidage sur cardan ont souvent l'aspect d'une boîte. La figure 22 montre un sous-système de guidage et de navigation dont le panneau d'accès a été retiré. Certains sous-systèmes de guidage à cardan modernes diffèrent de la structure en forme de boîte lorsque l'application nécessite le kit de guidage pour tenir dans un espace réduit.

Aspect (à l'emballage): Puisque la plupart des ensembles de guidage sont très chers et sensibles aux chocs, ils sont expédiés dans des récipients rembourrés, dont certains sont hermétiques à l'air, pour les protéger contre l'humidité. Ces contenants portent habituellement des étiquettes exigeant une manipulation prudente. Un large éventail de configurations de conteneurs, y compris des emballages spéciaux, des boîtes et des valises métalliques, peuvent être utilisés.

2.A.1.e. Sous-systèmes de commande du vecteur de poussée, utilisables avec les systèmes mentionnés à l'article 1.A, comme ci-dessous:
En vertu de l'article 2.A.1, s'ils sont conçus pour des systèmes de fusée dont la « portée »/« charge utile » n'excède pas celle des systèmes mentionnés par l'article 1.A.;

Notes techniques:

L'article 2.A.1.e. vise les méthodes suivantes de commande du vecteur de poussée:

- a. Tuyère flexible;
- b. Injection de liquide ou gas secondaire;
- c. Tuyère ou moteur orientable;
- d. Déflexion du flux de gaz d'échappement (aubes de déviation de jet ou sondes);
- e. Butées flexibles.

- | | |
|------------------------|-----------------|
| • Chine | • France |
| • Allemagne | • Inde |
| • Israël | • Italie |
| • Japon | • Corée du Nord |
| • Fédération de Russie | • Serbie |
| • Espagne | • Ukraine |
| • Royaume Uni | • États Unis |

Production globale



Nature et But: Les sous-systèmes de commande du vecteur poussée (TVC) redirigent la poussée axiale en modifiant légèrement la direction des gaz chauds expulsés par la tuyère de la fusée, ce qui permet de diriger le missile.

Mode de fonctionnement: Il y a plusieurs façons de diriger un missile. Généralement, ils redirigent la poussée du moteur légèrement à l'écart de l'axe du missile, ce qui fait tourner le véhicule. Le contrôle à l'exportation au titre de cet article s'applique indépendamment de la conception spécifique ou du nom du sous-système de contrôle du vecteur de poussée. Les étages de fusée à propergol liquide redirigent habituellement la poussée en faisant pivoter

un ou plusieurs moteurs entiers, un processus appelé le cardan après les supports de type cardan qui sont pourvus de roulements rotatifs sur un ou plusieurs axes. En revanche, la plupart des moteurs fusée à propergol solide modernes utilisent des tuyères flexibles. Les deux approches utilisent des actionneurs servo-mécaniques fixés au châssis du missile pour pousser et tirer continuellement le moteur ou la tuyère de la fusée légèrement latéralement. Il est également possible de diriger la direction en déviant les gaz d'échappement dans des tuyères de fusée fixes au moyen d'aubes mobiles ou en introduisant du gaz ou du liquide supplémentaire dans la tuyère par le côté (injection de fluide).

Les aubes de jet sont une technologie plus ancienne qui nécessite des matériaux capables de résister à des températures extrêmes grâce à une immersion continue dans l'échappement de la fusée. Les pattes de poussée constituent une solution de rechange plus froide, soit quatre pales qui tournent dans et hors du flux de gaz chaud au bord de la sortie de la tuyère. Ils sont montés au-delà du rayon de la tuyère à sa sortie, avec rotation autour d'un axe parallèle au missile. L'injection de liquide par le côté fait dévier latéralement le flux d'échappement à travers la tuyère de l'axe central, provoquant ainsi un flux asymétrique et un sens de poussée excentré.

Une autre méthode de pilotage des missiles consiste à placer de petits moteurs à propergol liquide en quatre points autour du moteur principal. De tels moteurs Vernier sont simplement mis en marche et

arrêtés pour diriger un missile, un peu comme un contrôle de la trajectoire d'un satellite. Comme dans ce dernier cas, les moteurs Vernier d'un missile peuvent être capables de diriger le missile pour le réorienter pendant une phase côtière, en l'absence de poussée de la tuyère principale.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les sous-systèmes de commande du vecteur de poussée changent la direction de la poussée de la fusée pour diriger le missile en réponse aux commandes du système de guidage. Ils sont obligatoires sur les lanceurs spatiaux et les systèmes de missiles balistiques et sont utilisés sur certains systèmes d'UAV, en particulier les moteurs des propulseurs des missiles de croisière.

Autres usages: Différents types de sous-systèmes de contrôle du vecteur de poussée sont utilisés dans les avions de chasse, les avions de recherche et les engins spatiaux de pointe.

Aspect (sortie d'usine): Les ensembles de commande du vecteur de poussée peuvent comprendre des bagues de montage (p. ex. des cardans), des tiges d'actionneur hydraulique, des vannes, des tubes ou des tuyaux et des composants électroniques de commande spécialisés. Les actionneurs électromécaniques sont une alternative plus moderne aux actionneurs hydrauliques. Un exemple de boîtier électronique de commande du vecteur de poussée d'un gros moteur de fusée à propergol liquide est illustré à gauche de la figure 12. Les bagues de montage sont fixées à la gorge de la tuyère et sont suffisamment robustes pour résister au couple de serrage transmis à pleine poussée. Un système d'actionnement est fixé soit sur la bague de montage, soit sur le moteur lui-même, soit directement sur la tuyère.

Les tiges des vérins hydrauliques sont cylindriques et peuvent mesurer de 15 cm à 45 cm de long et de 3 cm à 8 cm de diamètre, ou selon la taille du missile (figure 23 (à droite)). Elles poussent et tirent sur le moteur ou la tuyère en réponse aux signaux envoyés par le système de guidage aux vannes de commande. Un générateur de gaz (essentiellement un petit moteur-fusée à propergol solide) qui alimente une petite turbopompe est un moyen de pressuriser le liquide hydraulique. De même, une turbine pourrait entraîner un générateur électrique pour alimenter des actionneurs électromécaniques. Les bagues de montage et les tiges d'actionneur sont fabriquées à partir de métaux à haute résistance tels que l'acier inoxydable ou le titane; les vannes d'actionnement sont susceptibles d'avoir des corps en acier inoxydable.



Schéma 23: *Gauche:* Une boîte de circuits de commande de vecteur de poussée pour usage dans des applications lanceurs de grande taille. (Moog, Inc.) *Centre:* Quatre aubes directrices de jet montées à l'arrière d'un missile balistique. (Armée russe) *Droite:* Un mécanisme linéaire de positionnement fin conçu pour usage dans des applications spatiales. (Moog, Inc)

La façon la plus courante de mettre en œuvre le contrôle vectoriel de poussée par injection de gaz ou de fluide consiste à stocker le gaz ou le fluide dans des réservoirs, puis à mesurer son injection dans la tuyère de la fusée par des conduites d'alimentation, des valves, parfois des collecteurs et des injecteurs. Les réservoirs sont habituellement sous pression cylindriques enveloppés d'un matériau composite qui varient en taille et en poids. Des pressions nominales de 7 MPa (1 000 psi) sont normales. Les conduites

d'alimentation de gaz ou de liquide (à approximativement 1 cm de diamètre pour des moteurs plus petits), les soupapes de commande, et les injecteurs sont souvent fabriqués en acier inoxydable.

Les aubes de jet sont montées à l'arrière ou à l'intérieur de la tuyère d'échappement et tournent en réponse aux commandes du système de guidage du missile pour rediriger la poussée. Elles ressemblent à de petites ailes de 30 cm de long et 15 cm de haut (les dimensions varient selon la taille du moteur). Ils sont faits de matériaux à haute température comme le carbone, les dérivés du carbone ou les matériaux réfractaires comme le tungstène. L'image centrale de la figure 23 montre quatre aubes à réaction montées à l'arrière d'un missile balistique. Bien que les aubes soient des panneaux plats, leurs bords arrière apparaissent sur l'image sous forme de lignes de couleur claire pointant vers l'axe central du missile.

Aspect (à l'emballage): Les anneaux de cardan ont habituellement un diamètre de 15 à 50 cm et peuvent être expédiés sous forme d'assemblage (les anneaux doubles permettent deux axes de rotation) dans un conteneur d'expédition approprié pour éviter tout dommage. Alors qu'une seule tuyère sur un étage de missile nécessite deux directions perpendiculaires de mouvement, l'utilisation de plusieurs moteurs principaux offre la possibilité pour chacun de se déplacer dans une seule direction particulière, ou pour certains de ne pas bouger du tout s'ils sont nombreux. Les tiges de vérin et les soupapes ressemblent aux tiges et aux soupapes du commerce. Les valves sont emballées à l'intérieur de sacs en plastique pour la protection contre les particules abrasives. Comme ces articles peuvent être assez lourds, ils sont expédiés dans des conteneurs robustes en métal ou en bois. Les réservoirs d'injection de gaz ou de fluide sont emballés comme des produits commerciaux comme les réservoirs de propane. Les injecteurs et les valves sont habituellement emballés comme n'importe quel équipement coûteux dans des contenants matelassés et dans des sacs en plastique pour prévenir la contamination.

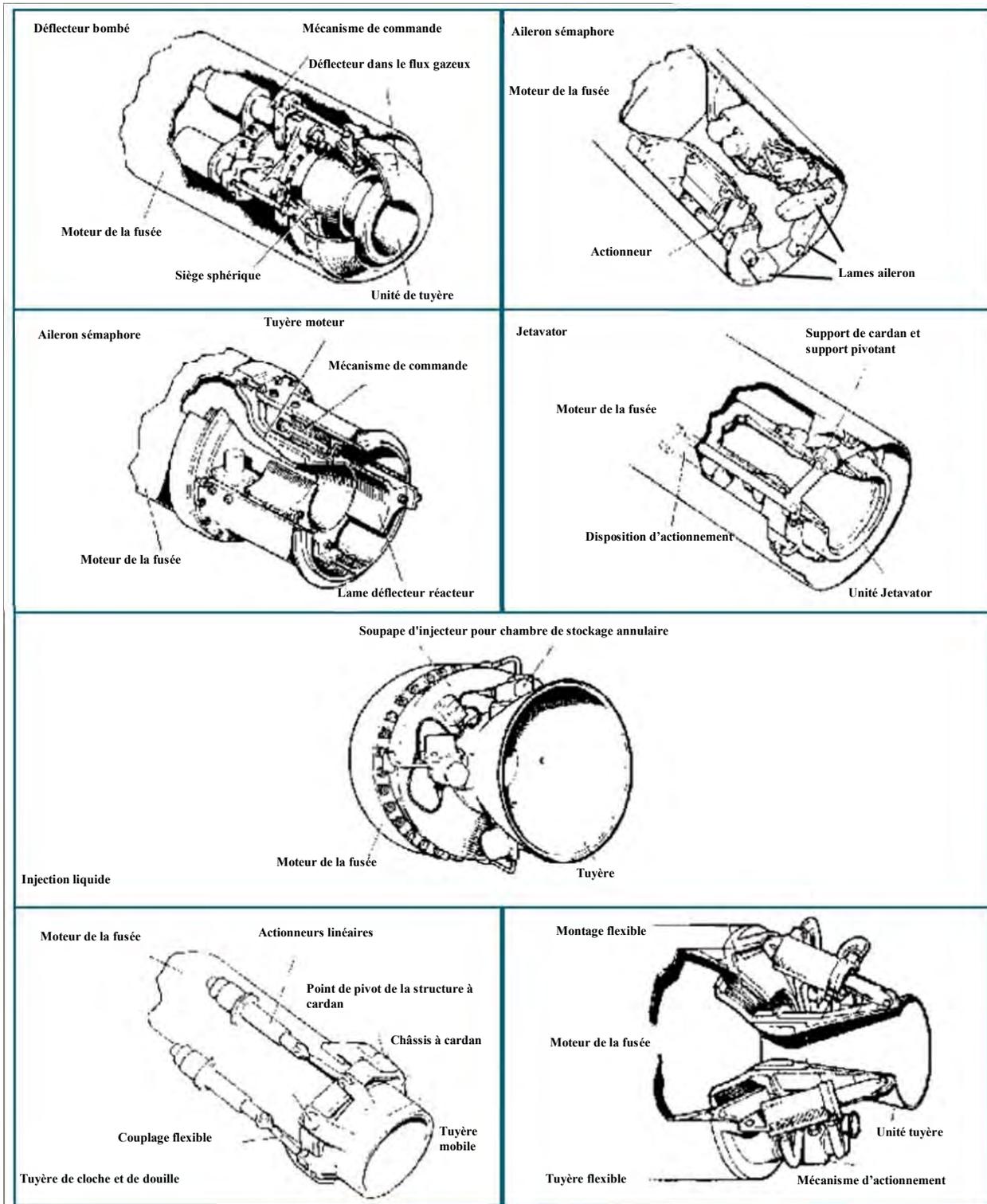


Schéma 24: Sept options pour la commande du vecteur de poussée dans les moteurs-fusées à propergols solides. (British Aerospace Defense Limited)

2.A.1.f. Mécanismes de sécurité, d'armement, de déclenchement et de mise à feu de l'arme ou de la tête explosive, utilisables avec les systèmes mentionnés à l'article 1.A, sous réserve des dispositions de la note au-dessous de l'article 2.A.1. pour les systèmes autres que ceux mentionnés à l'article 1.A.

Note:

Les exceptions mentionnées en 2.A.1.b, 2.A.1.d, 2.A.1.e. et 2.A.1.f. ci-dessus peuvent être considérées comme appartenant à la catégorie II, si l'exportation du sous-système se fait sous réserve des déclarations d'utilisation finale et dans des limites quantitatives convenant à l'utilisation finale prévue ci-dessus.

• Pour les systèmes de mise à feu de RV avancés

- Chine
- Allemagne
- Israël
- Royaume Uni
- France
- Inde
- Fédération de Russie
- États Unis

• D'autres types de composants SAFF, en particulier pour les véhicules aériens, sont couramment disponibles.

Production globale



Nature et But: Les mécanismes de sécurité, d'armement, de mise à feu et de mise à feu des ogives (SAFF) sont habituellement des dispositifs électroniques ou électromécaniques qui maintiennent les charges utiles de missiles (ogives) à l'état non armé jusqu'à ce qu'elles atteignent leur cible, moment où elles mettent le feu aux explosifs.

Mode de fonctionnement: Avant le lancement, la plupart des sous-systèmes SAFF veillent à ce que la tête explosive soit sûre (incapable de détoner) en isolant mécaniquement ou électriquement la tête du système de tir. Après le lancement, le sous-système SAFF enlève les enclenchements et arme la tête explosive. L'armement peut se produire après un certain temps à partir du lancement ou après avoir détecté un changement de trajectoire préprogrammé ou certaines conditions environnementales telles qu'une décélération prévue. Les sous-systèmes SAFF de basse technologie utilisent des commutateurs barométriques pour les fonctions de sécurité et d'armement.

L'amorçage définit quand les critères de détonation sont remplis. Les amorçages courants comprennent les minuteriers, les capteurs d'accélération et les dispositifs de détection d'altitude tels que les commutateurs barométriques ou les radars actifs. Lorsque la charge utile atteint les critères prédéfinis, un signal est généré et envoyé au poste de tir. Des condensateurs haute tension sont ensuite mis à feu (déchargés) et fournissent un courant électrique aux détonateurs de la tête explosive. Les charges utiles peuvent également être écrasées ou être touchées par des fusées de contact qui se déclenchent lorsque les charges utiles frappent les cibles et commencent à se briser. Ces fusées sont utilisées soit en renfort du système de détection d'altitude, soit pour des missions nécessitant un impact sur la cible. Les missiles de croisière qui font exploser leurs ogives ou distribuent des sous-munitions tireront lorsque le système de guidage déterminera que l'objectif a été atteint. Ils peuvent aussi utiliser des altimètres radar ou laser, des fusées de proximité et des fusées de contact. Un sous-système SAFF peut inclure tout ou partie de ces options de redondance.

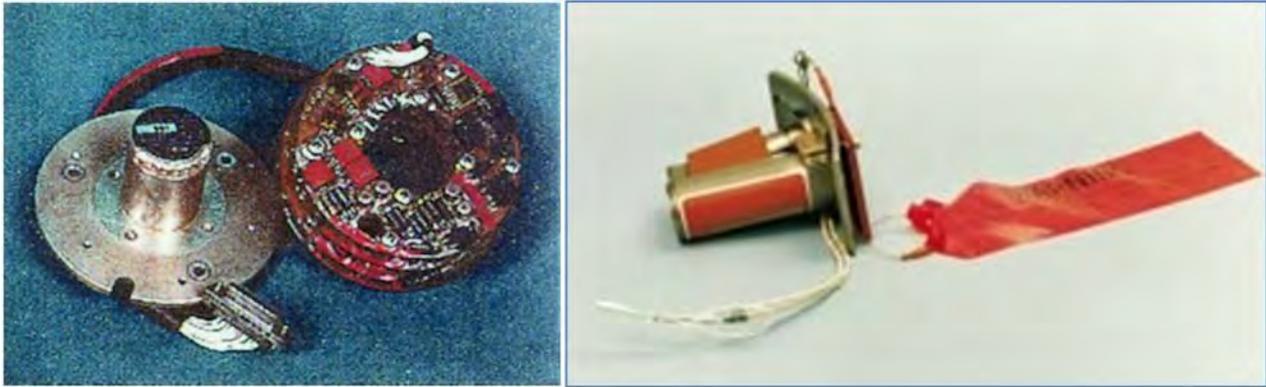


Schéma 25: *Gauche*: Un accéléromètre de système SAFF de RV avec son électronique associée. *Droite*: Une amorce de missile avec la plaque de sûreté et l'étiquette d'avertissement. (Kaman Aerospace Corporation)

Les systèmes d'allumage de type radar pour les missiles balistiques exigent un émetteur à haute fréquence (bande S ou bande C) et des matériaux filtrants tels que de la silice de grande pureté pour protéger l'antenne ouverte contre la chaleur créée pendant la rentrée. Pour les applications de missiles, les fusées de contact ont une capacité nominale comprise entre 100 g et 500 g. Les mécanismes de haute technologie de mise à feu de missiles balistiques utilisant des accéléromètres nécessitent des instruments capables d'atteindre 100 g ou plus.

Utilisations typiques liées aux missiles: Une certaine forme de sous-système SAFF est requise sur tous les systèmes de missiles à têtes explosives pour garantir que les armes sont sûres jusqu'au lancement et à la détonation prévus. Étant donné que les sous-systèmes SAFF sont généralement adaptés à la configuration et à la fonction internes d'un missile spécifique, il n'est pas rentable de les modifier pour des applications non liées aux missiles.

Autres usages: La technologie de base de mise à feu et de mise à feu d'un sous-système SAFF de missiles est utilisée dans tous les articles de munitions munis de têtes explosives. Même les systèmes allumage les plus avancés, dans lesquels le temps ou l'altitude de la détonation est déterminé par des radars actifs ou des accéléromètres intégrateurs, sont employés dans les obus et les sous-munitions d'artillerie avancées. La technologie de mise à feu utilisée pour les têtes explosives de missile est employée commercialement dans toutes les activités dans lesquelles des explosifs sont employés, comme la construction de route, des excavations de mine, et la démolition de structures.

Aspect (sortie d'usine): Les sous-systèmes et emballages SAFF de missiles ne sont pas obtenus comme une seule unité; ils sont plutôt assemblés à partir de composants et sous-systèmes individuels (figure 25). Ces composants sont généralement de petits paquets en aluminium avec des prises électriques d'entrée et de sortie. Des amorces simples sont habituellement logées dans des cylindres en aluminium s'étendant de 1 cm en diamètre pour les contacts de pointe à plusieurs centimètres pour les fusées de contact. Les systèmes d'allumage de technologie plus avancée peuvent impliquer des instruments



Schéma 26: Un conteneur d'expédition en bois avec l'étiquette d'avertissement pour explosifs. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

sophistiqués tels que des accéléromètres ou des émetteurs et antennes radars actifs.

Note:

Les exceptions mentionnées en 2.A.1.b, 2.A.1.d, 2.A.1.e. et 2.A.1.f. ci-dessus peuvent être considérées comme appartenant à la catégorie II, si l'exportation du sous-système se fait sous réserve des déclarations d'utilisation finale et dans des limites quantitatives convenant à l'utilisation finale prévue ci-dessus.

Aspect (à l'emballage): Comme la plupart des systèmes électroniques, les sous-systèmes SAFF sont expédiés dans des conteneurs matelassés, dont certains sont des conteneurs spéciaux et étanches à l'air pour les protéger de l'humidité. Ces récipients ont habituellement des étiquettes indiquant qu'il faut les manipuler avec précaution. Une large gamme de configurations de récipient appropriées, y compris des tambours spéciaux, des boîtes, et des valises en métal, peut être employée. Ils peuvent tous être emballés à leur tour dans une boîte en bois (fig. 26) avec une étiquette d'avertissement pour explosifs (si nécessaire) ou peuvent être expédiés dans des boîtes en carton ordinaires.

2.B. Équipement d'essai et de production

2.B.1. «Équipements d'assistance à la production» spécialement conçus pour les sous-systèmes mentionnés par l'article 2.A.

- Argentine
- Canada
- Égypte
- Allemagne
- Israël
- Japon
- Corée du Nord
- Pakistan
- Serbie
- Espagne
- Syrie
- Royaume Uni
- Brésil
- Chine
- France
- Inde
- Italie
- Libye
- Norvège
- Fédération de Russie
- République de Corée
- Suède
- Ukraine
- États Unis

Production globale



Nature et But: Les équipements de production de sous-système sont souvent de grands secteurs industriels conçus pour fabriquer les ensembles principaux tels que les moteurs-fusées à propergol solide ou les moteurs-fusées à propergol liquide, l'équipement de guidage et de commande ou les corps de rentrée. Des ponts roulants sont utilisés pour déplacer les composants lourds. Un équipement à rayon X volumineux peut être disponible pour vérifier si des vides et des fissures dans les soudures ou dans le propergol du missile sont présents. Les installations de mélange de propergol solide sont souvent construites dans des régions isolées, éloignées des zones habitées pour des raisons de sécurité et de sûreté. Des installations de fabrication de système de guidage et de système de rentrée sont caractérisées par des salles blanches et des systèmes où l'air est filtré qui disposent habituellement de contrôle de la température et de l'humidité.

Les techniciens doivent porter des vêtements spéciaux pour contrôler la poussière, les peluches et l'électricité statique. Un système de filtration rigoureux est une condition sine qua non pour la fabrication d'instruments de guidage. L'air passe à travers des filtres à absorption de particules à haut rendement (HEPA), couvrant souvent toute la surface du plafond de la salle blanche.

Mode de fonctionnement: Les sous-ensembles de missiles balistiques sont fabriqués et souvent testés dans leurs installations de production avant d'être expédiés soit vers un entrepôt, soit vers une zone d'assemblage final. Des matières premières telles que la tôle d'acier sont laminées dans les formes

appropriées et soudées ensemble pour former des cylindres qui deviendront le boîtier du moteur-fusée à propergol solide. Des dômes d'extrémité sont soudés sur ces cylindres pour compléter l'enveloppe. Chaque dôme d'extrémité possède une ouverture circulaire renforcée pour monter la bougie d'allumage de l'étage et pour attacher la tuyère.

La résistance d'un petit nombre d'échantillons de boîtiers de moteurs est testée dans des installations d'essai spéciales. Ici, une enveloppe de moteur est examinée hydrostatiquement jusqu'à son point d'éclat pour confirmer sa capacité de résistance à la pression et pour valider les processus de fabrication employés pour ce lot d'enveloppes de moteur. L'enveloppe de moteur est scellée, remplie avec de l'eau et pressurisée jusqu'à ce qu'elle éclate. Les instruments sont fixés au carter du moteur et les contraintes sont enregistrées, de même que la pression de l'eau pendant l'essai. Souvent le procédé est filmé pour soutenir l'analyse d'échec détaillée.

Les moteurs fusée à propergol liquide sont des dispositifs mécaniques complexes qui nécessitent de nombreuses étapes précises d'usinage et d'assemblage, souvent en salle blanche. Les petites pièces de précision sont coulées, usinées, assemblées et nettoyées. Les plus grands réservoirs de propergol sont généralement fabriqués aux installations de formation de feuille qui roulent les feuilles en sections cylindrique qui sont alors soudés le long de leurs coutures axiales. Les dômes d'extrémité sont ensuite soudés aux cylindres que l'on obtient. Celles-ci ainsi que les autres soudures offrent des points de défaillance sur le missile et doivent être complètement inspectés. Des rayons X ou d'autres moyens non destructifs sont souvent employés pour inspecter ces soudures. Des ponts roulants sont utilisés pour déplacer et placer ces composants de missile depuis et vers les gabarits de montage.

Les installations les plus exigeantes de toutes les installations de production de missile balistique sont celles de production de systèmes de guidage précis. La fabrication d'instruments inertiels de haute qualité nécessite un certain nombre de personnes hautement qualifiées. Les procédés de fabrication exigent une attention particulière aux détails de la production de composants électromécaniques miniaturisés à tolérance serrée. Les installations industrielles de sous-système de guidage de missile exigent des équipements de précision et des salles blanches pour fabriquer et examiner les instruments de guidage individuels et puis les assembler dans un sous-système de guidage. Des grues et des palans sont disponibles pour déplacer les composants depuis et vers les gabarits de montages et les conteneurs d'expédition.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les composants et assemblages fabriqués dans ces installations servent à fabriquer et à tester les articles énumérés en 2.A.

Autres usages: N/A

Aspect (sortie d'usine): Plusieurs installations individuelles et spécialisées sont nécessaires pour produire des composants de missiles. Les appareils utilisés dans la production de moteurs fusée à propergol solide sont généralement de grandes et lourdes structures. Le mélange et la coulée du propergol pour fusée sont dangereux, et l'activité se déroule habituellement dans des endroits isolés afin de minimiser les résultats d'une explosion. Il se peut qu'il y ait de la plomberie de grand diamètre et des fosses de grande capacité qui peuvent comprendre des installations pour aspirer un vide dans le moteur-fusée. Des mandrins en forme d'étoile ou de nageoires multiples peuvent être visibles.

Les équipements de production pour les moteurs-fusées à propergol liquide peuvent impliquer de plus petites structures, mais ils exigent normalement des bancs d'essai à grande échelle. Des missiles balistiques à moyenne portée et des plus petits missiles pourraient être fabriqués dans une installation qui ressemblerait à n'importe quel grand atelier d'usinage bien équipé. Une installation d'assurance de la qualité est nécessaire avec les laboratoires. Ceux-ci incluront les salles blanches, les bancs de flux d'air, les plaques extérieures de granit, les appareils de mesure de précision comprenant les microscopes électroniques à balayage (SEM), les machines de mesure de coordonnées, les détecteurs de gaz avec des possibilités de détection de moins de 5 parties par million et d'autres dispositifs spécialisés de mesure si besoin est. Les stations pour assembler les véhicules de rentrée de pointe incluent les salles blanches afin d'assurer la fiabilité des composants d'armement et d'allumage et les tables d'équilibre pour configurer le centre de la gravité à la position appropriée. Des grues et des palans sont disponibles pour déplacer les composants fragiles depuis et vers les vérins de manœuvre et les conteneurs d'expédition.

Les machines de fabrication d'additifs (AM) peuvent être installées presque partout. Les machines typiques de fusion de lit de poudre (PBF) et de dépôt d'énergie dirigé (DED) mesurent 2,2 m x 1,1 m x 2,3 m et peuvent être placées dans une pièce de 5,3 m x 4,1 m avec tous les équipements annexes. La pièce aura besoin de contrôles environnementaux pour maintenir la température et l'humidité relative aux conditions requises.

Aspect (à l'emballage): Les pièces de rechange neuves ou de remplacement pour ces types d'installations sont parfois volumineuses et trop lourdes pour être emballées et expédiées à l'usine de production en unités complètes. Au lieu de cela, les composants sont expédiés séparément dans des caisses ou sur des palettes protégées pour le montage sur site. Ils seront solidement attachés dans la caisse pour empêcher tout mouvement et des dommages. De plus petits montages peuvent être mis en caisse individuellement ou être fixés sur des palettes pour l'expédition.

2.B.2. Équipements de production» spécialement conçus pour les sous-systèmes mentionnés par l'article 2.A.

Nature et But: La production de ces sous-systèmes nécessite des équipements adaptés au type spécifique de sous-ensemble. Chaque installation de production de sous-système doit contenir de l'équipement spécialisé, des gabarits, des montages, des moules, des matrices et des mandrins qui sont utilisés pour fabriquer les composants du sous-ensemble, les assembler et tester le sous-ensemble.

Mode de fonctionnement: L'équipement utilisé pour construire des moteurs fusée à propergol solide comprend les machines de travail des métaux, l'équipement pour dimensionner ou filtrer les constituants du propergol et mélanger le propergol, les moules ou les mandrins pour former le noyau du moteur ou la surface de combustion, les dispositifs pour fabriquer et pyrolyser les buses des moteurs et l'équipement pour tester le sous-système de commande du vecteur poussée sur le moteur complet. Les installations peuvent également contenir un équipement d'enroulement pour recouvrir les boîtiers de moteurs avec des matériaux composites à base de fibres.



Schéma 27: Une grande fraiseuse (Yasda Precision Tools, K.K.)

- Argentine
- Canada
- Égypte
- Allemagne
- Iran
- Italie
- Libye
- Norvège
- Fédération de Russie
- République de Corée
- Suède
- Ukraine
- États Unis
- Brésil
- Chine
- France
- Inde
- Israël
- Japon
- Corée du Nord
- Pakistan
- Serbie
- Espagne
- Syrie
- Royaume Uni

Production



De nombreux boîtiers de moteur peuvent être fabriqués en acier. Selon une méthode, les tôles d'acier sont laminées et soudées afin d'obtenir les dimensions et la résistance exigées par la conception du boîtier. D'autres techniques forment la partie cylindrique du moteur par extrusion ou fluotournage du métal sur un mandrin. Les dômes qui forment les extrémités du boîtier sont ensuite créés par fluotournage ou par matriçage. L'extrusion et le fluotournage de l'acier réduisent le nombre de points de rupture possibles sur le carter de moteur fini en réduisant le nombre de soudures nécessaires.

Certaines installations de fabrication de moteurs contiennent des machines d'enroulement de filaments qui déposent des fibres solides enduites d'une résine époxy ou polyester sur des mandrins rotatifs pour créer des pièces composites ayant un rapport résistance/poids élevé. Une fois l'opération d'enroulement terminée, les pièces ont besoin d'un durcissement en autoclave et en hydroclave pour terminer le processus.

L'équipement le plus distinctif et le plus grand dans une installation de production de moteur de fusée à propergol solide est la station de mélange de propergol. Cet équipement d'assistance doit être assez grand pour pouvoir loger les ingrédients de propergol, les mélangeurs et tout autre outillage employés pour faire l'étage de moteur. Les constituants solides du propergol (carburants, oxydants et autres agents) sont d'abord réduits en diamètres appropriés, puis mélangés avec un liant qui leur convient jusqu'à ce que le mélange (appelé "grain") devienne homogène. Si le procédé de mélange peut être complété sous vide, le nombre de bulles dans le grain peut être réduit au minimum. (Les bulles représentent des surfaces de combustion accrues qui provoquent des pointes de pression et une défaillance possible du boîtier du moteur pendant la combustion.) Après que les composants de propergol soient complètement mélangés, le mélange est placé dans l'enveloppe moteur. Il y a trois méthodes principales de remplissage en propergol d'une enveloppe de propulseur. Le propergol peut être versé à l'intérieur de l'enveloppe (un processus connu sous le nom de «chargement par coulée de propergol» et parfois fait sous vide), pompé dans l'enveloppe, ou, si le propergol est suffisamment rigide, il peut être expulsé à travers un moule et être inséré dans l'enveloppe.

Le matériau isolant doit être placé entre la paroi du boîtier et le propergol pour éviter que le boîtier ne se brise à cause de la chaleur de combustion. L'isolation est souvent constituée d'une mince couche de caoutchouc synthétique, comme le monomère éthylène-propylène-diène (EPDM). Des pulvérisateurs spéciaux peuvent appliquer une mince couche d'isolant à l'intérieur du carter du moteur ou une couche de matériau isolant peut être appliquée sur un mandrin sur lequel un carter de moteur composite est enroulé et durci.

La plupart des tuyères pour moteurs fusée à propergol solide modernes sont fabriquées soit en graphite en vrac, soit en billettes carbone-carbone multidimensionnelles. Les billettes de graphite sont fabriquées à partir de poudres de graphite à grain fin, moulées sous haute pression et à haute température pour former des

billettes. Les carbone-carbones sont à la base des préformes de fibre de carbone tissée, qui sont à plusieurs reprises densifiés à l'aide de brai de goudron de houille ou d'hydrocarbure à très haute pression et haute température. Des presses isostatiques peuvent être utilisées pendant ce processus. Le carbone-carbone ou la billette de graphite est alors usiné à la forme de tuyère prévue.

Chaque composant d'un sous-système de propulsion de fusée à propergol liquide nécessite un équipement de production. Par exemple, les soupapes marche/arrêt de propulseur nécessitent des fraiseuses, comme celles illustrées à la figure 27, pour fabriquer des pièces métalliques telles que des boîtiers, des sièges de soupape et des chevilles de charnières. Des bobines électromagnétiques sont fixées aux chevilles et les vannes sont assemblées dans des gabarits d'assemblage (montages) pour être soudées par des équipements de soudage spécialisés. D'autres opérations d'assemblage final sont également effectuées. Les soupapes assemblées passent par un éventail d'inspections à l'aide d'un équipement spécialisé pour s'assurer qu'elles répondent à toutes les exigences de spécifications de fourniture. Les contrôles d'étanchéité nécessitent de l'hélium haute pression et un chromatographe en phase gazeuse d'une capacité d'au moins cinq parties par million. Une machine d'essai automatisée est utilisée pour effectuer la mise en action réitérée des soupapes marche/arrêt de propergol, alors que le fluide traverse les soupapes, pour s'assurer que celles-ci pourront parvenir au nombre de cycles marche-arrêt exigés. De nombreux autres contrôles de réception sont accomplis pendant la production et la livraison.

Au fur et à mesure que de nouvelles technologies de fabrication se développent, la façon dont les outils, l'électronique et les composants de missiles sont produits a évolué. Les techniques de fabrication de pointe continuent de mûrir et modifient constamment l'environnement dans lequel se déroule la fabrication. L'un des domaines qui évolue le plus rapidement est celui de la fabrication d'additifs (AM). L'AM, parfois appelée "impression 3D", est passée du prototype des plastiques à la production complète de polymères, plastiques, composites, électroniques, métaux et céramiques.

Les machines AM pour les métaux/céramiques produisent des pièces et des outillages à l'aide d'une poudre ou d'un fil de métal/céramique qui est fondu/fritté par fusion en lit de poudre (PBF), par dépôt énergétique dirigé (DED) ou par procédé hybride. Les poudres et les fils vont des métaux non ferreux de l'aluminium, du cuivre et du titane aux métaux ferreux des aciers inoxydables en passant par les alliages haute résistance et haute température, dont beaucoup sont utilisés dans la technologie des missiles.

En 2016, l'état actuel de l'industrie limite la taille des pièces pour les systèmes PBF à 250 x 250 x 325 mm mais il existe quelques machines capables de produire des pièces jusqu'à 800 x 400 x 500 mm. Les systèmes DED sont capables de fabriquer en plus des pièces beaucoup plus grandes jusqu'à 5791 x 1219 x 1219 mm.

L'usinage par électroérosion (EDM) est largement utilisé dans la fabrication d'injecteurs pour moteurs fusée à propergol liquide. Au début, le processus était contrôlé par des dispositifs d'installation et des commandes manuelles. Les liaisons EDM et CAO/FAO commandées par ordinateur sont désormais la norme.

Une fois les composants testés et livrés à la zone d'assemblage final, le sous-système de propulsion est assemblé et de nombreuses mesures et vérifications sont effectuées pour vérifier que le sous-système achevé correspond à la conception. À ce stade, le sous-système de propulsion pourrait être testé pour vérifier qu'il satisfait aux exigences.

L'équipement utilisé pour fabriquer l'équipement de guidage à inertie est extrêmement spécialisé. Un outillage spécial est exigé pour usiner les bâtis, les roulements, les bagues coulissantes, les générateurs de couple et la microélectronique de précision qui entrent dans les gyroscopes et les accéléromètres. Des équipements spéciaux sont également nécessaires pour la mesure et l'inspection précises des sous-ensembles finis. Le rotor du gyroscope et le corps du flotteur doivent être usinés avec précision afin d'obtenir une épaisseur de paroi uniforme, une surface lisse et symétrique. Les roulements à billes, à gaz ou à bijoux doivent également être usinés avec précision. (Des roulements en acier inoxydable d'un huitième de pouce de diamètre, avec des tolérances de l'ordre du dix millionième de pouce, sont nécessaires pour les rotors de gyroscope.) De plus, ces instruments inertiels utilisent des mini- ou microcircuits pour capter et amplifier l'information de position. Si l'une des procédures de fabrication et de finissage est déficiente, le sous-système entier souffrira de couples aléatoires. Des couples aléatoires entraînent une dérive qui affecte la précision du gyroscope et par conséquent, l'exactitude du système d'orientation.

Les stations d'essai et les plaques tournantes contrôlées par ordinateur évaluent le biais, la sensibilité et d'autres fonctions inhérentes aux instruments à inertie des composants de système de guidage individuels. Ces données sont également envoyées sous forme de constantes d'équipement aux ordinateurs qui construisent et testent le programme de vol du missile. Les composants de système de guidage sont assemblés dans la structure finale dans un environnement de type salle blanche et examinés avant d'être expédiés à l'installation d'assemblage de missile ou de stockage. Une fois assemblés, ils sont testés pour confirmer leur intégrité mécanique et leur capacité à fonctionner dans les conditions vibratoires et thermiques du lancement et du vol. Ces stations d'essai sont souvent installées à l'intérieur ou à proximité de l'usine de fabrication et comprennent des tables vibrantes, des plateaux tournants et des chambres d'essais environnementaux commandés par ordinateurs.

L'équipement spécialisé à la production des véhicules de rentrée inclut des fours à haute température et des systèmes de commande pour fabriquer le matériau d'ablation ou céramique employé pour protéger le RV de la chaleur lors de la rentrée dans l'atmosphère terrestre.

2.C. Matériaux

Aucune.

2.D. Logiciel

2.D.1. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié aux fins de l'«utilisation» d'«équipements d'assistance à la production» mentionnés par l'article 2.B.1.

Nature et But: Les procédures de fabrication automatisées et assistées par ordinateur, y compris la commande numérique, sont de plus en plus utilisées pour produire des composants de missiles rapidement, avec précision et avec un degré élevé de répétabilité. Ces procédures nécessitent un logiciel spécialement conçu à cet effet.

Mode de fonctionnement: Les machines-outils modernes sont à commande numérique par ordinateur (CNC).

- | | |
|-----------------------|----------------|
| •Argentine | •Brésil |
| •Canada | •Chine |
| •Égypte | •France |
| •Allemagne | •Inde |
| •Iran | •Israël |
| •Italie | •Japon |
| •Libye | •Corée du Nord |
| •Norvège | •Pakistan |
| •Fédération de Russie | •Serbie |
| •République de Corée | •Espagne |
| •Suède | •Syrie |
| •Ukraine | •Royaume Uni |
| •États Unis | |

Production globale



Un micro-processeur dans chaque machine lit le programme G-Code que l'utilisateur crée; il exécute ensuite les opérations programmées. Les ordinateurs personnels sont utilisés pour concevoir les pièces et sont également utilisés pour écrire des programmes, soit par saisie manuelle du code G, soit par l'utilisation d'un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO) qui crée le code G à partir des données saisies par l'utilisateur à l'aide de fraises et de parcours. Les programmes G-Code générés par FAO doivent être post-traités sur la machine spécifique CNC utilisée. Les programmes et bibliothèques génériques de génération de code G-Code sont disponibles dans le domaine public.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les machines-outils CNC sont largement utilisées dans la fabrication et les essais de pièces de systèmes de missiles et s'appuient sur des logiciels internes et des logiciels FAO pour créer les différentes parties des systèmes de missiles. Quelques exemples

d'utilisation de machines-outils à commande numérique pour la fabrication de pièces de systèmes de missiles sont expliqués ci-dessous.

Des machines-outils commandées par ordinateur et des machines de fabrication d'additifs (AM) ont été utilisées pour fabriquer des injecteurs principaux de noyau de moteur-fusée à propergol liquide et des injecteurs de pré brûleur à éléments multiples. Des procédés tels que le collage par diffusion de plaques minces utilisent des fours qui peuvent être contrôlés par ordinateur. Le dépôt par pulvérisation plasma et d'autres types de revêtement de matériaux tels que la galvanoplastie sont contrôlés par ordinateur.

Les pièces d'un moteur fusée à propergol liquide (injecteurs dans les chambres et chambres dans les tuyères) sont généralement soudées, à l'exception de celles des unités d'essai au sol. Cette soudure "orbitale" (360 degrés autour d'une surface cylindrique) est actuellement contrôlée par ordinateur, nécessitant un logiciel spécialement adapté.

L'inspection des articles de production est également de plus en plus contrôlée par ordinateur. Les injecteurs, par exemple, contiennent des centaines de trous d'injecteur dont la taille, l'emplacement et l'orientation doivent être vérifiés. Des comparateurs optiques contrôlés par ordinateur sont utilisés pour effectuer cette inspection, et un logiciel spécialement développé est requis.

L'équipement automatisé est utilisé pour contrôler et gérer à la fois le processus de fluotournage utilisé dans les installations de production de boîtiers de moteurs en acier et les machines de bobinage de filaments qui déposent des fibres revêtues d'époxy ou de résine de polyester sur des mandrins rotatifs pour créer des boîtiers moteurs composites.

Les tours et fraiseuses CNC peuvent être utilisés pour transformer les billettes de graphite ou de carbone spécialisées en tuyères de moteur à propergol solide et en pointes de nez RV.

Des équipements d'usinage automatisés sont nécessaires pour produire les composants de précision qui composent les instruments de guidage inertiel. Une fois ces composants assemblés, ils sont testés et leur performance est évaluée sur des postes de test informatisés. Les résultats de ces essais produisent des données qui servent à la fois à caractériser l'instrument, comme la vitesse de dérive et le facteur d'échelle, et à définir les constantes du sous-système de guidage dans le logiciel de vol.

- | | |
|-----------------------|----------------|
| •Argentine | •Australie |
| •Brésil | •Canada |
| •Chine | •France |
| •Allemagne | •Inde |
| •Israël | •Italie |
| •Japon | •Pakistan |
| •Fédération de Russie | •Rep. de Corée |
| •Suède | •Ukraine |
| •Royaume Uni | •États Unis |

Production
globale



Autres usages: Les logiciels utilisés pour faire fonctionner l'équipement qui fabrique des composants et des sous-ensembles de missiles peuvent également être utilisés, avec des modifications, pour contrôler des produits fabriqués dans les industries de l'aviation civile et militaire.

Aspect (sortie d'usine): Généralement, les logiciels utilisés pour produire des assemblages de fusées prennent la forme d'un programme informatique stocké sur des supports imprimés, optiques, magnétiques ou autres. Tous les supports courants, y compris les bandes magnétiques, les disquettes, les disques durs amovibles, les disques compacts, les lecteurs USB et les documents, peuvent contenir ce logiciel et ces données.

Aspect (à l'emballage): Les bandes magnétiques, les disquettes, les disques durs amovibles, les disques compacts, les lecteurs USB et les documents contenant le logiciel de maîtrise de la production de missile sont indiscernables de tous les autres supports de stockage. Seul l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit lancé sur l'ordinateur approprié. Ce logiciel, y compris la documentation, peut être transmis par le biais d'un réseau informatique.

2.D.2. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié aux fins de l'«utilisation» de moteurs-fusées ou moteurs mentionnés à l'article 2.A.1.c.

Nature et But: Les logiciels spécialement conçus ou modifiés pour être utilisés par des moteurs fusée à propergol solide, hybride ou à gel ou des moteurs fusée à propergol liquide sont généralement intégrés au logiciel de l'ordinateur de bord et peuvent effectuer une multitude de tâches. Pour les moteurs de fusée et les moteurs, le logiciel surveillera les données des capteurs pour les pressions et les températures, etc. et contrôlera l'enchaînement des événements, tels que l'allumage du moteur, l'arrêt du moteur, l'allumage du générateur de gaz, le déclenchement du débit de propergol (nombreuses ouvertures et fermetures de soupapes) et autres événements distincts, en temps ou en temps. Ces événements peuvent être déclenchés soit par des signaux internes ou externes provenant de l'installation de lancement ou du lanceur mobile, du système de navigation inertielle, d'autres capteurs ou de l'ordinateur de bord. Pour les moteurs à propergol

liquide, certains aspects du système de commande du moteur peuvent être intégrés dans le logiciel de l'ordinateur de bord, comme le contrôle de la pression de la chambre de combustion ou du rapport de mélange du propergol, ce dernier utilisant des mesures par capteurs des quantités de propergol restant dans les réservoirs. Enfin, certains éléments du sous-système de commande du vecteur poussée peuvent être considérés comme des parties du moteur ou du moteur, tels que les actionneurs d'une tuyère à cardan, les systèmes à cardan ou les propulseurs de régulation d'altitude. Le logiciel de l'ordinateur de bord pilotera ces éléments du sous-système de commande du vecteur de poussée. Cette catégorie comprend également les logiciels d'entretien et de diagnostic spécialement conçus pour l'entretien des moteurs de fusée et des moteurs. La plupart des logiciels de cette catégorie seraient utilisés pour effectuer des essais électriques automatisés, avant le vol.

Mode de fonctionnement: Le programme de vol reçoit des signaux, tels que le signal de lancement de l'installation de lancement ou du lanceur mobile, et envoie les signaux dans l'ordre approprié pour accomplir l'action. Pour certains moteurs fusée à propergol solide, cela comprendrait le signal nécessaire pour déclencher la charge pyrogène nécessaire à l'allumage des grains de propergol solide dans le carter du moteur. Pour certains moteurs fusée à propergol liquide, l'ordinateur de vol envoyait un signal de démarrage d'un générateur de gaz à propergol solide pour faire démarrer la ou les turbines de la ou des turbopompes tout en ouvrant les soupapes pour déclencher le flux du propergol dans la chambre de combustion. Toutes ces fonctions seront intégrées dans le logiciel de vol qui contrôle toutes les fonctions du missile depuis le lancement. L'ordinateur de vol, par l'intermédiaire de ses composants du système de commande, émet tous les ordres et signaux nécessaires pour effectuer un vol complet selon les paramètres de conception. Bien qu'il soit théoriquement possible de séparer le moteur ou le logiciel de commande du moteur de l'ordinateur de vol et du logiciel, cela est peu probable. Les logiciels d'entretien de ces moteurs pourraient se trouver dans l'installation de lancement ou dans le logiciel du lanceur mobile, dans le logiciel de contrôle au sol embarqué ou dans l'équipement de diagnostic.

Utilisations typiques liées aux missiles: Le logiciel de commande du moteur-fusée à propergol solide, hybride ou en gel ou du moteur-fusée à propergol liquide est habituellement intégré au logiciel de vol embarqué de sorte que la commande transparente de tous les sous-systèmes de missiles est effectuée par le logiciel de vol. Les logiciels de maintenance peuvent se trouver dans l'installation de lancement ou le lanceur mobile, dans le logiciel de contrôle au sol embarqué ou dans un équipement de diagnostic autonome.

Autres usages: N/A

Aspect (sortie d'usine): Typiquement, le logiciel utilisé pour les moteurs fusée ou moteurs prend la forme d'un programme informatique stocké sur médias imprimés, magnétiques, optiques ou autre. Tous les supports courants, y compris les bandes magnétiques, les disquettes, les disques durs amovibles, les disques compacts, les lecteurs flash USB et les documents, peuvent contenir ce logiciel et ces données.

Aspect (à l'emballage): Les bandes magnétiques, les disquettes, les disques durs amovibles, les disques compacts, les lecteurs flash USB et les documents contenant un moteur-fusée ou un logiciel de contrôle moteur ne peuvent être distingués de tout autre support de stockage. Seuls l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit utilisé sur l'ordinateur approprié. Ce logiciel et cette documentation peuvent être transmis électroniquement sur un réseau informatique.

2.D.3. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié aux fins de l'utilisation ou la maintenance des «ensembles de guidage» mentionnés par l'article 2.A.1.d.

Note:

L'article 2.D.3. vise aussi les «logiciels» spécialement conçus ou modifiés pour améliorer la performance des «ensembles de guidage», afin d'atteindre ou de dépasser la précision mentionnée à l'article 2.A.1.d.

- | | |
|----------------------|----------------|
| •Argentine | •Australie |
| •Brésil | •Canada |
| •Chine | •France |
| •Allemagne | •Inde |
| •Israël | •Italie |
| •Japon | •Pakistan |
| •Portugal | •Fédération de |
| •République de Corée | |
| •Suède | •Ukraine |
| •États Unis | •Royaume Uni |

Production



Nature et But: Sur un système de fusée, les instruments de guidage et de contrôle sont principalement montés sur une plate-forme stable dans la section de guidage. La plate-forme stable est contrôlée par l'ordinateur de bord. Le logiciel dans l'ordinateur de vol collecte des informations des instruments montés sur la plate-forme, traite les données, et fournit des signaux à l'équipement sur la plate-forme pour maintenir son alignement et sa stabilité. Quand le missile est lancé, l'ordinateur de vol continue à commander l'orientation de la plate-forme stabilisée tout au cours du vo. Il recueille des informations sur l'accéléromètre et intègre les données pour déterminer la vitesse et la position. Il détermine également les écarts par rapport à la trajectoire de vol programmée et envoie des signaux de correction au système de commandes de vol.

Mode de fonctionnement: Les accéléromètres et gyroscopes montés sur la plate-forme stable d'un système de fusée détectent en permanence l'accélération due à la gravité locale et aux forces de torsion causées par la rotation de la Terre. Ces forces ont tendance à faire errer la plate-forme à moins qu'elle ne soit corrigée. Le logiciel informatique de vol recueille et traite les données de réponse de chaque gyroscope, en incorporant des informations sur des instruments individuels tels que le biais, le taux de dérive et le décalage, et émet des signaux aux moteurs de couple montés dans les cardans pour garder la plate-forme stable par rapport à une Terre en rotation. Lorsque la fusée est lancée, l'ordinateur de vol continue de contrôler l'orientation de la plate-forme stable pendant le vol. Il recueille les données de l'accéléromètre pendant le lancement et tout au long du vol motorisé et intègre les données pour déterminer la vitesse et la position. Pendant que l'ordinateur de vol effectue ces calculs, il détermine les écarts détectés par rapport à la trajectoire de vol programmée et envoie des signaux de correction au système des commandes de vol. Lorsque l'ordinateur détermine que la vitesse est correcte et que la fusée est à la bonne altitude, il émet un certain nombre de commandes très rapprochées pour terminer la poussée et (sur certains systèmes) pour séparer le véhicule de rentrée.

Les sous-systèmes de guidage des UAV, y compris ceux des missiles de croisière, peuvent utiliser des systèmes de navigation intégrés pour augmenter les systèmes inertiels afin de voler avec précision vers la cible. Les sorties de ces systèmes sont intégrées dans l'ordinateur de vol pour produire une navigation très précise. Lorsque l'ordinateur de vol détermine les écarts par rapport à la trajectoire de vol, il transmet au système de commandes de vol la correction des commandes de direction afin de maintenir une trajectoire de vol et une altitude appropriées.

Utilisations typiques liées aux missiles: Ce logiciel est utilisé pour faire fonctionner et entretenir l'UAV ou le système de fusée pendant le vol vers sa cible.

Autres usages: Les logiciels de cette catégorie ont peu d'utilisations qui ne sont pas liées aux missiles, mais peuvent être utilisés dans l'industrie aéronautique militaire pour améliorer les systèmes de guidage des appareils.

Aspect (sortie d'usine): Généralement, ce logiciel se présente sous la forme d'un programme informatique stocké sur un support imprimé, magnétique, optique ou autre. Tous les médias communs y compris des bandes magnétiques, des disquettes, des disques durs amovibles, des disques compacts, lecteurs USB et des documents peuvent contenir ce logiciel et ces données.

Aspect (à l'emballage): Il est impossible de discerner une bande magnétique, des disquettes, des disques durs amovibles, des disques compacts, lecteurs USB et des documents contenant ce logiciel de tout autre support de stockage. Seuls l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit utilisé sur l'ordinateur approprié. Ce logiciel et cette documentation peuvent être transmis électroniquement sur un réseau informatique ou internet.

2.D.4. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié aux fins de l'utilisation ou la maintenance des sous-systèmes ou équipement mentionnés par l'article 2.A.1.b.3.

- Argentine
- Brésil
- Chine
- Allemagne
- Israël
- Japon
- Portugal
- République de Corée
- Ukraine
- États Unis
- Australie
- Canada
- France
- Inde
- Italie
- Pakistan
- Fédération de Russie
- Suède
- Royaume Uni

Production globale



Nature et But: Le logiciel dans le RV est employé pour contrôler le système de mise en sûreté, d'armement, d'allumage et de mise à feu (SAFF) et pour intégrer les systèmes de navigation spécialisés des terminaux conçus pour augmenter l'exactitude du RV.

Mode de fonctionnement: La charge utile contenue dans un RV de missile est conçue pour être activée (détoner, ouvrir, disperser des sous-munitions, etc.) seulement après que le mécanisme SAFF a déterminé que des contraintes de sécurité spécifiques ont été respectées. Ces contraintes comprennent la réception des signaux de synchronisation, d'accélération, de décélération et barométriques, des signaux générés par ordinateur liés à la précision de détection du missile par rapport à la trajectoire programmée et d'autres signaux

déterminés par les concepteurs. L'ordinateur du RV utilise également un système de guidage terminal, si disponible, pour diriger précisément le RV vers sa cible à l'aide d'un certain nombre de radars, de capteurs et de composants du sous-système de guidage configurés dans un système de navigation intégré.

Quelques armes s'activent après un signal de retour de radar approprié. Le sous-système de radar doit être examiné sur des bancs d'essai pour confirmer la fiabilité de son fonctionnement. Des sous-systèmes complets de RV sont testés et évalués au cours d'une série d'essais en vol et au sol. Les systèmes de télémétrie installés dans le RV fournissent les caractéristiques de fonctionnement de sous-système aux stations au sol. Le logiciel est employé pour examiner ces systèmes avant un essai de vol pour vérifier la fiabilité de leur fonctionnement.

Utilisations typiques liées aux missiles: Ce logiciel est utilisé pour collecter les informations des systèmes de navigation intégrés dans le RV, et pour actionner les systèmes de guidage terminal et les mécanismes SAFF du corps de rentrée.

Autres usages: N/A

Aspect (sortie d'usine): Généralement, ce logiciel se présente sous la forme d'un programme informatique stocké sur un support imprimé, magnétique, optique ou autre. Tous les médias communs y compris des bandes magnétiques, des disquettes, des disques durs amovibles, des disques compacts, lecteurs USB et des documents peuvent contenir ce logiciel et ces données.

Aspect (à l'emballage): La bande magnétique, les disquettes, les disques durs démontables, les disques compacts, les clés USB sont indiscernables de tous les autres supports de stockage. Seuls l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit exécuté sur l'ordinateur approprié. Ce logiciel et cette documentation peuvent être transmis électroniquement sur un réseau informatique.

2.D.5. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié aux fins de l'utilisation ou la maintenance des sous-systèmes mentionnés par l'article 2.A.1.e.

- Argentine
- Brésil
- Chine
- Allemagne
- Israël
- Japon
- Portugal
- République de Corée
- Ukraine
- États Unis
- Australie
- Canada
- France
- Inde
- Italie
- Pakistan
- Fédération de
- Suède
- Royaume Uni

Production



Nature et But: Ce logiciel est employé pour actionner les sous-systèmes de contrôle de vecteur-poussée employés pour commander la trajectoire d'un missile balistique et de quelques missiles de croisière pendant la poussée.

Mode de fonctionnement: La trajectoire d'un missile balistique est contrôlée par les sous-systèmes de contrôle du vecteur de poussée. L'ordinateur de vol émet des corrections ou des signaux directionnels au système de contrôle de vecteur de poussée pour déplacer un déclencheur relié à un moteur-fusée à propergol liquide, à une tuyère d'un propulseur de missile à propergol solide, à un dispositif de commande de vecteur de poussée à liquide injecté, à des aubes de déviation de jet ou à un autre dispositif afin de dévier la poussée. Une fois que le déclencheur s'est déplacé, les informations de

vitesse angulaire et de distance de la sonde de position du contrôle de vecteur-poussée est renvoyée à l'ordinateur comme signal de retour qui est alors utilisé pour modifier la commande de correction ou de direction. Le logiciel de gestion du vecteur de poussée est une partie presque imperceptible du programme de bord.

Utilisations typiques liées aux missiles: Ce logiciel est utilisé pour faire fonctionner les sous-systèmes de contrôle du vecteur de poussée utilisés sur les missiles balistiques et certains missiles de croisière.

Autres usages: Des logiciels similaires peuvent également être utilisés dans l'industrie aéronautique civile et militaire. Les gouvernes aérodynamiques utilisent des servo-actionneurs et des indicateurs de position semblables à ceux utilisés sur les missiles balistiques.

Aspect (sortie d'usine): Généralement, le logiciel employé pour actionner des systèmes de contrôle de vecteur de poussée prend la forme d'un programme informatique stocké sur médias imprimés, magnétiques, optiques ou autres. Tous les supports courants, y compris les bandes magnétiques, les disquettes, les disques durs amovibles, les disques compacts, les lecteurs flash USB et les documents, peuvent contenir ce logiciel et ces données.

Aspect (à l'emballage): Les bandes magnétiques, les disquettes, les disques durs amovibles, les disques compacts, lecteurs USB et les documents contenant ce logiciel sont indiscernables de tous les autres supports de stockage. Seuls l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit utilisé sur l'ordinateur approprié. Ce logiciel et cette documentation peuvent être transmis électroniquement sur un réseau informatique.

2.D.6. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié aux fins de l'utilisation ou la maintenance du système mentionné par l'article 2.A.1.f.

Note:

Sous réserve des déclarations d'utilisation finale appropriées pour l'utilisation finale exemptée, les « logiciels » visés par l'article 2.D.2.

- 2.D.6. peuvent être traités comme relevant de la catégorie II comme suit:

1. *En vertu de l'article 2.D.2, s'ils sont spécialement conçus ou modifiés pour les moteurs d'apogée à propergol liquide ou les moteurs de maintien de station, conçus ou modifiés pour des applications satellites comme spécifié dans la note à l'article 2.A.1.c.;*

2. *En vertu de l'article 2.D.3, s'ils sont conçus pour des missiles d'une « portée » inférieure à 300 km ou pour des appareils pilotés;*

3. *En vertu de l'article 2.D.4, s'ils sont spécialement conçus ou modifiés pour des corps de rentrée conçus pour des charges utiles non militaires;*

4. *En vertu de l'article 2.D.5, s'ils sont conçus pour des systèmes de fusée dont la « portée »/« charge utile » n'excède pas celle des systèmes mentionnés par l'article 1.A.;*

5. *En vertu de l'article 2.D.6, s'ils sont conçus pour des systèmes autres que ceux mentionnés par l'article 1.A.*

Nature et But: Le logiciel dans le RV est employé pour surveiller le système de mise en sûreté, d'armement, d'allumage et de mise à feu (SAFF) situé dans le RV.

- Argentine
- Brésil
- Chine
- Allemagne
- Israël
- Japon
- Portugal
- République de Corée
- Ukraine
- États Unis
- Australie
- Canada
- France
- Inde
- Italie
- Pakistan
- Fédération de
- Suède
- Royaume Uni

Production



Autres usages: N/A

Aspect (sortie d'usine): Généralement, ce logiciel se présente sous la forme d'un programme informatique stocké sur un support imprimé, magnétique, optique ou autre. Tous les médias communs y compris les bandes magnétiques, les disquettes, les disques durs amovibles, les disques compacts, les lecteurs USB et les documents peuvent contenir ce logiciel et ces données.

Aspect (à l'emballage): La bande magnétique, les disquettes, les disques durs démontables, les disques compacts, les clés USB sont indiscernables de tous les autres supports de stockage. Seuls l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit exécuté sur l'ordinateur approprié. Ce logiciel et cette documentation peuvent être transmis électroniquement sur un réseau informatique.

Mode de fonctionnement: La charge utile contenue dans un véhicule de rentrée de missiles n'est conçue pour être activée (détoner, ouvrir, disperser des sous-munitions, etc.) qu'une fois que le mécanisme SAFF a reçu les données et déterminé que des contraintes de sécurité spécifiques ont été respectées. Ces contraintes incluent la réception de la synchronisation, de l'accélération, de la décélération et des signaux barométriques, des signaux générés par ordinateur liés à l'exactitude détectée du missile par rapport à la trajectoire programmée, et à d'autres déterminés par les concepteurs.

Utilisations typiques liées aux missiles: Ce logiciel est employé pour maintenir la sûreté du corps de rentrée et de la charge utile stockés à l'intérieur.

2 | Manuel d'annexe du régime de commande de technologie de missile (MTCR) - 2017

Les moteurs d'apogée de fusées à propergol liquide conçus ou modifiés pour fournir la combustion finale à un satellite afin de le placer sur une orbite prédéterminée sont toujours alimentés sous pression. En d'autres termes, les turbopompes ne sont pas utilisées parce qu'il est plus rentable de pressuriser des réservoirs de propergol relativement petits en utilisant une bouteille d'hélium haute pression. Au niveau du sous-système, le logiciel d'utilisation du sous-système de propulsion à apogée liquide comprend un programme de simulation de trajectoire; typiquement, un tel code informatique simule le mouvement en trois dimensions avec six degrés de liberté. Des codes standards de ce type peuvent être employés pour n'importe quel missile ou lanceur spatial de n'importe quelle taille, et un certain nombre d'entre eux sont dans le domaine public. Ceux qui ont été adoptés pour des moteurs d'apogée spécifiques doivent être évalués en prenant compte du système pour lequel ils ont été conçus.

2.E. Technologie

2.E.1. «Technologie», au sens de la note générale relative à la technologie, pour le «développement», la «production» ou «l'utilisation» d'équipements ou de «logiciels» mentionnés aux articles 2.A, 2.B. ou 2.D.

Nature et But: La technologie visée au point 2.E.1. comprend les instructions et les connaissances nécessaires pour mettre au point, produire ou utiliser tout équipement ou logiciel visé aux points 2.A., 2.B. ou 2.D.

Mode de fonctionnement: L'assistance technique est disponible sous plusieurs formes. L'assistance technique peut consister en un enseignement dispensé par une personne expérimentée dans une ou plusieurs matières contrôlées (comme les moteurs de fusée à propergol liquide) qui agit comme formateur dans une classe sur le site de production ou à proximité. Un pays peut recevoir une assistance technique d'un ou de plusieurs services de conseil spécialisés dans un processus contrôlé ou qui aident à l'acquisition de composants ou de matériaux difficiles à obtenir. De plus, un pays peut recevoir de l'assistance technique en envoyant des étudiants vers d'autres pays qui possèdent la technologie exigée afin qu'ils puissent apprendre et pratiquer les qualifications nécessaires à la construction des systèmes requis. Tous les manuels et matériaux reçus pendant la formation peuvent servir de données techniques.

Utilisations typiques liées aux missiles: A quelques exceptions près, l'assistance technique nécessaire à la construction de systèmes de missiles balistiques n'est utilisée qu'à cette fin. Comme on l'a vu plus haut, les fusées sondes utilisées dans la recherche météorologique peuvent, moyennant quelques ajustements mineurs, être converties en missiles balistiques.

Autres usages: N/A

Aspect (sortie d'usine) N/A

Aspect (à l'emballage): N/A

Catégorie II - Article 3:
Composants et équipement
de propulsion

Catégorie II - Article 3: Composants et équipement de propulsion

3.A. Équipement, assemblages et composants

Moteurs à turboréacteurs et turbopropulseurs, comme suit:

a. Moteurs réunissant les deux caractéristiques suivantes:

1. «Poussée maximale supérieure» à 400 newton (non installés), à l'exception des moteurs civils certifiés ayant une poussée maximale supérieure à 8,89 kN (non installés); et
2. Consommation spécifique de carburant de 0,15 kg N⁻¹ h⁻¹ ou moins (à la poussée maximale continue dans des conditions statiques et normales au niveau de la mer);

Notes techniques:

Dans l'article 3.A.1.1.a.1, la «valeur de poussée maximale» est la poussée maximale démontrée par le constructeur pour le type de moteur non installé. La valeur de poussée certifiée de type civil sera égale ou inférieure à la poussée maximale démontrée par le constructeur pour le type de moteur.

b. Moteurs conçus ou modifiés pour les systèmes visés aux articles 1.A ou 19.A.2, indépendamment de la poussée ou de la consommation spécifique de carburant.

Note:

Les moteurs mentionnés à l'article 3.A.1 peuvent être exportés en tant qu'éléments d'un appareil piloté ou en quantités appropriées pour des pièces de rechange pour un appareil piloté.

- Chine
- République Tchèque
- Allemagne
- Israël
- Fédération de Russie
- Suède
- États Unis
- France
- Ukraine
- Inde
- Japon
- Afrique du Sud
- Royaume Uni

Production globale



Nature et But: Les turboréacteurs et les turbopropulseurs visés au point 3.A.1. sont ceux qui peuvent propulser des véhicules aériens sans pilote (UAV), y compris des missiles de croisière, sur de grandes distances. Leur conception et leur fonctionnement sont semblables à ceux des moteurs d'avions civils, mais leur taille et leur puissance sont plus petites. Ils rendent les missiles de croisière à longue portée pratiques sur le plan opérationnel.

Mode de fonctionnement: les moteurs à turbine à gaz¹ comportent plusieurs sous-composants, dont le ventilateur (dans le cas d'un turboréacteur), le compresseur, la chambre de combustion et la

turbine. Le compresseur, qui peut se composer d'un ou de plusieurs étages de lames alternatives stationnaires et tournantes de section de profil d'aile, attire l'air, le pressurise et l'envoie dans la chambre de combustion.

¹ Le terme "turbine à gaz" peut être utilisé indifféremment avec "turboréacteur" ou "turbosoufflante" dans la présente section.

La chambre de combustion est un tube anti-calorique dans lequel de l'air est mélangé à du carburant vaporisé et puis mis à feu. Les bougies d'allumage (appelées les allumeurs) initient la combustion, qui est continue une fois que l'allumage s'est produit. Les produits de combustion, ou gaz d'échappement, passent ensuite dans la turbine, qui se compose d'un ou de plusieurs étages d'aubes fixes et rotatives alternées. La turbine extrait seulement assez d'énergie du jet de gaz pour entraîner le compresseur; l'énergie restante fournit la poussée. Le flux de gaz passe ensuite dans un conduit convergent, ou tuyère, afin de maximiser la poussée produite par le moteur. Dans le cas d'un moteur de turbopropulseur, il y a un étage de ventilateur multi-pales de plus grand diamètre devant le compresseur. Les turbopropulseurs ont généralement une poussée plus élevée et un meilleur rendement énergétique que les turbojets

Utilisations typiques liées aux missiles: Ces moteurs sont utilisés pour alimenter les systèmes UAV, y compris les missiles de croisière.

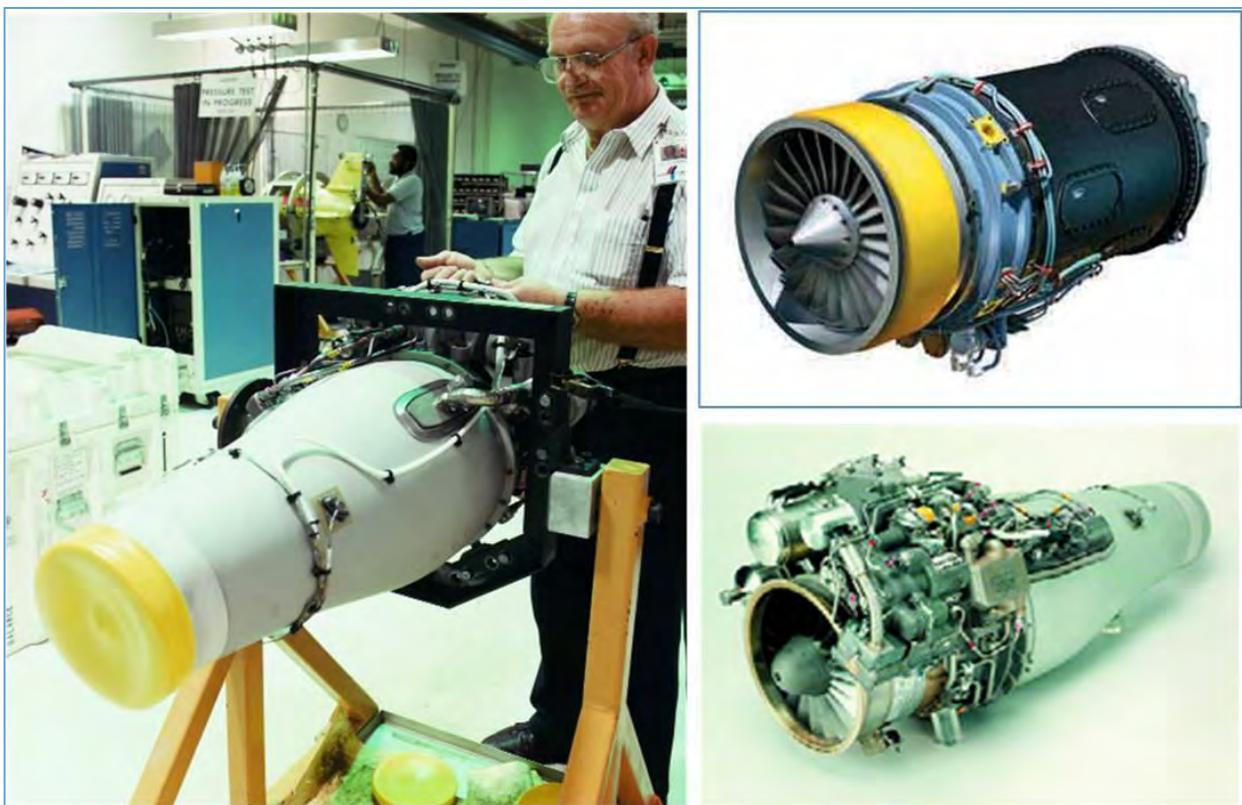


Schéma 28: Gauche: Un petit moteur de turbopropulseur pour un missile de croisière sur son stand de contrôle. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel annexe de technologie, troisième édition (mai 2005)) En haut à droite: Un turbopropulseur utilisé pour actionner un véhicule aérien sans pilote HALE. (Groupe Rolls Royce, plc) En bas à droite: Un petit moteur de turbopropulseur pour missile de croisière. (Williams International)

Autres usages: De tels moteurs ne sont généralement pas conçus uniquement pour les véhicules aériens sans pilote et les missiles et peuvent être employés directement dans d'autres applications telles que les avions pilotés et les hélicoptères. Des turbomoteurs sont également utilisés dans les industries de la marine et de l'électricité et dans quelques véhicules terrestres, ainsi que dans les dérivés marins de moteurs à turbine pour vaisseaux navals et civil.

Aspect (à la sortie d'usine): Le moteur de turbine de base est cylindrique et mesure moins de 1 m de long et 0,5 m de diamètre. De nombreux accessoires tels qu'un alternateur, une pompe hydraulique, une pompe à essence et une soupape de dosage ainsi que les tuyaux et le câblage associés, sont apparents à l'extérieur du

moteur. Les petits moteurs économes en combustible pèsent généralement entre 30 kg et 130 kg; les plus grands moteurs, tels que représentés sur la figure 28 (en haut à droite), ont des diamètres d'environ 1 m et une longueur de 3 m. Les pièces du moteur sont fabriquées à partir d'un certain nombre de matériaux différents, métalliques et non métalliques. Les matériaux métalliques courants comprennent l'aluminium, l'acier, le titane et les alliages spéciaux. Les matériaux non métalliques comme le téflon, le nylon, le carbone et le caoutchouc sont utilisés pour l'étanchéité et l'isolation.

Aspect (à l'emballage): Les moteurs sont généralement préparés pour l'expédition selon un processus en plusieurs étapes. Les plaques de recouvrement sont fixées sur l'entrée et la sortie d'échappement du moteur et fixées avec du ruban adhésif. Le moteur est recouvert de papier protecteur et des sacs de dessiccant sont attachés à l'enveloppe du moteur (Figure 29). Le moteur est enveloppé dans du carton ondulé, inséré dans un sac en polyéthylène, descendu dans la caisse d'expédition et posé sur des blocs de mousse. La boîte est ensuite remplie de mousse et scellée. Étant donné que les moteurs des missiles de croisière comportent souvent des dispositifs de démarrage automatique grâce à l'utilisation de cartouches pyrotechniques, lorsque correctement emballés, leurs conteneurs d'expédition portent généralement des marques indiquant la présence d'explosifs.



Schéma 29: *Gauche:* Une caisse d'expédition de turboréacteur avec les étiquettes d'avertissement aux explosifs requises en raison de la cartouche de mise en route. (Teledyne Ryan Aeronautical) *Centre:* Un petit moteur de turbopropulseur enveloppé de plastique à l'intérieur de sa caisse d'expédition. (Teledyne Ryan Aeronautical) *Droite:* Un petit moteur de turboréacteur étant préparé pour l'expédition (Teledyne Ryan Aeronautical)

3.A.2. Statoréacteurs, statoréacteurs à combustion supersonique, pulsoréacteurs ou moteurs à cycles combinés, y compris les dispositifs de régulation de la combustion et les composants spécialement conçus pour ceux-ci, utilisables dans les systèmes mentionnés par les articles 1.A. ou 19.A.2.

Notes techniques:

Dans l'article 3.A.2, les «moteurs à cycles combinés» sont les moteurs qui utilisent deux ou plus de deux cycles des **types de moteurs** suivants: moteurs à turbine à gaz (turboréacteur, turbopropulseur, réacteur à double flux et turbomoteur), moteurs statoréacteurs, statoréacteurs à combustion supersonique, pulsoréacteurs, moteurs à détonation pulsée, moteurs de fusée à combustible (combustible liquide/solide/géllifié ou hybride).

Nature et But: Les moteurs de statoréacteur (ou ramjet), statoréacteur à combustion supersonique (ou scramjet) et pulsoréacteur (ou pulsejet) sont des réacteurs de jet à combustion interne qui brûlent le carburant mélangé à l'air aspiré et expulsent un jet de gaz d'échappement chaud pour propulser les véhicules aériens, y compris les missiles de croisière. Comme ces moteurs ont très peu de pièces mobiles (ils n'ont pas de compresseurs mécaniques), ils sont beaucoup plus simples et potentiellement moins coûteux que les turboréacteurs ou les turbosoufflantes. Comme les statoréacteurs et les statoréacteurs à combustion supersonique peuvent tolérer des températures de combustion beaucoup plus élevées que les turboréacteurs et les turbosoufflantes, ils sont la seule option pratique pour un vol soutenu à vitesse supersonique élevée. Les moteurs à cycle combiné intègrent deux systèmes de propulsion (par exemple,

turboréacteur et statoréacteur ou statoréacteur à combustion supersonique) dans un seul ensemble afin d'être fonctionnels de l'état de repos aux vitesses supersoniques. Un pulsoréacteur est un autre type de réacteur sans compresseur; cependant, à la différence des statoréacteurs, la combustion a lieu par intermittence (par impulsions) et ils peuvent produire de la poussée au repos.

Mode de fonctionnement: En se déplaçant dans l'atmosphère, les statoréacteurs capturent l'air et le dirigent dans le moteur. L'air est comprimé par l'«effet de RAM» et ralenti aux vitesses subsoniques par diffusion à l'intérieur du conduit d'admission. Du carburant est ajouté et le mélange est mis à feu. La poussée est produite par l'expulsion des gaz d'échappement chauds par une tuyère. Les statoréacteurs fonctionnent généralement entre mach 2 et 3, mais peuvent fonctionner sur une large étendue de vitesses, des valeurs mach subsoniques élevés aux vitesses supersoniques à environ mach 4. Le principal inconvénient des statoréacteurs (ramjets) est qu'ils ne peuvent pas produire de poussée à vitesse de vol nulle, ils doivent donc être accélérés par une autre forme de propulsion à la vitesse de départ nécessaire, soit en général, 650 km/h ou plus. Un petit moteur-fusée rempli de propergol est souvent employé dans ce but lors du lancement et jeté une fois que le statoréacteur/scramjet.

«Scramjet» est une contraction «de statoréacteur à combustion supersonique». Il fonctionne comme le statoréacteur, mais l'air entrant dans le moteur n'est pas ralenti autant et la combustion se produit pendant que l'air dans le moteur est supersonique. Les Scramjets fonctionnent en général à des vitesses entre Mach 5 and 7. Les Scramjets doivent être poussés à une vitesse adéquate (plus de 4 Mach pour permettre l'allumage

Un pulsoréacteur produit la poussée par une série d'explosions se produisant plus ou moins à la fréquence de résonance du moteur. Dans une des conceptions, de l'air est aspiré par des valves ouvertes à l'avant du moteur et il est chauffé par la combustion du carburant injecté. Les gaz en combustion se dilatent; à mesure qu'ils augmentent la pression, ils ferment les soupapes d'entrée et s'échappent en jet par le conduit d'échappement. Lorsque les gaz d'échappement sont expulsés, la pression dans la chambre de combustion diminue, ce qui permet aux soupapes d'admission avant de s'ouvrir à nouveau et le cycle se répète.



Dessus: Un grand moteur de statoréacteur. (March Field Air Museum) Au milieu: Un moteur de statoréacteur à combustion supersonique réussit un essai à mach 5 dans un dispositif de soufflerie. (Pratt & Whitney/NASA) En bas: Un moteur de pulsoréacteur moderne avec une admission arrière. (Thermojet)

- Chine
- Allemagne
- Israël
- Fédération de Russie
- Suède
- France
- Inde
- Japon
- Afrique du Sud
- États Unis

Production globale



La fonction des valves d'admission est d'empêcher l'inversion d'écoulement à l'admission. Cependant, la prévention de l'inversion de débit peut être accomplie sans l'utilisation de vannes, grâce à l'utilisation appropriée de la conception de la zone du conduit d'entrée et à la compréhension des phénomènes de vagues. En allongeant la longueur du conduit d'entrée ou en utilisant des redresseurs d'écoulement (c.-à-d. des passages moins résistants à l'écoulement dans une direction que dans la direction opposée), les effets de l'inversion du flux peuvent être inhibés. Certaines configurations de jets pulsés sans soupape conservent

également la poussée en tournant le conduit d'admission de 180 degrés vers le flux libre (vers l'arrière au lieu de vers l'avant). Les pulsoréacteurs fonctionnent généralement aux vitesses subsoniques.

Le moteur à cycles combinés turboréacteur/statoréacteur fonctionne comme un turboréacteur de postcombustion jusqu'à ce qu'il atteigne une vitesse de mach élevée, à laquelle le flux d'air est dévié autour du compresseur et dans le dispositif de postcombustion. Le moteur fonctionne alors comme un statoréacteur, la postcombustion faisant office de chambre de combustion du statoréacteur.

Utilisations typiques liées aux missiles: Ces moteurs peuvent être utilisés pour actionner des missiles de croisière et d'autres types de véhicules aériens sans pilote. Les moteurs de statoréacteur et les moteurs à cycle combiné fournissent une vitesse et une performance accrues par rapport aux moteurs de turboréacteur et de turbopropulseur avec un volume et un poids minimum; cependant, ils ne sont pas particulièrement économes en combustible. Les statoréacteurs produisent essentiellement plus de puissance par volume unitaire et offrent généralement une capacité de portée beaucoup et/ou une charge utile plus importante que les moteurs-fusées solides. Les pulsoréacteurs ont des performances relativement médiocres et un rendement du carburant bas, mais ils sont relativement faciles concevoir et fabriquer.

Autres usages: Les moteurs de statoréacteur et les moteurs à cycle combiné (turbo-statoréacteur) ont été utilisés pour propulser des avions pilotés à grande vitesse.

Aspect (à la sortie d'usine): Les statoréacteurs peuvent être montés dans des cosse cylindriques fixées au missile dans divers endroits ou intégrés dans le corps du missile. Ces moteurs ressemblent souvent à un tuyau métallique avec un branchement conique dans l'admission pour commander la circulation d'air et une tuyère en paillettes conique sur l'extrémité opposée. Dans une utilisation sur missile, un statoréacteur typique peut mesurer de 2 à 4,5 m de long pour un diamètre de 0,3 à 1,0 m et peser jusqu'à 200 kg. Un exemple de statoréacteur relativement grand est illustré sur la figure 30 (en haut). Un statoréacteur à combustion supersonique (scramjet) peut ressembler à une simple boîte métallique avec des admissions pointues; un scramjet en cours de développement pour un missile pour alimenter un lanceur aérien est montré sur la figure 30 (milieu). Les pulsoréacteurs sont caractérisés par leur longue cavité cylindrique de résonateur reliée à un mécanisme de commande à bulbe vers l'avant.

Aspect (à l'emballage): Ces moteurs sont emballés comme des moteurs de turboréacteur et de turbopropulseur couverts par l'article 3.A.1 ci-dessus; cependant, ils sont plus susceptibles d'être envoyés dans des caisses en bois ou en métal

Dispositifs pour régler la combustion dans les statoréacteurs, les statoréacteurs à combustion supersonique, les pulsoréacteurs et les moteurs à cycle combiné

Nature et But: Les statoréacteurs, les statoréacteurs à combustion supersonique, les pulsoréacteurs et les

moteurs à cycle combiné sont souvent nécessaires pour pouvoir fonctionner sur une large gamme de vitesses, dont certaines peuvent diminuer les performances du moteur. Des dispositifs qui règlent la combustion par le changement des caractéristiques d'écoulement de l'air et du combustible en vol sont généralement intégrés dans le moteur. Les éléments essentiels d'un système pour régler les statoréacteurs sont les diviseurs de débit, systèmes d'injection de carburant, allumeurs, dispositifs de stabilisation de flamme et ordinateur de contrôle de puissance

Mode de fonctionnement: Le système de contrôle d'un moteur de statoréacteur remplit deux fonctions de base: il maintient les performances moteur voulues pendant tout le vol; et il minimise l'éloignement des performances désirées pendant les coupures.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les dispositifs qui règlent la combustion peuvent faire fonctionner ces moteurs efficacement pendant tout le vol et augmenter ainsi la vitesse et la portée du missile. Ces dispositifs sont généralement spécifiques à l'application du moteur et à la configuration du missile pour lesquelles ils sont conçus.

Autres usages: Les diviseurs de débit, les dispositifs d'injection de carburant et de mesures, et les stabilisateurs de flamme qui se trouvent dans des statoréacteurs sont de conception similaire aux dispositifs qui se trouvent dans des turboréacteurs et des turbopropulseurs à postcombustion. Cependant, les dispositifs ne sont pas interchangeables.

Aspect (sortie d'usine): Les dispositifs de redressement d'écoulement tels que des diviseurs de débit, les plaques de diviseur, les palettes de rotation, les écrans ou les grilles aérodynamiques (fig. 31) réduisent au minimum la déformation du flux d'air et ses effets nuisibles sur la distribution et la combustion de carburant.

Le carburant utilisé dans des statoréacteurs est alimenté à la section de combustion avec l'aide d'une pompe et varié par l'utilisation de dispositifs de dosages tels que des orifices ou des valves. Les injecteurs de carburant dispersent le carburant dans l'air de la section de combustion. Les moteurs de statoréacteurs requièrent un contrôle de carburant (par ordinateur) pour déterminer la position appropriée des dispositifs régulateurs d'écoulement de combustible en fonction de la condition de vol. Il s'agit généralement de systèmes hydromécaniques ou, de plus en plus, d'appareils électroniques.

Les allumeurs pour les statoréacteurs peuvent prendre plusieurs formes. Les statoréacteurs peuvent employer une étincelle électrique, la pyrotechnie, la pyrophorique, ou des injecteurs liquides hypergoliques (s'enflammant spontanément). Des liquides hypergoliques sont injectés dans la région stagnante en aval du dispositif de retenue de flamme. Des quantités de liquide d'allumeur en surplus peuvent être portées pour permettre des redémarrages multiples. Des dispositifs de retenue de flamme sont employés pour stabiliser la flamme produite par combustion et favoriser la combustion additionnelle. Le dispositif de retenue de flamme est conçu pour fournir une région de vitesse réduite à laquelle les produits chauds de combustion sont recyclés au dispositif de retenue de flamme. Ces gaz chauds servent alors de moyens pour mettre à feu le mélange carburant/air frais pendant qu'il passe à côté de la cloison.

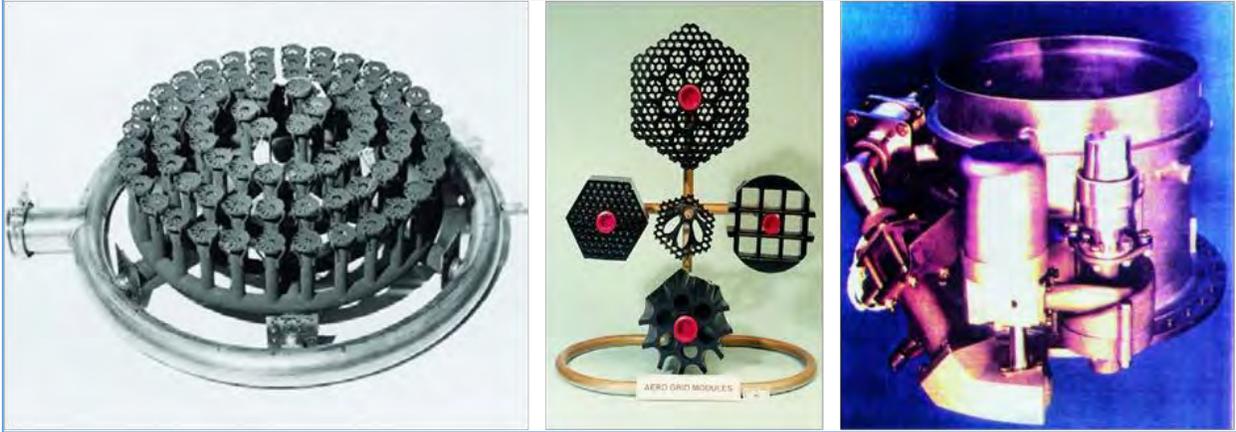


Schéma 31: *Gauche*: Un collecteur d'essence et un injecteur de carburant centrifuge pour un moteur de statoréacteur (Kaiser Marquardt) *Centre*: Diverses grilles aérodynamiques employées pour redresser l'écoulement d'air dans un moteur de statoréacteur (Kaiser Marquardt) *Droite*: Un système de gestion de carburant pour un moteur de statoréacteur (Kaiser Marquardt)

Aspect (à l'emballage): Les grilles aérodynamiques, les chambres de combustion et les dispositifs de retenue de flammes sont intégrés au statoréacteur et sont ainsi expédiés avec le moteur principal. Les exceptions sont les pompes à essence, les allumeurs ou les commandes de carburant, qui peuvent être expédiés séparément et être ensuite montées sur le corps de moteur pendant l'assemblage. Ces pièces sont envoyées dans des caisses en bois ou en carton.

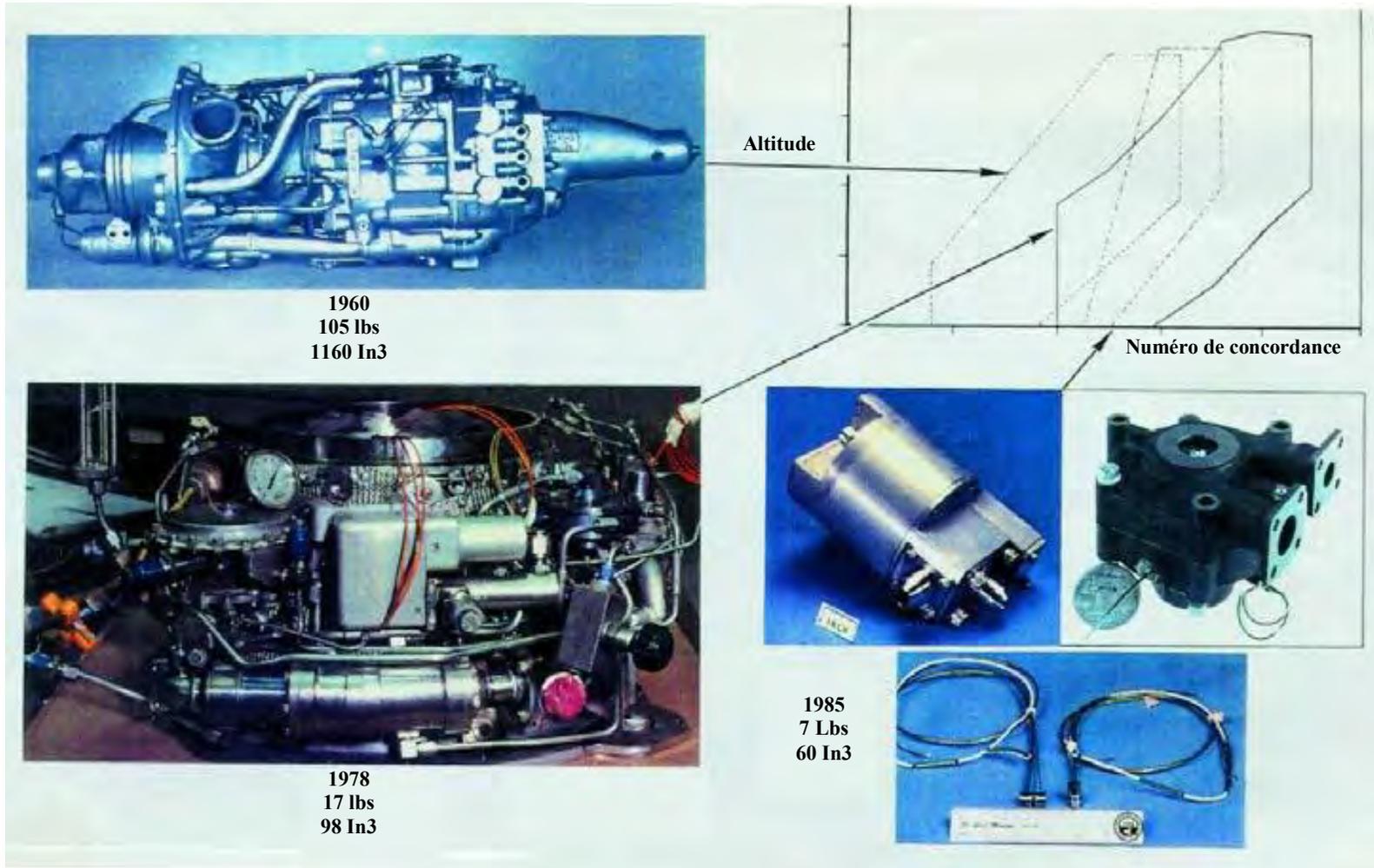


Schéma 32: La technologie de contrôle du carburant Ramjet a beaucoup progressé depuis les années 1960. (Kaiser Marquardt)

3.A.3. Enveloppes de moteurs-fusées, composants d'« isolation » et tuyères, utilisables dans les sous-systèmes mentionnés par les articles 2.A.1.c.1. ou 20.A.1.b.1.

Notes techniques:

Dans l'article 3.A.3. l'«isolation» destinée à être appliquée sur les composants des moteurs-fusées, tels que l'enveloppe, l'admission et les fermetures de l'enveloppe, désigne des feuilles de caoutchouc composite vulcanisé et semi-vulcanisé contenant une matière isolante ou réfractaire. Elle peut être intégrée au moteur sous forme de gaine ou de clapet de décontrainte.

Note:

Voir l'article 3.C.2. pour les matières d'«isolation» en vrac ou en feuilles.

- | | |
|-----------------------|----------------|
| •Brésil | Canada |
| •Chine | France |
| •Allemagne | Inde |
| •Israël | Italie Norvège |
| •Japon | Afrique du Sud |
| •Fédération de Russie | Ukraine |
| •Suède | États Unis |

Production globale



Nature et But: Les enveloppes de moteur-fusée sont les composants structuraux principaux des moteurs-fusées à propergol solide ou hybrides. Les caisses sont les récipients cylindriques du propergol. Ils utilisent des matériaux spéciaux pour résister aux pressions et à la chaleur de la combustion.

Les tuyères de fusée sont des constricteurs de débit avec des structures en forme de cloche, fixées à l'extrémité d'échappement d'un moteur-fusée à propergol solide, ou hybride. Leur conception contrôle l'écoulement des gaz d'échappement chauds pour maximiser la vitesse dans la direction désirée et ainsi améliorer la poussée.

Méthode de fonctionnement: Les enveloppes de moteur-fusée sont des cuves sous pression utilisées pour contenir les gaz chauds produits par le processus de combustion du propergol. Pendant le lancement et le vol d'un missile, les propergols brûlants créent une grande quantité de gaz de combustion. Ces gaz chauds sont dilatés et accélérés par la tuyère du moteur-fusée pour produire de la poussée. Le revêtement intérieur et l'isolation sont des matériaux de faible densité, résistants à la chaleur, qui assurent des couches de protection entre le propergol en feu et le boîtier.

Utilisations typiques liées aux missiles: Tous les moteurs fusée à propergol solide sont équipés d'un carter de moteur et d'un revêtement intérieur ou d'une isolation. De tels étuis sont généralement conçus pour répondre aux besoins spécifiques de missiles particuliers. Les boîtiers, le revêtement intérieur et l'isolation sont essentiels pour maintenir l'intégrité des moteurs fusées à propergol solide.

Les tuyères de fusée gèrent les gaz de combustion pour assurer un fonctionnement efficace des fusées. La bonne conception des tuyères de fusée améliore les capacités de charge utile et de portée du système de missile. Des tuyères sont utilisées sur les grands étages individuels du moteur-fusée qui fournissent la poussée principale pour un missile balistique; sur les petits moteurs de contrôle qui orientent, séparent, ou font tourner vers le haut le missile dans sa trajectoire de vol; et sur les propulseurs qui lancent des véhicules aériens sans pilote, y compris des missiles de croisière.

Autres usages: Les matériaux du carter du moteur sont utilisés dans les applications à haute pression telles que la tuyauterie. Certains matériaux utilisés dans les revêtements intérieurs ou l'isolation des moteurs fusée sont utilisés dans des applications militaires ou commerciales nécessitant des matériaux résistants à la chaleur. Les moteurs de fusée (et donc les tuyères) ont été utilisés pour propulser des avions d'expérimentation pilotés comme les avions de recherche X-1 et X-15.



Schéma 33: *Gauche:* Une sélection d'enveloppes composites de moteur-fusée a été conçue pour soutenir une portée de plates-formes de mission, notamment les étages de fusée du premier, deuxième et troisième étage de lanceurs spatiaux. (ATK) (ATK) *Droite:* Un moteur-fusée (installé dans une enveloppe de fusée) qui fonctionne comme moteur dans le troisième étage d'un lanceur. (ATK)

Aspect (sortie d'usine): Une enveloppe de moteur-fusée est un grand cylindre en acier ou en filaments composites enroulés avec les dômes sphéroïdaux ou ellipsoïdaux aux deux extrémités. L'enveloppe de moteur pour un moteur-fusée de l'article 2.A.1.c. aurait généralement une longueur de plus de 4 m de long et un diamètre de plus de 0,5 m. Chacun des dômes a habituellement un trou; le petit trou à l'extrémité avant est pour l'allumeur, et le grand trou à l'extrémité arrière est pour la tuyère. Une sélection de boîtiers de moteurs fusée présentant ces caractéristiques est illustrée à la Figure 33. Un revêtement intérieur est une fine couche de produits chimiques spéciaux utilisés pour aider le propergol solide à adhérer à l'isolant du boîtier. Le revêtement est généralement appliqué sur l'enveloppe avant le coulage de propergol.

L'isolation interne peut être en place ou non sur l'enveloppe au moment de l'expédition. L'isolation de moteur-fusée est généralement composée de matériaux caoutchouteux synthétique tel que le terpolymère d'éthylène-propylène-diène (EPDM), le polybutadiène, le néoprène, ou le caoutchouc nitrique. Le matériau isolant contient de la silice ou de l'amianté et ressemble à une feuille de caoutchouc gris ou vert d'environ 2 mm à 6 mm d'épaisseur.

La forme d'une tuyère de fusée est soit similaire à celle d'un sablier (convergent-divergent), soit conique s'étendant vers l'arrière à partir de la section étroite de la gorge à l'extrémité arrière du moteur fusée à propergol solide.

La figure 34 montre une vue en coupe d'un moteur fusée à propergol solide et l'endroit où la tuyère s'insère dans l'extrémité arrière du moteur. Les tuyères modernes de moteur-fusée à propergol solide sont presque toujours faites de composites de carbone ou d'un mélange de composites de carbone et de silice phénolique. Les sections en composite carbone sont généralement noires; les sections phénoliques sont souvent de couleur jaunâtre.

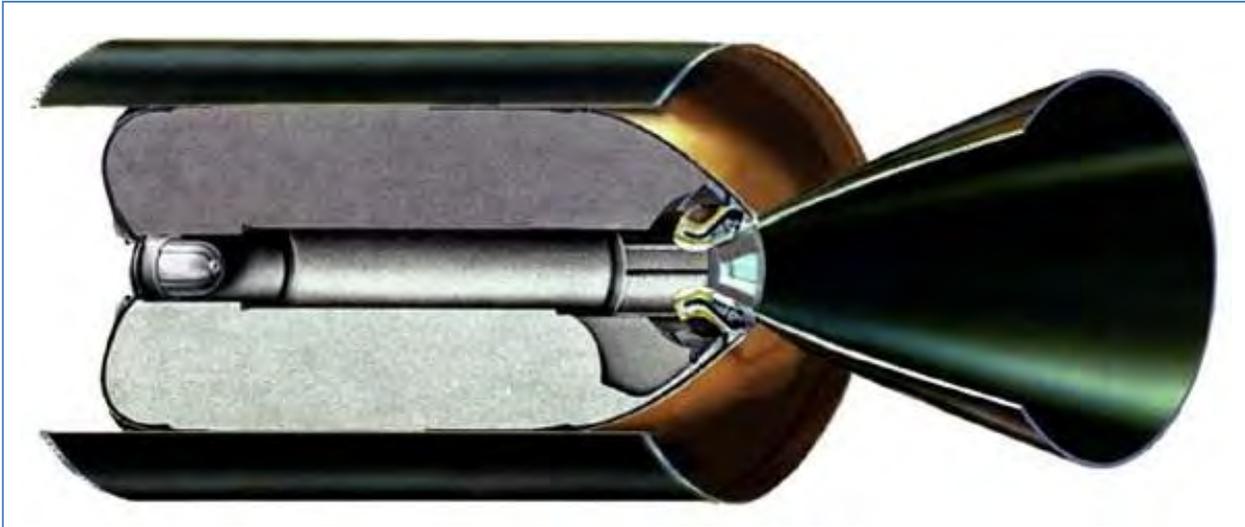


Schéma 34: Vue en coupe d'un moteur-fusée à propergol solide montrant l'endroit où la tuyère de la fusée est insérée. L'allumeur en haut du moteur est également représenté sur la photo. (Aerojet)

La taille de tuyère dépend de la taille et de l'application de la fusée. Les grandes tuyères destinées aux moteurs fusée à propergol solide sont construites de plus en plus comme des tuyères mobiles. Dans une telle application, l'embout avant de la tuyère est muni de dispositifs et d'isolateurs qui lui permettent d'être attachée au dôme arrière du moteur dans un arrangement de boule-en-douille. Ces tuyères peuvent avoir 2 à 4 attaches sur la paroi extérieure sur laquelle les actionneurs de mouvement sont fixés, ou les actionneurs peuvent être connectés près de la gorge. Les tuyères très avancées peuvent être extensibles, ce qui signifie qu'elles sont stockées dans une configuration repliée et étendues à leurs dimensions maximales si nécessaire.



Schéma 35: Un moteur fusée avec une grande tuyère fixe. Le moteur est utilisé sur un lanceur. (ATK)

Aspect (à l'emballage): Les boîtiers de moteur de fusée (Figure 36) sont expédiés dans de grandes caisses en bois ou en métal qui contiennent un emballage en mousse ou un autre matériau pour les protéger des chocs pendant le transport. Les matériaux isolants sont expédiés sur de gros rouleaux d'une largeur maximale de 1 m et d'un diamètre maximal de 0,5 m et scellés dans des boîtes.



Schéma 36: *gauche*: Installation d'isolation à l'intérieur d'une enveloppe de moteur fusée. (Thiokol Corp.) *Droite*: Une enveloppe de moteur fusée sous inspection après application de l'isolation thermique. (Fiat Avio)

Les conteneurs d'expédition pour les tuyères de fusée sont de deux types, selon la taille de la tuyère. Les petites tuyères dont le diamètre de sortie n'excède pas 50 cm ont des conteneurs sur mesure, même des boîtiers métalliques. Les plus grandes tuyères ont généralement des conteneurs d'expédition sur mesure, construits en bois ou en fibre de verre. Des enveloppes protectrices en plastique peuvent également être utilisées, selon les possibilités de contrôle de l'environnement du container d'expédition.

3.A.4. Dispositifs de séparation d'étages, de séparation, et interétages, utilisables dans les systèmes mentionnés par l'article

Note:

Voir également l'article 11.A.5.

Notes techniques:

Les mécanismes d'échelonnement et de séparation mentionnés à l'article 3.A.4. peuvent contenir certains des éléments suivants:

- Boulons, écrous et manilles pyrotechniques
- Serrure à bille;
- Dispositifs de coupe circulaire;
- Charges linéaires souples (FLSC).

- Chine
- Allemagne
- Israël
- Japon
- Fédération de Russie
- Royaume Uni
- France
- Inde
- Italie
- Corée du Nord
- États Unis

Production globale



Nature et But: Des mécanismes de largage assurent la séparation sûre et fiable de deux étages de missiles après la fin de la poussée de l'étage inférieur. Cette séparation est obtenue par des mécanismes de séparation relativement simples, dont les plus courants sont les boulons explosifs et les charges linéaires flexibles (FLSC). Des boulons explosifs relient les étages de missiles entre eux par des entretoises porteuses de charge spécialement construites avec des brides aux extrémités et, au signal, explosent pour permettre aux deux étages de se séparer. Un FLSC intégré est utilisé pour effectuer une coupe circonférentielle à travers la peau et la structure entre les étages afin de permettre leur séparation. Des dispositifs mécaniques,

hydrauliques ou pneumatiques peuvent être utilisés pour séparer les étages. De même, des mécanismes tels que les verrous à billes sont utilisés pour séparer la charge utile de l'étage de missile le plus élevé à la toute fin du vol motorisé.

Un interétage est une structure cylindrique ou tronquée en forme de cône qui relie deux étages de propulsion de missile (Figure 37, à gauche et au centre). Un inter-étage est, en principe, un simple équipement, mais les connexions électriques requises, les mécanismes de séparation et les rapports résistance/poids élevés le rendent assez complexe dans son adaptation à des missiles spécifiques. Une structure d'interétage peut également être un cadre de treillis sans habillage. Le but d'un interétage est de maintenir l'intégrité du missile pendant le lancement et le vol et d'assurer la séparation des étages sans endommager les composants du missile ni effet nuisible sur la vitesse.

Mode de fonctionnement: Lorsque le propergol dans n'importe quel étage de missile est presque épuisé, le sous-ensemble de guidage envoie une commande au matériel de séparation pour qu'il libère l'étage inférieur à court de carburant de l'interétage le reliant à l'étage suivant. Ce signal électronique met feu aux détonateurs

qui déclenchent ensuite des mécanismes de séparation comme les boulons explosifs ou les FLSC qui séparent le raccordement structurel et électrique et larguent l'étage du missile sans carburant. Dans l'éventualité où les forces de résistance à l'avancement atmosphériques ne sont suffisantes pour assurer la séparation, des ressorts de compression mécaniques, hydrauliques, ou pneumatiques sont placés entre les deux étages pour forcer la séparation. Les étages dont le propergol est épuisé peuvent exiger des éjecteurs inversés ou un arrêt de la poussée pour empêcher la collision des étages avant l'étape d'allumage suivante. Lorsque des étages de missile sont joints par interétages à treillis, l'étage supérieur s'allumera avant la séparation de l'étage inférieur. Une fois que les moteurs de l'étage supérieurs fonctionnent, l'interétage se sépare. La force des moteurs de l'étage supérieur aide à séparer les étages sans besoin de dispositifs de séparation.



Schéma 37: Gauche: Une grande section à anneau central en composite conçue pour un lanceur spatial. (ATK) Centre: Une section interétage de fusée typique. (ATK) Droite: Une sélection de boulons explosifs conçue pour une utilisation dans des lanceurs spatiaux et des applications militaires.

Utilisations typiques liées aux missiles: Tous les missiles à plusieurs étages exigent des dispositifs de largage et de séparation. Les missiles à un seul étage avec séparation de têtes explosives exigent également des dispositifs de séparation.

Les interétages sont utilisés pour supporter des charges de poussée de l'étage inférieur aux étages supérieurs des missiles balistiques pendant la mise-à-feu du moteur-fusée. La plupart des conceptions incorporent des revêtements très minces pour réduire la traînée en créant une coiffe aérodynamique lisse entre les étages. Elles incorporent également des dispositifs de séparation employés pour larguer l'étage inférieur usagé. L'élimination d'un étage inférieur usagé améliore la portée du missile (comparée à celle d'un missile à étage simple) mais elle doit être accomplie correctement et avec la synchronisation appropriée pour empêcher les dommages au missile ou la déviation de sa trajectoire.

Autres usages: Les dispositifs prêts à l'emploi tels que les boulons explosifs ont d'autres applications militaires, notamment pour le lancement d'armes ou la séparation des réservoirs de carburant extérieurs des chasseurs. Les FLSC sont généralement employés dans l'industrie pétrolière pour couper de grands tuyaux. Des ressorts de compression sont utilisés dans les pays industrialisés comme amortisseurs et niveleurs de charge.

Aspect (sortie d'usine): Les boulons explosifs ressemblent à de grands boulons mécaniques, mais avec une section de logement à l'extrémité principale. Ils mesurent généralement entre 7 et 10 cm de long pour un diamètre entre 1 et 2,5 cm et pèsent entre 50 et 75 g (voir la figure 37, à droite). La section de logement contient l'artillerie et a des fils ou des câbles menant à l'extérieur de celle-ci à partir des détonateurs internes, qui exigent généralement une source d'alimentation CC. Les mécanismes intégrés de largage emploient presque toujours des FLSC, un tube en métal souple en forme de chevron en plomb ou en aluminium rempli d'explosif, généralement RDX ou HMX. Le FLSC est attaché par des agrafes en métal à l'intérieur de la structure d'interétage maintenant les deux étages de missile ensemble et, une fois déclenché par un petit détonateur, il coupe au travers de la structure et de la peau pour libérer les étages. Le tube est

gris métallique et l'explosif est blanc à blanchâtre-gris. La largeur, la hauteur et le poids par unité de longueur dépendent de l'épaisseur du matériau qu'il doit couper.

Les broches à bille ne nécessitent pas d'explosifs et sont parfois employées dans des systèmes de séparation de charge utile. Intérieurement, elles utilisent un solénoïde/ressort/roulement à billes qui permet le débranchement en douceur désiré; extérieurement, elles ressemblent à des boulons explosifs, c.-à-d., à un boulon de machine avec un logement et deux fils. Les ressorts de compression utilisés pour la séparation d'étage sont à longue course (10 à 20 cm), de petit diamètre (2 à 4 cm) montés dans des boîtes métalliques à plusieurs endroits (trois minimum) dans le bourrelet de l'interétage. Ces boîtes en acier logent les ressorts ou les pistons en acier et ont des brides intégrées qui les attachent à l'interétage. Les pistons hydrauliques et pneumatiques ont les réservoirs à liquides intégrés pour pressuriser les unités quand les étages sont assemblés.

Un interétage est une structure conique ou cylindrique généralement construite à partir de composite graphite du même diamètre extérieur que les étages qu'il relie (voir la figure 38). Il a des armatures de liaison à chaque extrémité et aux endroits prévus pour les dispositifs de séparation à une extrémité. Ses supports structuraux sont visibles à l'intérieur des parois structurelles et des anneaux d'extrémité ou des armatures utilisées pour le relier aux étages du missile. La longueur d'un interétage est généralement égale à environ la moitié du diamètre extérieur de la tuyère du moteur sur l'étage au-dessus de celui-ci. Comme cela est décrit plus haut, un interétage peut également être un cadre à treillis ouvert sans habillage.

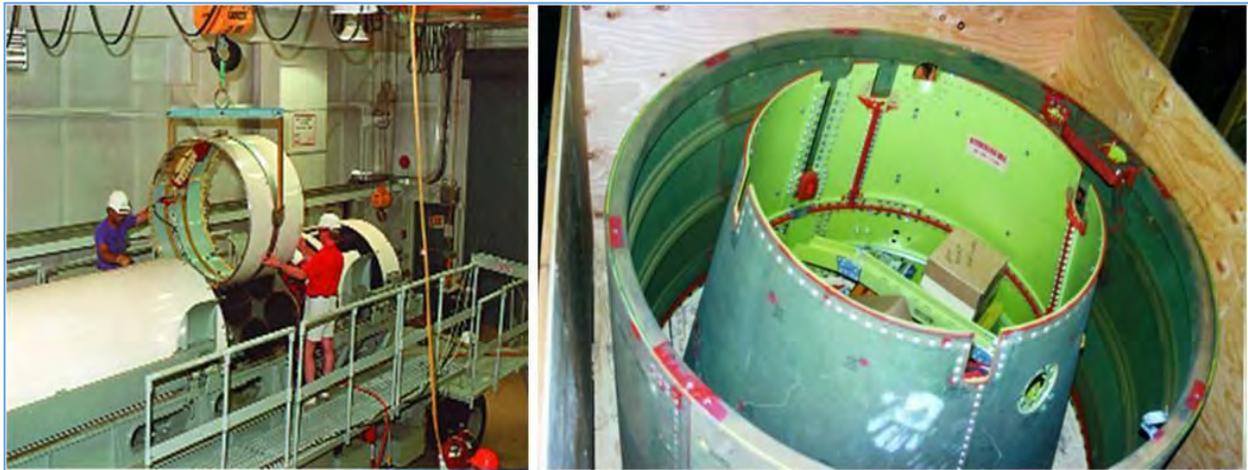


Figure 38 *Gauche*: Un interétage positionné pour l'attachement. (Manuel annexe de l'équipement, logiciel et technologie du MTCR, 3ème Edition (Mai 2005)) *Droite*: Deux interétages dans leur conteneur d'expédition. (Ibid)

Aspect (à l'emballage): Les boulons explosifs sont expédiés dans de simples boîtes en carton remplies de mousse ou de tout autre emballage pour atténuer les effets des chocs. Les boîtes expédiées correctement portent les symboles «Danger-Explosifs» ou «Danger-Artillerie» et sont expédiés selon les restrictions régissant les matériaux explosifs. Les FLSC sont généralement expédiés en longueurs variables dans des boîtes en bois doublées et protégées. Elles doivent être marquées avec les mêmes étiquettes de «Danger» car elles sont sujettes aux mêmes restrictions d'expédition que n'importe quelle autre artillerie. Les broches à bille peuvent être emballées et expédiées sans restriction d'artillerie et ne nécessitent aucun dispositif ni étiquette de distinction sur leur emballage. Les ressorts de compression sont expédiés dans un état non comprimé dans des boîtes en carton. Les interétages sont généralement expédiés dans des containers en bois sur mesure de l'installation industrielle vers l'intégrateur d'étage de missile.

3.A.5. Systèmes de commande de propergol liquide et en suspension (y compris les combustants) et leurs composants spécialement conçus, utilisables avec les systèmes mentionnés par l'article 1.A., conçus ou modifiés pour fonctionner en ambiance vibratoire de plus de 10 g efficaces (rms) entre 20 Hz et 2 kHz.

Notes:

1. Les seules servovalves et pompes mentionnées par l'article 3.A.5. sont les suivantes:
 - a. Servovalves conçues pour des débits de 24 litres par minute ou plus, sous une pression absolue égale ou supérieure à 7 MPa et dont l'actionneur a un temps de réponse inférieur à 100 ms.
 - b. Pompes pour propergols liquides dont l'arbre tourne à une vitesse supérieure à 8,000 rpm ou dont la pression de sortie est supérieure ou égale à 7 MPa.
 - c. Turbines à gaz, pour turbopompes à propergol liquide, dont le régime de l'arbre est égal ou supérieur à 8 000 tr/min en mode de fonctionnement maximum
2. Les systèmes et composants mentionnés à l'article 3.A.5. peuvent être exportés s'ils font partie d'un satellite.

- Chine
- Allemagne
- Israël
- Japon
- Fédération de Russie
- Royaume Uni
- France
- Inde
- Italie
- Corée du
- États Unis



Nature et But: Les systèmes de contrôle du propergol gèrent la pression et le volume du propergol liquide, en suspension ou en gel qui s'écoule à travers la plaque de l'injecteur et dans la chambre de combustion d'un moteur fusée. Les réservoirs à haute pression ou les turbopompes forcent les propergols liquides ou en suspension des réservoirs de carburant et d'oxydant à entrer dans la chambre de combustion à haute pression. Les systèmes de réservoirs à haute pression comprennent les réservoirs eux-mêmes, les servovalves et les conduites d'alimentation afin de maintenir un débit de propergol continu et exempt de vides pendant l'accélération élevée du lancement du missile. Les turbopompes sont

utilisées pour augmenter la pression du propergol jusqu'aux niveaux requis pour les moteurs à forte poussée et à haut débit. Les servovalves peuvent être utilisées pour contrôler la vitesse de la turbopompe et donc la poussée.

Mode de fonctionnement: Les systèmes de réservoir sous pression emploient un réservoir haute pression, souvent appelé une «bouteille,» qui porte un gaz de chasse comme de l'azote ou de l'hélium jusqu'à à 70 000 kPa. Le gaz de chasse est libéré dans les réservoirs de propergol par un régulateur qui ajuste le niveau de pression. Le gaz de chasse pousse alors le carburant et le comburant par les soupapes de commande vers l'injecteur à la tête de la chambre de combustion. La poussée est réglée par l'ouverture et la fermeture des soupapes de commande en fonction de la quantité appropriée.

Les servovalves servent à assurer une réponse quasi-exacte grâce au système de contrôle de rétroaction. Leur utilisation est presque essentielle au contrôle des systèmes haute puissance comme les systèmes avancés de propulsion à propergol liquide.

Ce sont des dispositifs électromécaniques complexes qui contrôlent l'écoulement du propergol qui les traversent en équilibrant les forces des deux côtés d'un piston de déclencheur qui règle la position de l'aiguille d'injection de la valve. En général, le signal de contrôle déplace un petit piston (amplificateur hydraulique) qui accepte une pression variable d'un côté du piston de déclencheur. Il se déplace jusqu'à ce

qu'un nouvel équilibre soit établi à un nouveau débit. Les servovalves sont généralement les plus coûteuses, les plus sensibles et les plus à même de tomber en panne par rapport aux autres valves, car leurs orifices peuvent être facilement obstrués par des contaminants.

Les turbopompes poussent le propergol dans la chambre de combustion à des pressions jusqu'à cinquante fois plus importantes que la pression à laquelle le propergol est normalement stocké. Des turbopompes sont actionnées en brûlant une partie du propergol de fusée dans un générateur de gaz; ses gaz d'échappement actionnent une turbine entraînant la pompe. Les turbopompes pour missiles tournent généralement entre 8000 et 75 000 t/mn. La poussée de moteur est réglée en changeant l'écoulement de propergol dans le générateur de gaz (avec une servovalve parfois) et en changeant de ce fait la vitesse de turbine du turbopropulseur, ce qui modifie l'écoulement de propergol dans la chambre de combustion.

Utilisations typiques liées aux missiles: Tous les moteurs-fusées à propergol liquides emploient un système d'alimentation de propergol par pression ou par pompe. Les systèmes alimentés par pression peuvent être spécifiquement conçus pour un moteur particulier ou être assemblés à partir de composants à double utilisation. En général, les turbopompes sont spécifiquement conçues pour un moteur particulier.

Autres usages: Les servovalves sont communes dans des systèmes de contrôle en circuit fermé traitant des liquides. Les nombreuses applications civiles incluent la commande des systèmes de carburant et de circuit hydraulique dans des avions pilotés. Les autres applications impliquent le traitement de précision des liquides dans l'industrie chimique, par exemple. Les pompes de forage à turbine sont populaires dans les secteurs du pétrole et des puits profonds.

Aspect (à la sortie d'usine): Les servovalves ressemblent aux valves de marche-arrêt ou aux cylindres de ligne avec de petits tubes pour l'entrée et la sortie du propergol dans un boîtier en métal. La plupart des valves et boîtiers sont en acier inoxydable. Cependant, ces valves sont plus grandes que les valves marche-arrêt parce qu'elles sont munies d'un dispositif de rétroaction de position. Une soupape de commande de propergol liquide moderne est illustrée sur la figure 39 (à gauche) et une plaque d'injecteur de propergol liquide est montrée sur la figure 39 (au centre).



Schéma 39: *Gauche:* Une vanne de commande à propergol liquide moderne (Allied Signal Aerospace) *Centre:* Une plaque d'injecteur de propergol liquide. (Boeing) *Droite:* Un ensemble de turbopompe pour un lanceur spatial. (Hamilton Sundstrand)

Les turbopompes sont généralement emballées dans des boîtiers métalliques et sont dimensionnées pour des applications spécifiques. Bien qu'elles ressemblent aux turbocompresseurs d'automobiles ou de camions, elles sont beaucoup plus grosses et peuvent peser plusieurs centaines de kilogrammes. Les turbopompes pour moteurs fusée à propergol liquide peuvent avoir une pompe et une turbine distinctes pour chaque propergol (p. ex. pour le carburant et pour l'oxydant), ou une seule unité qui combine les deux pompes et le mécanisme d'entraînement de la turbine. Un ensemble turbopompe pour un lanceur spatial est représenté

3 | Manuel d'annexe du régime de commande de technologie de missile (MTCR) - 2017

en figure 39 (droite). Les nervures des logements sont typiques des turbopompes parce qu'elles fournissent la force adéquate et sont légères; toutefois, certaines turbopompes ont les logements métalliques lisses.

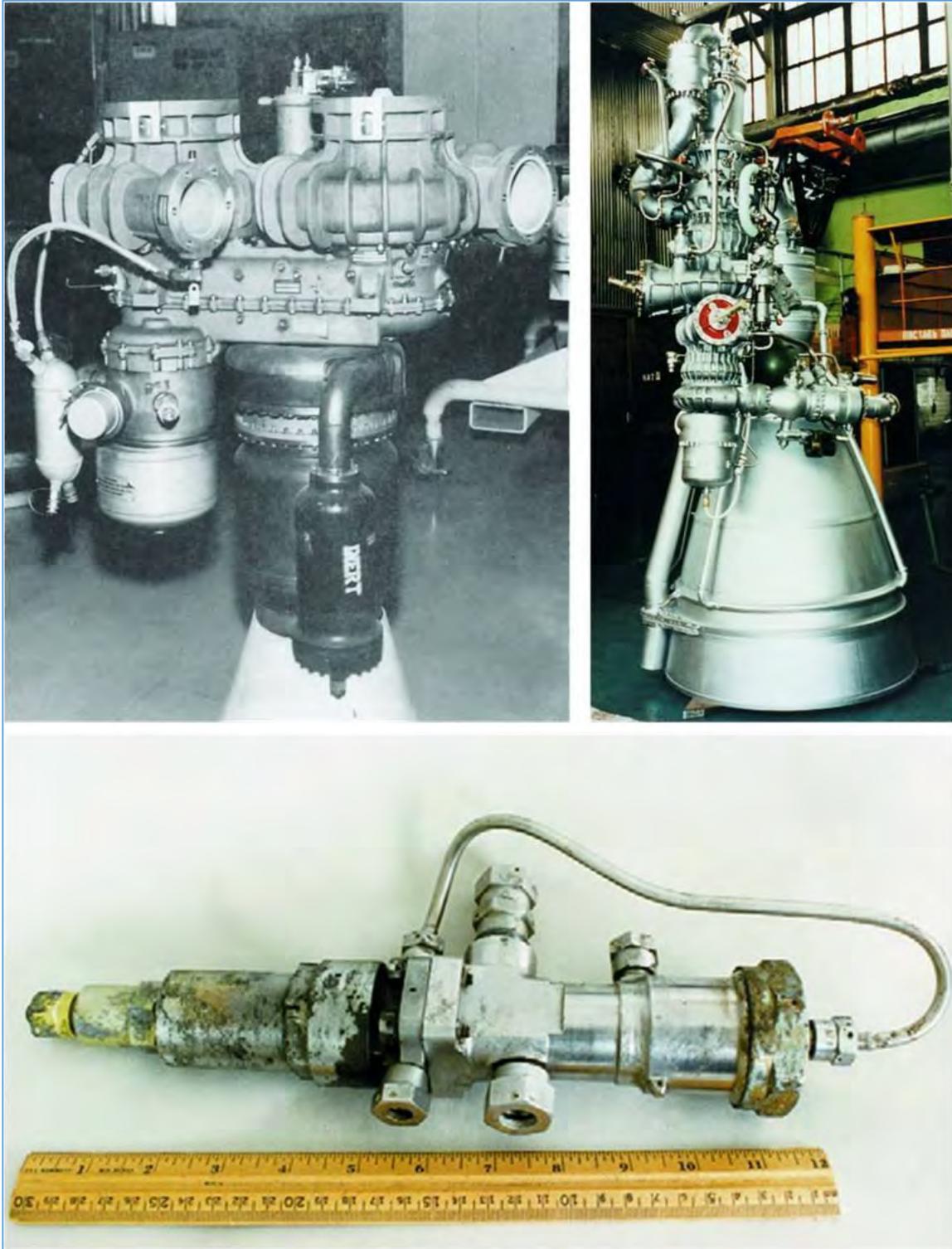


Schéma 40: *En haut à gauche*: Un assemblage de turbopropulseur multiaxe. (Aerojet) *en haut à droite*: Une turbopompe à axe simple. (Aerojet) *en bas*: Une servovalve de missile Scud. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005))

Aspect (à l'emballage): Des servovalves sont emballées comme les autres valves, particulièrement les valves marche-arrêt. Les entrées et sorties sont branchées pour empêcher la contamination. Les valves sont placées dans des sachets en plastique fermés sous vide ou des sachets en plastique scellés remplis d'azote ou d'argon pour que les valves restent propres et sèches. Elles peuvent parfois être mis en sac double et sont généralement expédiés à l'intérieur d'un container, souvent une caisse en aluminium avec un revêtement de mousse. Les petites turbopompes sont souvent emballées et expédiées dans des containers d'expédition en aluminium. Selon la taille et les dispositifs d'interface, un grand turbopropulseur peut être emballé et expédié dans une caisse d'expédition sur mesure, avec supports de pompe incorporés. Des turbopompes peuvent également être expédiées sous forme de kit démonté dans lequel des composants séparés sont emballés pour assemblage après réception.

3.A.6. Composants spécialement conçus pour les moteurs-fusées hybrides mentionnés dans l'article 20.A.1.b.1.

Nature et But: Les moteurs fusées hybrides utilisent des propergols solides et liquides, habituellement un combustible solide et un oxydant liquide. Puisque l'écoulement du comburant liquide peut être commandé, les moteurs hybrides peuvent être ralentis ou arrêtés complètement puis remis en marche. Les moteurs-fusée hybrides associent ainsi une partie de la simplicité des moteurs-fusée à propergol solide à la contrôlabilité des moteurs-fusées à propergol liquide.



Schéma 41: Un moteur fusée à sonde hybride (NASA)

Mode de fonctionnement: Les moteurs-fusée hybrides utilisent soit des réservoirs pressurisés soit des pompes pour envoyer le comburant dans la chambre de combustion, qui est revêtue de combustible solide. Les pompes sont entraînées par un générateur à gaz alimenté par son propre bloc de carburant ou une autre source de carburant. Le comburant liquide brûle le combustible solide à l'intérieur de la chambre creuse et les gaz chauds en expansion sont expulsés par la tuyère à une vitesse supersonique pour assurer la poussée. Comme dans un moteur-fusée à propergol solide, l'enveloppe extérieure de la chambre de combustion est protégée contre une grande partie de la chaleur de combustion par le carburant lui-même parce qu'il brûle de l'intérieur vers l'extérieur.

- Japon
- Fédération de Russie
- République de Corée
- États Unis

Production globale



Utilisations typiques liées aux missiles: Les moteurs-fusée hybrides peuvent être utilisés pour les lanceurs spatiaux, fusées-sondes et missiles balistiques.

Autres usages: N/A

Aspect (sortie d'usine): Un moteur fusée hybride a un injecteur de comburant monté au-dessus de l'enveloppe haute pression du moteur et une tuyère convergente/divergente dans le fond. L'injecteur a des valves et des tuyaux d'un réservoir sous pression ou d'un réservoir

et d'une pompe associée. La chambre de combustion est généralement fabriquée en acier ou en titane et peut être noire ou grise, ou en graphite à filaments enroulés ou en verre-époxy, qui est généralement jaune ou brun. La chambre est revêtue de propergol solide épais selon diverses configurations et ressemblant à un cylindre simple avec un centre creux, des cylindres concentriques, ou des roues de chariot. Des tuyères sont faites de matériau ablatif, qui est souvent brunâtre, ou de métaux à hautes températures et elles peuvent avoir des insertions à hautes températures dans leurs gorges (voir la figure 41).

Aspect (à l'emballage): Les moteurs-fusée hybrides peuvent être emballés entièrement ou partiellement, avec les réservoirs et le matériel associé emballés séparément de la chambre de combustion et les tuyères attachées. Les unités entièrement assemblées sont emballées dans des caisses en bois; les composants sont emballés dans des caisses en bois ou des cartons lourds. Les caisses marquées légalement portent la marque d'avertissements aux explosifs ou aux risques d'incendie parce que les missiles sont remplis de propergol solide. Toutefois, parce que les moteurs ne contiennent que du carburant et aucun comburant, ils sont moins dangereux que les moteurs-fusée à propergol solide normaux.

3.A.7. Roulements radiaux à billes dont les tolérances spécifiées sont toutes conformes à la classe de tolérance 2 de la norme ISO 492 (ou à la classe de tolérance ABEC-9 des normes ANSI/ABMA 20 ou à d'autres normes nationales équivalentes), ou sont supérieures, et qui réunissent toutes les caractéristiques suivantes:

- a. Un diamètre intérieur (alésage) de la bague intérieure compris entre 12 et 50 mm;
- b. Un diamètre extérieur de la bague extérieure compris entre 25 et 100 mm; et
- c. Une largeur entre 10 et 20 mm.

Nature et But: Les roulements à billes radiaux produits selon de hautes caractéristiques ont d'importantes applications aérospatiales, tout particulièrement dans les turbopompes des fusées utilisées dans des missiles et également dans tous les types de turbomoteurs propulsant les véhicules aériens.

Mode de fonctionnement: Les roulements à billes radiaux (parfois connus sous le nom de cages de roulement), sont communs dans tous les types de machines. Les roulements de ce type permettent aux pièces mobiles des machines de fonctionner sans à-coup et avec un frottement minimal. Les cages de roulements sont les logements circulaires en métal, formant un anneau intérieur et un anneau extérieur contenant les billes. Une des cages est généralement maintenue en position fixe dans une machine tandis que l'autre soutient un axe de rotation. Les billes contenues entre les cages sont libres de tourner avec la course soutenant l'axe mobile. Les roulements à billes radiaux supportent des charges radiales, de poussée, de moment, de poussée réversibles ou combinées.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les roulements à billes radiaux ont une grande portée d'applications dans les systèmes associés aux missiles, notamment: les turbopompes de moteurs-fusée, tous les axes principaux et les commandes auxiliaires de turboréacteur, moteurs de turboréacteur à double flux et de turbopropulseur, et les boîtes de vitesse de réduction de turbopropulseur.



Schéma 42: Les roulements à billes radiaux sont fabriqués selon la classe de tolérance ISO 492 exigée par l'article 3.A.7. (GMN)

- Argentine
- Canada
- France
- Inde
- Italie
- Malaisie
- Pologne
- Fédération de Russie
- Suède
- Royaume Uni
- Brésil
- Chine
- Allemagne
- Indonésie
- Japon
- Mexique
- Roumanie
- Singapour
- Thaïlande
- États Unis

Production globale



Autres usages: Les roulements à billes radiaux de hautes spécifications ont une large gamme d'applications dans les machines à usages industriels, de transport, agricoles, fabrication, médicaux et autres.

Aspect (sortie d'usine) Construction métallique double anneau, de couleur argentée, avec finition lisse, parfois polie. Les billes sont généralement visibles entre les cages de roulement et les cages tournent librement (voir la figure 42).

Aspect (à l'emballage): En général, les roulements à billes radiaux sont emballés dans de petites boîtes en carton portant la marque du fabricant.

3.A.8. Réservoirs de propergol liquide ou gélifié spécialement conçus pour les propergols soumis à un contrôle à l'article 4.C. ou d'autres propergols liquides ou gélifiés utilisés dans les systèmes mentionnés à l'article 1.A.1.

- Chine
- Inde
- France
- Allemagne
- Japon
- États Unis
- Fédération de Russie

Production globale



Nature et But: Les moteurs fusées à propergol liquide consomment assez rapidement de l'oxydant et du carburant, il est donc nécessaire de pressuriser les réservoirs de liquide qui transportent les propergols en vol, afin d'alimenter les moteurs en liquide à haut débit. La grande majorité de la masse d'un étage de fusée est constituée de propergol, car la performance de la fusée (portée et charge utile) dépend de l'obtention d'un rapport élevé entre la masse de propergol et la masse non propergol. Par conséquent, un réservoir de propergol liquide est spécialisé pour être très léger par rapport au volume contenu. Afin de résister aux pressions internes avec une grande efficacité structurelle, les réservoirs de fusée sont des cylindres avec des extrémités bombées, parfois sphériques ou parfois coniques, et des variations de ces formes.

Sur un étage de fusée à propergol liquide pour missiles balistiques ou lanceurs spatiaux, des réservoirs séparés sont utilisés pour transporter l'oxydant et du carburant, qui ne doivent pas entrer en contact avant d'atteindre la ou les chambres de combustion du moteur. Les plus grands étages de fusées utilisent de l'oxygène liquide pour brûler soit du kérosène, soit de l'hydrogène liquide.

De tels étages avec ces propergols sont généralement utilisés pour les lanceurs spatiaux et, éventuellement, pour les missiles balistiques. Cependant, l'oxygène et l'hydrogène sont très froids comme des liquides, de sorte que des pertes par évaporation se produisent même avec l'isolation, et du givre s'accumule à l'extérieur des réservoirs. Les missiles balistiques sont plus susceptibles d'utiliser des propergols visés à l'article 4.C. de l'annexe du MTCR, qui peuvent être chargés longtemps à l'avance et stockés dans le missile pour être toujours prêts au tir. Par exemple, l'acide nitrique et le tétr oxyde

d'azote, le kérosène ou les carburants à base d'hydrazine.

La figure 43 montre deux exemples très différents de réservoirs de propergol, tous deux contrôlés par l'article 3.A.8. Sur la gauche se trouve un réservoir de propergol individuel d'environ un mètre de diamètre, approprié pour un étage supérieur ou un engin spatial. Le côté droit de la Figure 43 est un schéma d'une paire de réservoirs intégrés pour un lanceur spatial. L'oxydant de 8,4 mètres de diamètre et les réservoirs de carburant sont reliés entre eux par une structure inter-réservoir (attention aux ondulations de rigidité en l'absence de pression interne). Bien que l'avant de ce réservoir d'oxydant particulier soit conçu pour le vol aérodynamique, les réservoirs de missiles ont généralement un autre étage ou une charge utile au-dessus du réservoir avant (supérieur).



Schéma 43 à Gauche: Un réservoir de propergol liquide typique développé pour une portée d'applications spatiales. (EADS) **Droite:** Un diagramme du réservoir externe employé par un moteur de lanceur de véhicule spatial, montrant les réservoirs de comburant et de carburant séparés. (NASA)

Si les fusées à propergol solide sont plus faciles à stocker et à transporter dans n'importe quelle orientation, elles sont essentiellement toujours prêtes au lancement, les réservoirs de propergol liquide et les systèmes de fusée dont elles sont un composant essentiel offrent certains avantages par rapport aux systèmes à propergol solide. Les propergols liquides produisent des vitesses d'échappement des fusées plus élevées, ce qui réduit la masse du véhicule ou augmente l'autonomie et le potentiel de charge utile. Les combustibles liquides peuvent également être étranglés, arrêtés et réactivés selon les objectifs de la mission, ce qui permet de manipuler et de contrôler les performances globales du système de fusée de façon beaucoup plus efficace. Les sous-composants nécessaires pour atteindre ce niveau de contrôle rendent également les réservoirs de propergol liquide et les moteurs extrêmement complexes.

Mode de fonctionnement: Pour être légers, les grands réservoirs des étages principaux de fusées ont tendance à fonctionner à des pressions très basses, inférieures à 0,35 MPa (50 psi). Ce niveau de pression est suffisant pour alimenter le type de moteurs fusée qui utilisent des pompes pour augmenter la pression, généralement au-dessus de 7 MPa (1 000 psi) de sorte que les chambres de combustion et les tuyères peuvent être relativement compactes. Par contre, les petits réservoirs pour les étages supérieurs et les engins spatiaux sont généralement conçus pour fonctionner de 2 à 4 MPa (300 à 600 lb/po2) afin d'alimenter directement les chambres de combustion des fusées sans pompes. Ce dernier mode de fonctionnement "alimenté par la pression" compromet également les pressions moyennes pour les réservoirs et les moteurs.

Un cas particulier est celui des propergols en gel qui ont une viscosité élevée, de sorte que des pressions élevées sont nécessaires pour pousser les matériaux hors du réservoir. Bien que les réservoirs de propergol liquide doivent résister à la pression interne, ils ne sont généralement pas appelés "réservoirs sous pression" dans l'ingénierie des fusées, un terme habituellement réservé aux conteneurs qui stockent les gaz à des pressions beaucoup plus élevées.

Au fur et à mesure que les propergols liquides sont expulsés des réservoirs en vol, la pression est maintenue en remplissant le volume d'ullage en expansion avec des gaz non réactifs appelés «gaz de chasse». Par exemple, l'oxygène liquide peut être déplacé par la vapeur d'oxygène ou par l'hélium qui a moins de masse. Une considération opérationnelle importante tient au fait que le propergol liquide doit atteindre la tuyauterie de sortie dans des conditions d'accélération et de gravité variables. Le liquide se dépose vers le fond des réservoirs de l'étage principal en vol, mais les réservoirs peuvent avoir besoin de panneaux internes pour réduire le ballonnement du liquide. Pour les étages supérieurs ou pour manœuvrer les véhicules de rentrée, les réservoirs peuvent avoir besoin de délivrer du liquide dans des conditions d'accélération plus importantes, notamment en chute libre (microgravité). Ces réservoirs utilisent des "dispositifs de gestion du propergol" (PMD) de sorte que le liquide, et non le gaz de pressurisation, atteint les moteurs par l'orifice de sortie du liquide du réservoir. Les PMD comprennent des dispositifs de tension superficielle et des vessies ou diaphragmes flexibles pour séparer positivement les phases liquide et gazeuse.

Les oxydants liquides couplés et les carburants sont connus sous le nom de bipropulseurs. Certains petits systèmes de fusée utilisent un seul réservoir de propergol ou de monopropulseur, comme l'hydrazine. Au lieu de la combustion, les monopropulseurs libèrent de l'énergie chimique lors de leur décomposition, généralement déclenchée par un catalyseur dans le moteur. L'hydrazine se décompose en hydrogène, azote et gaz ammoniac, dont le catalyseur est une céramique d'alumine granulaire recouverte d'iridium métallique. Un autre exemple est le peroxyde d'hydrogène, qui se décompose en oxygène et en eau (sous forme de vapeur). Les monopropulseurs offrent la simplicité d'un système de propulsion, mais ils sont moins efficaces que les bipropulseurs.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les réservoirs spécialement conçus sont l'élément structural principal de chaque fusée à propergol liquide. La plus grande partie de la masse de chaque étage de missile est constituée de propergol, de sorte que la plus grande partie de la longueur de la fusée est constituée par les réservoirs, généralement deux par étage reliés par une structure inter-réservoirs. En comparaison, les moteurs de fusée à propergol liquide occupent généralement une petite fraction de la longueur des étages, au moins pour les premier et deuxième étages. Les étages supérieurs des missiles balistiques sont globalement plus petits, de sorte que leurs réservoirs sont relativement plus courts par rapport au diamètre du missile, potentiellement sphériques.

Les plus gros lanceurs spatiaux utilisent des propergols liquides pour leurs étages principaux, d'où l'importance des réservoirs de propergols liquides spécialisés. Les réservoirs de propergol liquide peuvent être utilisés en manœuvrant des véhicules de rentrée, auquel cas les petits réservoirs peuvent être internes, configurés différemment d'un étage.

Autres usages: De petits réservoirs de propergol liquide sont utilisés dans de nombreux satellites, engins spatiaux à vocation scientifique et véhicules d'exploration spatiale.

Aspect (sortie d'usine): Les réservoirs de propergol pour les grands étages principaux des fusées sont de longs cylindres, généralement d'un à plusieurs mètres de diamètre, avec des parois métalliques de quelques à plusieurs millimètres d'épaisseur. Leur longueur peut varier d'une ou deux à environ dix fois le diamètre, en fonction de leur utilisation pour un étage inférieur (long) ou supérieur (court). Ces grands réservoirs sont souvent faits d'alliages d'aluminium, et parfois d'acier. Les parois des réservoirs de vol sont suffisamment minces pour qu'un tapotement avec les mains ou les doigts ait tendance à produire un son creux ou un tintement grave. Souvent, le métal fin est

nu, mais il peut être peint. Une couche d'isolation sur du métal fin modifierait l'effet acoustique.

Les réservoirs de propergol pour les étages supérieurs des fusées, les véhicules de manœuvre et les satellites peuvent avoir un diamètre de 0,1 mètre à plus de 1 mètre. Généralement, les réservoirs de cette taille fonctionnent à des pressions plus élevées que les réservoirs des étages de fusées de grande taille. Les petits réservoirs sont souvent faits d'alliages de titane, parce que les pressions plus élevées imposent des matériaux à haute performance et la petite taille rend le titane relativement abordable. De plus, les petits réservoirs ont tendance à avoir des longueurs qui ne dépassent pas de beaucoup leur diamètre, y compris des formes sphériques qui optimisent le volume par masse.

Certains réservoirs utilisés pour la propulsion des fusées sont de construction composite, généralement en fibre de carbone et en résine époxy. Leur aspect est noir brillant ou gris foncé. La plupart des réservoirs ayant une telle apparence ne sont pas des réservoirs de propergol liquide, mais plutôt des réservoirs sous pression pour des gaz comme l'hélium ou l'azote. Certaines applications spécialisées utilisent la construction composite pour les réservoirs de propergol liquide. Les réservoirs sous pression composites pour gaz sont généralement conçus pour des pressions bien supérieures à 10 MPa (1450 psi) et leurs parois sont relativement épaisses, recouvertes de nombreuses couches de fibres de carbone. Les réservoirs composites pour liquides sont généralement conçus pour des pressions bien inférieures à 10 MPa. Les réservoirs de liquide sont légers (voir les numéros ci-dessous), tandis que les réservoirs de gaz sous pression sont beaucoup plus lourds.

Aspect (à l'emballage): Les réservoirs de vol sont effectivement fragiles et doivent donc être traités avec une grande précaution pendant et après leur fabrication. Les réservoirs de propergol sont des composants critiques coûteux de toutes les fusées et, à ce titre, sont expédiés dans des conteneurs spécialement conçus, souvent munis de supports antichocs et d'entretoises internes qui empêchent tout mouvement en route. Les grandes citernes sont transportées sur des véhicules spéciaux, par exemple des semi-remorques sur mesure avec peu ou pas d'emballage supplémentaire. Les réservoirs de vol pour propergols liquides sont très légers par rapport à leur volume (5 à 50 kg par mètre cube), de sorte que le poids d'expédition est généralement dominé par les conteneurs et/ou les accessoires fixes.

3.A.9. «Systèmes de turbopropulseur» spécialement conçus pour les systèmes mentionnés par les articles 1.A.2. ou 19.A.2. et les composants spécialement conçus pour ceux-ci, d'une puissance supérieure à 10 kW (non installés au niveau de la mer et en utilisant l'atmosphère standard OACI), à l'exception des moteurs certifiés civils.

Notes techniques:

Aux fins de l'article 3.A.9, un «système de turbopropulseur» comprend tous les composants suivants:

a. Turbomoteur; et

b. Système de transmission servant à transférer la puissance à une hélice.

Nature et But: Les systèmes de moteur de turbopropulseur sont des centrales aérobies de turbine à gaz fonctionnant au carburant kérosène d'aviation (AVTUR) et entraînant un propulseur à hélice par une boîte de vitesse de réduction.

Mode de fonctionnement: Les moteurs de turbopropulseur fonctionnent selon le même principe que le turboréacteur, prenant l'air d'une entrée et augmentant sa pression avec un compresseur, mélangeant l'air comprimé à du carburant dans une chambre de combustion et brûlant celui-ci. Les gaz en expansion passent par une turbine qui entraîne le compresseur. Tant que la turbine et le compresseur sont reliés par un axe qui passe par le centre du moteur, le processus est continu.

- Canada
- République Tchèque
- Fédération de Russie
- Ukraine
- États Unis

Production
Globale



Dans un turbopropulseur, la turbine est également reliée au propulseur par une boîte de vitesse. Comparé à un moteur de turboréacteur, qui dépend de l'énergie cinétique élevée des gaz expulsés en jet par la tuyère à l'arrière, la turbine du turbopropulseur capture plus d'énergie d'expansion produite par la combustion afin d'entraîner le propulseur. Pour ce faire, la turbine conçue pour un moteur de turbopropulseur a des étages supplémentaires par rapport à un turboréacteur et le turbopropulseur produit seulement une poussée de jet résiduelle faible. Un moteur de turbopropulseur peut être de conception à deux arbres et dans ce cas, le propulseur est entraîné par la turbine basse pression.

En termes simples, un turbopropulseur déplace une grande masse d'air frais lentement hors du moteur par un propulseur relativement lent, comparé à un turboréacteur où une plus petite charge de gaz chauds passe rapidement et bruyamment par le moteur. Le turbopropulseur convient mieux aux véhicules aériens voyageant à des vitesses allant jusqu'à 400 M/H (645 km/h, 378 nœuds). Jusqu'à cette vitesse, le turbopropulseur est remarquablement économe en carburant et il est bien adapté pour les vols longs courriers ou les vols en résistance élevée. Il présente des avantages de performance évidents par rapport aux moteurs à échange d'essence fonctionnant dans ce régime et il est susceptible d'être plus fiable et d'avoir une plus longue durée de vie qu'un moteur à piston.

Tous les turbopropulseurs ont besoin d'un réducteur de vitesse à rapport élevé pour abaisser la vitesse de la turbine à un régime utilisable par l'hélice, et ce réducteur est intégré au moteur. Le propulseur est une unité distincte, généralement de conception avancée, de type à fréquence variable et à vitesse constante, qui repose sur un mécanisme autonome pour modifier le pas des pales à mesure que la puissance est appliquée et pour contrôler la vitesse de rotation de l'hélice. Le système complet de moteur de turbopropulseur avec son propulseur et sa boîte de vitesse est par conséquent plus cher à fabriquer qu'un turboréacteur et est considéré comme bien moins approprié aux applications pouvant être sacrifiées.

L'utilisation de turbopropulseurs pour propulser les véhicules aériens à des vitesses plus proches de la vitesse du son pose des problèmes parce que les hélices perdent de leur efficacité à des vitesses élevées en raison d'un effet appelé traînée des vagues. Une puissance moteur plus élevée nécessite un plus grand nombre de pales d'hélice ou une augmentation du diamètre de l'hélice, mais les vitesses de pointe de l'hélice doivent être maintenues dans la plage subsonique. Le poids et les complications augmentent si des hélices contre-rotatives coaxiales (CRP) sont utilisées. Le turboréacteur et le turbopropulseur sont plus adaptés à la propulsion plus proche de la vitesse du son. En théorie, un turbopropulseur connu sous le nom de rotor ouvert ou propfan, qui utilise des pales d'hélice très balayées, offre la possibilité d'atteindre des régimes plus élevés, plus proches de celle des jets mais cette technologie moteur est encore en développement.

Utilisations typiques liées aux missiles: Des moteurs de turbopropulseur peuvent être utilisés pour actionner les véhicules aériens sans pilote, particulièrement ceux devant fonctionner pour de longues portées ou lors de missions de la longue résistance. Les turbopropulseurs n'ont pas les caractéristiques requises pour actionner les missiles balistiques ou les missiles de croisière à grande vitesse, mais ils peuvent fournir à un véhicule aérien une combinaison des qualités comprenant une vitesse raisonnable, un silence relatif et de bonnes capacités de chargement, combinées à un rendement en carburant pour les vols de longue portée ou

de longue durée. Le potentiel existe clairement pour le développement d'un véhicules aériens sans pilote à turbopropulseur de type bombe volante fonctionnant à une vitesse modérée sur des portées extrêmement longues.

Autres Usages: Les turbopropulseurs équipent une grande variété d'avions civils et militaires légers et moyens et certains aéroglisseurs. Les moteurs à turbine à gaz étroitement liés aux turbopropulseurs d'avions sont largement utilisés dans les pompes et les groupes électrogènes.

Aspect (sortie d'usine): Les moteurs de turbopropulseur (fig. 44) sont des unités cylindriques caractérisées par une enveloppe extérieure dont le diamètre peut varier sur la longueur. Les moteurs de turbopropulseur se conforment rarement à la disposition classique d'un réacteur, où le ventilateur de compresseur est visible à l'avant et le tuyau de jet ouvert est visible à l'arrière. Généralement, le turbopropulseur ressemble plutôt à un tube fermé aux deux extrémités. Une admission est généralement visible, mais pas toujours à l'avant du moteur. Le boîtier peut porter des durites de carburant, des thermocouples et diverses boîtes d'accessoires. Avec son propulseur détaché, un moteur de turbopropulseur est plus difficile à identifier. Le moyeu de montage du propulseur est un disque de petit diamètre à l'extrémité du moteur avec plusieurs trous percés sur la circonférence et des chevilles de montage.



Schéma 44: *Gauche:* Un moteur de turbopropulseur utilisé pour actionner des véhicules aériens sans pilote contrôlés sous 19. A.2 du MTCR. (Pratt & Whitney Canada) *Centre:* Un moteur de turbopropulseur utilisé pour actionner un véhicule aérien sans pilote contrôlé par 1.A.2 du MTCR. (Honeywell) *Droite:* Un moteur de turbomoteur a conçu pour l'usage dans diverses applications de véhicules aériens sans pilote. (Rolls Royce, plc)

Les moteurs à turbine à gaz sont extrêmement compacts et ont un rapport puissance-poids élevé. Un moteur de turbopropulseur capable de produire 900 kW peut mesurer légèrement moins de 2 m de long et 0,5 m de diamètre et peut être confondu avec un réchauffeur ou une pompe industrielle lorsqu'il est vu hors du contexte aérospatial. Les grands moteurs de turbopropulseur peuvent mesurer 3,5 m et peser plus d'une tonne. Avec son propulseur joint, il est difficile de confondre un moteur de turbopropulseur avec autre chose.

Aspect (à l'emballage): Un moteur de turbopropulseur doit normalement être monté horizontalement sur un banc de transit ou un banc d'entretien qui comprend une base (parfois à roues) et un berceau soutenant le moteur à une hauteur pratique pour la manipulation et avec suffisamment d'espace pour le lever avec chariot élévateur. Le support peut être équipé de dispositifs d'atténuation des chocs pour le transport. Par mesure de protection, la ou les entrées d'air sont recouvertes de plaques d'obturation et le moteur complet peut être entièrement recouvert d'une chemise en plastique spécialement conçue et fermée par des attaches et des boucles. Une bâche séparée recouvre parfois le propulseur une fois monté. Sinon, le moteur et le propulseur peuvent être recouverts de bâches en plastique. Les moteurs du turbopropulseur peuvent être transportés dans des caisses en bois ou dans des containers sur mesure en fibre de verre ou en métal.

Une fois séparés du moteur, des propulseurs sont généralement portés ou stockés verticalement sur un support triangulaire, soutenu au niveau du moyeu. Dans la plupart des cas, un moteur de turbopropulseur emballé peut être accompagné des documents fournissant son historique et le statut de son entretien.

3.A.10. Chambres de combustion et tuyères pour moteurs fusée à propergol liquide ou à propergol gélifié utilisables dans les sous-systèmes mentionnés aux articles 2.A.1.c.2. ou 20.A.1.b.2.

Nature et But: Pour les propergols liquides et gélifiés, les chambres de combustion des moteurs de fusée ont pour fonction de contenir le mélange, de faire réagir les propergols et leurs produits de combustion à haute pression. Les substances réactives doivent rester dans la chambre pendant une durée suffisante pour qu'une combustion essentiellement complète puisse se produire avant que les gaz à haute température qui en résultent n'atteignent le col de la tuyère avant de sortir du moteur.

Une tuyère de fusée se compose d'une section convergente à l'extrémité aval de la chambre de combustion, suivie de la gorge étroite. Après la gorge se trouve une section divergente, généralement une structure en forme de cloche ou de coquille conique qui contrôle l'expansion des gaz. Les gaz qui s'écoulent sont pressés par la section convergente, puis ils s'échappent par la gorge à la vitesse du son. Dans la section divergente, les gaz accélèrent rapidement jusqu'à atteindre plusieurs fois la vitesse du son.

La chambre de combustion et la tuyère sont souvent fabriquées d'une seule pièce ou, du moins, elles sont généralement reliées ensemble de façon permanente, ce qui est indissociable. C'est pourquoi l'expression "chambre de poussée" est souvent utilisée pour désigner le composant qui en résulte et qui comprend les deux. A l'extrémité opposée à la gorge et à la tuyère, une chambre de combustion est reliée à son injecteur, un composant complexe comportant des passages de fluide pour les différents propergols (voir le point 3.A.5 de l'annexe au RCTM). Avant de mélanger et de brûler, l'oxydant et le combustible pénètrent séparément dans la chambre de combustion par l'injecteur, qui sert généralement aussi de paroi en amont de la chambre de combustion.

Méthode de fonctionnement: La forme d'une tuyère de fusée est fondamentale pour son fonctionnement. En l'absence de la section divergente en forme de cloche ou de cône, les gaz qui s'échappent se dilatent dans toutes les directions au lieu d'aller dans la direction souhaitée. Si la section conique était plutôt un long tube, la même expansion incontrôlée se produirait à l'extrémité du tube. Au lieu de cela, la forme optimale de la tuyère permet aux gaz de se dilater progressivement tout en maintenant la grande majorité du flux aligné le long de l'axe, afin de produire efficacement la poussée par conservation de l'élan.

Un aspect clé du fonctionnement des chambres de combustion et des tuyères consiste en la nécessité de résister simultanément à des températures et à des contraintes mécaniques élevées. Étant donné que la résistance des matériaux est réduite à haute température, les parois de la chambre de poussée (y compris les tuyères) sont généralement conçues pour fonctionner à des températures inférieures à celles des gaz de réaction. Une grande chambre de poussée de fusée a généralement des passages de refroidissement intégrés dans la paroi, à travers lesquels le carburant liquide s'écoule pour garder la tuyère beaucoup plus froide que la flamme elle-même.

Le carburant est injecté dans la paroi à l'aide d'un collecteur dont la tuyère a un grand diamètre. Le terme "refroidissement régénératif" s'applique parce que l'énergie thermique atteignant la paroi de la tuyère n'est pas gâchée. Cette énergie réchauffe le combustible et est ramenée dans la chambre de combustion, ce qui améliore les performances de la fusée par rapport au rejet de la chaleur. Pour certains modèles de moteur, le carburant se vaporise tout en s'écoulant à l'intérieur de la paroi, puis la vapeur peut être utilisée pour

alimenter une turbine avant d'être injectée dans la chambre de combustion.

Il est plus difficile de réaliser des passages d'écoulement dans des parois plus petites et plus minces, de sorte que les petites chambres de poussée ont utilisé d'autres méthodes de refroidissement pendant le fonctionnement. Une méthode consiste à configurer l'écoulement des injecteurs de manière à fournir une mince couche de combustible non brûlé s'écoulant le long de la paroi, à l'intérieur de la chambre. Par rapport aux gros moteurs, il est relativement abordable pour les petits moteurs d'être fabriqués à partir de métaux réfractaires coûteux, et des matériaux plus sophistiqués à haute température ont parfois été utilisés. Le refroidissement par rayonnement consiste simplement à laisser le mur briller à chaud rouge ou même à chaud blanc, ce qui émet de la chaleur sous forme d'énergie infrarouge et un peu de lumière visible. Les chambres de poussée dépourvues de canaux de refroidissement fonctionnent généralement à des pressions de combustion beaucoup plus basses que les moteurs principaux, ce qui contribue à réduire le chauffage des parois.

Le fonctionnement des chambres de combustion et des tuyères est essentiellement le même pour les propergols liquides et en gel. Les gels sont des liquides à haute viscosité, donc la principale différence opérationnelle réside dans le fait que des pressions plus élevées sont nécessaires pour pousser les gels dans de petits passages. Par conséquent, les propergols gélifiés peuvent être moins pratiques lorsque des passages de refroidissement sont utilisés.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les grandes chambres de combustion et les tuyères sont des pièces majeures des principaux moteurs des étages de missiles balistiques à propulsion liquide. De grandes chambres de poussée de fusée se trouvent également sur les moteurs principaux des lanceurs spatiaux à propulsion liquide. Leurs homologues plus petits peuvent être utilisés par les étages supérieurs et les véhicules de rentrée de manœuvre. De petites fusées à propergol liquide sont également utilisées pour contrôler la position et diriger les principales phases des missiles balistiques, y compris certains missiles qui utilisent un propergol solide pour leur poussée primaire. Les fusées à propergol liquide sont polyvalentes pour ces fonctions de contrôle car les soupapes peuvent être utilisées pour faire varier la poussée ou pour mettre en marche et arrêter les moteurs.

Autres usages: Les satellites et les engins spatiaux utilisent une grande variété de petits moteurs de fusée à propergol liquide pour les manœuvres et le contrôle de la position, y compris l'entretien de l'orbite et le transfert interplanétaire.



Schéma 45: *En haut à gauche*: Moteur fusée à propergol liquide muni d'une grosse tuyère refroidie par régénération. (Équipement de MTCR, logiciel et manuel de technologie, troisième édition (mai 2005) en bas à droite: Vue latérale d'une tuyère de fusée à propergol liquide à refroidissement par régénération, reliée à sa combustion.

Aspect (sortie d'usine): La figure 45 montre une grande chambre de poussée en soi, ainsi qu'un moteur fusée à propergol liquide complet qui intègre une telle chambre de poussée. Dans les deux cas, la taille totale est dominée par la section divergente de la tuyère, typique, mais pas nécessairement. Sur les deux images, on peut voir que la paroi est constituée de nombreux petits tubes (pour le refroidissement) qui partent de la sortie de la tuyère vers la gorge, soutenus par des anneaux structurels à l'extérieur. Alternativement, les chambres de poussée de missiles peuvent avoir des canaux de refroidissement internes entre les couches, auquel cas les surfaces visibles semblent plus lisses. Quelle que soit la construction de la paroi de la chambre, les passages d'écoulement (conduits, tubes ou tuyaux) alimentant le mur en propergol sont susceptibles d'être apparents. Pour les principaux étages des missiles balistiques et des lanceurs spatiaux, les chambres de poussée des fusées à propergol liquide ont toujours été d'une longueur d'environ un à six mètres et d'un diamètre de 0,3 m à 4 m à l'extrémité large de la tuyère. La poussée correspondante sur cette large gamme de dimensions est d'environ 5 tonnes à plus de 500 tonnes.

Pour les petites chambres de poussée qui n'ont pas de canaux de refroidissement dans la paroi, un type commun de moteur fusée à propergol liquide produit environ 500 Newtons de poussée (0,05 tonne, ou 110 livres). De nombreux satellites sont équipés d'un de ces "moteurs d'apogée", tandis que peu de moteurs de plus grande taille ont été utilisés comme éléments d'un satellite. La longueur de la chambre de poussée de ces moteurs peut varier de 0,25 m à 0,7 m, avec un diamètre de sortie des tuyères de 0,15 m à 0,4 m. Les satellites utilisent également plusieurs chambres de poussée plus petites pour les manœuvres fines et le contrôle d'attitude (rotation). Les petits moteurs de fusée à propergol liquide sont plus communément appelés propulseurs, et les plus petits utilisent un seul propergol qui se décompose au lieu de mélanger oxydant et carburant. La figure 46 montre un petit propulseur monopropulseur qui utilise le refroidissement par rayonnement pour maintenir la paroi métallique à une température légèrement inférieure à celle des gaz.

Les tuyères et les chambres de combustion des fusées à propergol liquide sont généralement faites de métaux qui peuvent être brillants, d'une nuance de gris ou autrement foncés. En l'absence de passages de refroidissement liquide, les alliages métalliques utilisés pour les chambres de combustion et les tuyères vont de l'acier inoxydable aux alliages de nickel et de columbium (niobium), ou d'autres métaux réfractaires pour les températures élevées. Les passages de refroidissement rendent pratique l'utilisation de matériaux capables de résister à des températures plus basses, comme le cuivre et éventuellement les alliages d'aluminium. L'intérieur d'une chambre de poussée peut sembler différent de l'extérieur, en raison de la présence de revêtements ou de couches différentes. Alors que les plus grandes chambres de poussée des fusées sont généralement en métal, les plus petites peuvent comprendre des matériaux céramiques.

Aspect (à l'emballage): Toutes les pièces des missiles doivent être aussi légères que possible, de sorte qu'elles sont relativement fragiles. Les grandes chambres de poussée des fusées à propergol liquide et les tuyères, si elles sont expédiées séparément, sont susceptibles d'être transportées dans des caisses en bois ou entourées par des cadres structurels spécialement conçus pour les protéger des dommages. En général, il y a des bâches en plastique pour les conserver propres. Les petites chambres de poussée de fusée peuvent être expédiées dans des caisses ou dans des boîtes rigides spéciales en métal ou en plastique. Quel que soit le matériau solide extérieur, la mousse souple interne serait configurée en fonction de la forme de l'objet.



Schéma 46: Un petit propulseur de fusée qui utilise de l'hydrazine liquide monopropulseur. La paroi de la chambre de poussée est en métal mince, sans passage de refroidissement, ce qui fait que les surfaces sont de couleur foncée en raison des températures élevées. La partie métallique brillante reste plus froide grâce à l'écoulement du liquide à travers l'injecteur. La longueur totale est d'environ 0,1 m. (Aerojet Redmond and Lawrence Livermore National Laboratory)

3.B. Équipement d'essai et de production

3.B.1. «Installations de production» spécialement conçues pour l'équipement ou les matériaux mentionnés aux articles 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10. ou 3.C.

Nature et But: Les installations de production de sous-systèmes sont souvent des zones industrielles conçues pour fabriquer les principaux ensembles énumérés aux articles 3.A.1, 3.A.2, 3.A.3, 3.A.4, 3.A.5, 3.A.6, 3.A.8, 3.A.9, 3.A.10. et les matériaux de l'article 3.C. Il peut y avoir de l'équipement pour essayer ces dispositifs au niveau des composants et assemblé avant de transférer le sous-système dans les stocks ou à l'installation principale pour l'assemblage. Les moteurs de turboréacteur, turbopropulseur et turboréacteur à double flux conçus pour des véhicules aériens sans pilote peuvent être fabriqués dans des installations de production civiles ou militaires. Des pancartes de sécurité indiquant le danger et la présence d'explosifs sont généralement présentes dans ces installations.

Mode de fonctionnement: Les gabarits et montages sont utilisés pour supporter, aligner et assembler des composants individuels tels que les turboréacteurs, les turbosoufflantes et les turbopropulseurs, les réservoirs de carburant et d'oxydant, les carters moteurs et les ensembles moteurs. Les moules, des matrices et les mandrins sont conçus et utilisés spécifiquement pour la production des pièces de composants. Des ponts roulants sont utilisés pour déplacer la matière première et les composants entre leurs containers d'expédition et les chariots jusqu'aux les montages d'assemblage. Des dispositifs pyrotechniques sont installés sur les sections d'interétages dans des installations situées dans des endroits isolés. Les matériaux et les méthodes de fabrication appropriés sont essentiels à la production de pompes et de servovalves de traitement de propergol liquide fiable.

Utilisations typiques liées aux missiles: Des installations de production sont utilisées pour fabriquer ou produire des véhicules aériens sans pilote et des sous-systèmes de fusée à partir de matières premières ou pour les assembler à partir des composants importés de sources extérieures. Les sous-systèmes finis sont chargés dans des containers ou des caisses individuels et envoyés à l'installation pour l'entreposage à long terme ou aux installations se chargeant de l'assemblage final et de l'utilisation.

Autres usages: Des installations productives utilisées pour fabriquer les moteurs de véhicules aériens sans pilote contrôlés par MTCR, les moteurs et des moteurs-fusée construits ainsi que l'équipement d'essai peuvent également être utilisés pour fabriquer des produits liés aux avions civils et militaires.

Aspect (sortie d'usine): Ces installations peuvent utiliser des ponts roulants pour déplacer des sous-systèmes de véhicules aériens sans pilote et des sous-systèmes de fusée d'un montage ou d'une zone à l'autre. Les montages et les garnitures d'assemblage utilisés lors de la production des systèmes de véhicules aériens sans pilote et des systèmes de fusée sont généralement de grandes et lourdes structures. Leur longueur et largeur totales sont d'environ 20 à 30 % plus grandes que le système de missiles qu'ils doivent assembler. Elles pèsent des centaines voire des milliers de livres. Les installations industrielles de fabrication des interétages présentent des risques d'explosion et doivent disposer de procédures de mise à la terre et de toute autre procédure d'atténuation des risques.

Les installations industrielles de fabrication des interétages sont associées aux zones de stockage d'explosifs et peuvent être situées dans des régions isolées loin des zones peuplées. Les pompes et les servovalves à propergol liquide nécessitent des matériaux spécialisés et de l'équipement d'usinage de précision pour fabriquer les produits fiables.

Les installations de production de moteurs fusée à propergol liquide sont actuellement plus petites qu'il y a plusieurs décennies, alors qu'un grand nombre de missiles et de systèmes étaient fabriqués. Les missiles balistiques à moyenne portée et les missiles plus petits pourraient être fabriqués dans une installation qui ressemblerait beaucoup à n'importe quel grand atelier d'usinage bien équipé. En outre, il faudrait disposer d'une installation d'assurance de la qualité avec des laboratoires, y compris des salles blanches et des bancs à circulation d'air, des bancs à niveau de granit, etc., avec des appareils de mesure de précision, notamment des microscopes électroniques à balayage (MEB), des détecteurs de gaz d'une capacité inférieure à 5 parties par million et autres appareils de mesure spécialisés si nécessaire.

Aspect (à l'emballage): Les pièces de rechange neuves ou de remplacement pour ces types d'installations sont parfois volumineuses et trop lourdes pour être emballées et expédiées à l'usine de production en unités complètes. Au lieu de cela, les composants sont expédiés séparément dans des caisses ou sur des palettes protégées pour le montage sur site. Ils seront solidement attachés dans la caisse pour empêcher tout mouvement et dommages. Les gabarits plus petits peuvent être mis en caisses individuelles ou palettisés pour l'expédition.

3.B.2. «Équipements de production» spécialement conçus pour l'équipement ou les matières mentionnés par les articles 3.A.1, 3.A.2, 3.A.3, 3.A.4, 3.A.5, 3.A.6, 3.A.8, 3.A.9., 3.A.10 ou 3.C.

Nature et But: Chaque installation productive de sous-système conçue pour produire les articles mentionnés aux points 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10. et 3.C. contient les gabarits et dispositifs spécialisés nécessaires pour former, usiner, assembler et tester les sous-ensembles du système et de l'équipement propulsifs visés aux points 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10. et 3.C. Les équipements d'usinage industriel sont utilisés pour fabriquer des composants de turboréacteurs, de turbosoufflantes et de turbopropulseurs. Les machines de fabrication d'additifs apparaissent comme une option viable pour la production d'injecteurs et de composants associés. De grands équipements de rayon X peuvent être disponibles pour vérifier les vides et les fissures dans le moteur-fusée à propergol solide. De l'équipement de test électrique et électronique est utilisé pour soutenir l'essai fonctionnel et opérationnel du déclencheur et des sous-composants de tout autre niveau.

Mode de fonctionnement:

Moteurs à turboréacteurs et Turbopropulseurs: Les moteurs de turboréacteur, de turbopropulseur et de turboréacteur à double flux utilisés pour actionner des véhicules aériens sans pilote (missiles de croisière compris) sont fabriqués en utilisant essentiellement la même technologie que leurs équivalents plus grands de l'industrie de l'aviation civile et militaire. Ces moteurs sont usinés en matériaux tolérants les variations de températures, en utilisant des procédures d'outillage et d'assemblage d'aviation standard.

Moteurs fusée à propergol solide: L'équipement utilisé pour la fabrication des moteurs fusées à propergol solide comprend les machines à travailler les métaux et, éventuellement, l'équipement d'enroulement en continu des boîtiers de filaments.

Les boîtiers des moteurs de fusée sont fabriqués à partir d'acier à haute résistance dans les dimensions et la résistance prévues, ou sont enroulés à partir de fibres composites pour produire des moteurs légers aussi robustes que des boîtiers en acier.

Matériau d'isolation / Revêtement: Le moteur-fusée à propergol solide exige du matériel d'isolation entre la paroi de l'enveloppe et le propergol pour empêcher une défaillance de la paroi de l'enveloppe due à la chaleur excessive de la combustion. Cette isolation est souvent assurée par une couche mince de caoutchouc

ou de propergol sans le composant de comburant supplémentaire (également connu sous le nom de «propergol inhibé»).

Tuyères: Les tuyères pour les moteurs-fusée à propergol solide sont fabriquées en matériaux composites de graphite et exigent un équipement de construction spécialisé. Elles sont construites de lingots composés de structures en fibre de carbone enroulée, qui sont soumises à un traitement thermique à la résine et de fibres de polymérisation dans la forme désirée. Ces lingots sont encore densifiés en ajoutant des résines imprégnantes et en durcissant à des températures encore plus élevées, souvent à des pressions élevées dans une atmosphère inerte. Le processus peut être répété plusieurs fois pour augmenter la densité de l'article final afin de répondre aux critères de conception. Des presses isostatiques peuvent être utilisées pendant ce processus. Une fois que les lingots sont produits, ils sont usinés à la forme de tuyère de la conception, en employant des installations industrielles standard d'usinage de construction mécanique.

Moteur-fusée à propergol liquide: Le logiciel de CFAO (conception assistée par ordinateur et fabrication assistée par ordinateur) est utilisé intensivement dans les usines de fabrication de fusées modernes et dans les installations de soutien qui fournissent les composants de l'intégrateur de moteur- système. Les valves marche-arrêt à propergol, par exemple, nécessitent des fraiseuses pour la fabrication des pièces en métal comme les enveloppes, y compris des assises de valve et les valves d'axe. Des bobines électromagnétiques sont fixées aux goupilles et les vannes sont positionnées dans des gabarits d'assemblage (montages) pour être soudées par des équipements spécialisés. Les valves assemblées passent par plusieurs inspections pour s'assurer qu'elles répondent aux exigences de spécifications de fourniture, inspections nécessaires pour l'équipement spécialisé. Les contrôles d'étanchéité nécessitent l'utilisation d'hélium haute pression et d'un chromatographe en phase gazeuse avec une capacité de détection d'au moins cinq parties par million. De nombreux autres essais de réception sont effectués pendant la production et la livraison.

L'usinage à décharge électrique (EDM) a été employé intensivement dans la fabrication des injecteurs. Au début de son développement, il était contrôlé par des garnitures d'installation et des commandes manuelles. Actuellement, les liens EDM et CFAO commandés par ordinateur sont la norme. Les machines de fabrication d'additifs apparaissent comme une option viable pour la production d'injecteurs.

Chaque composant du système de propulsion à liquide possède un ensemble analogue d'équipement de production pour fabriquer les composants et vérifier qu'ils répondent aux exigences spécifiées. Une fois les composants testés et livrés à la zone d'assemblage final, le système de propulsion est assemblé et de nombreuses mesures et vérifications sont effectuées pour confirmer que le dispositif tel qu'il est conçu répond aux spécifications du constructeur.

À cette étape, le système peut être installé dans une installation d'essai pour vérifier par opération que le système répond aux exigences du système. Les dispositifs interétages de séparation sont fabriqués dans des zones isolées répondant aux mesures de sécurité relatives aux explosifs. Les dispositifs de sécurité et d'armement sont testés pour s'assurer que les dispositifs pyrotechniques sont sûrs à manipuler mais s'activeront sur commande. L'essai de fil cavalier confirme que les câbles électriques sont bien reliés aux détonateurs explosifs et que le circuit de dispositif de sécurité et d'armement est complet.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les composants et les assemblages construits dans ces installations sont employés pour construire ou examiner le turboréacteur, le turbopropulseur, le turboréacteur à double flux, le statoréacteur, le statoréacteur à combustion supersonique, le pulsoréacteur et les moteurs à cycle combiné, les enveloppes de moteur-fusée, les mécanismes de largage de fusée, les systèmes de commande de propergol ainsi que les réservoirs et l'isolation et le revêtement utilisé dans des moteurs à propergol solide. Chacun de ces articles est nécessaire à la fabrication ou l'assemblage de système de véhicules aériens sans pilote ou de système de fusée commandés par MTCR.

Autres usages: L'équipement de production utilisées pour fabriquer les moteurs de véhicules aériens sans pilote contrôlés par MTCR, les moteurs-fusée à propergol solide, les moteurs-fusée à propergol liquides ainsi que l'équipement d'essai associé peuvent également être utilisés pour fabriquer des produits liés aux avions civils et militaires ainsi que des sous-assemblages de satellite ou de navette spatiale.

Aspect (à la sortie d'usine): L'équipement et les garnitures utilisés dans la production des moteurs- fusée à propergol solide sont généralement de grandes et lourdes structures.

Aspect (à l'emballage): les gabarits et dispositifs d'assemblage d'UAV et de fusées sont souvent trop grands et trop lourds pour être emballés et expédiés à l'usine de production comme unités complètes. Les pièces des composants sont alors expédiées séparément dans de grandes caisses ou protégés sur des palettes pour l'assemblage sur place. Ils seront solidement fixés à la caisse pour limiter les mouvements et prévenir les dommages. Les gabarits plus petits peuvent être mis en caisses individuelles ou palettisés pour l'expédition.

3.B.3. Machines de fluotournage et leurs composants spécialement conçus:

- a. Selon les spécifications techniques du fabricant, il peut être équipé d'unités de commande numérique ou d'une commande par ordinateur, même s'il n'est pas équipé de telles unités à la livraison; et
- b. Comportent plus de deux axes pouvant être coordonnés simultanément pour la commande de contournage.

Note:

Cet article ne comprend pas les machines qui ne sont pas utilisables dans la "production" d'éléments et d'équipements de propulsion (par exemple, boîtiers de moteurs et inter-étages) pour les systèmes visés au point 1.A.

Notes techniques:

Les machines combinant les fonctions de tournage centrifuge et de fluotournage sont assimilées à des machines de fluotournage .

- Autriche
- Chine
- France
- Inde
- Japon
- Fédération de Russie
- Suisse
- Royaume Uni
- Belgique
- Égypte
- Allemagne
- Italie
- Pologne
- Espagne
- Émirats Arabes Unis
- États Unis

Production globale



Nature et But: les machines de fluotournage capables de produire des composants pour les systèmes visés à l'article 1.A. sont de grosses pièces d'équipement de fabrication robustes et de grande taille. Leurs bases sont massives, nécessitant souvent une fondation spéciale, afin de supporter les rouleaux de formage, les mandrins et autres composants et de supporter les forces de formage requises sans déformation. Les alimentations, les vérins hydrauliques et les vis de positionnement sont également suffisamment grands pour résister aux déformations dues à la force de formage importante.

Mode de fonctionnement: Les machines de fluotournage utilisent un procédé de déformation ponctuelle par lequel un ou plusieurs rouleaux se déplacent sur la longueur d'une ébauche métallique ou d'une préforme et la pressent dans un moule rotatif ou sur un mandrin ayant la forme souhaitée.

Utilisations typiques liées aux missiles: Les machines de fluotournage sont utilisées pour fabriquer les enveloppes de moteur-fusée, les dômes d'extrémité et des tuyères.

Autres usages: Les machines de fluotournage sont utilisées pour fabriquer de nombreuses pièces pour l'industrie aérospatiale, y compris des pièces d'avions commerciaux, des composants de missile tactique et des revêtements pour les charges de formes particulières. Elles sont également employées pour fabriquer des roues d'automobile, des composants de transmission automatique pour des automobiles, des récipients à gaz, des têtes de réservoir sous-pression et des containers pour le matériel électronique.

Aspect (sortie d'usine): Les machines de fluotournage des machines peuvent être configurées verticalement ou horizontalement. Les configurations verticales peuvent former des pièces plus grandes parce qu'elles ont des bras servo-entraînés saillants pour maintenir les rouleaux et plus de puissance pour la déformation. Les configurations horizontales n'ont pas des bras de rouleau aussi longs que ceux des machines verticales. La figure 47 (en haut à droite) montre un exemple d'une machine de fluotournage utilisée pour la fabrication de dômes d'extrémité de réservoirs de propergol. Le processus de tournage connexe peut produire des formes semblables à celles obtenues par le processus de fluotournage. Cependant, le tournage utilise moins d'énergie pour façonner le matériau parce qu'il change très peu l'épaisseur du matériau de la préforme à la forme finale. Les installations et l'équipement de production spécialement conçus ressemblent à l'équipement aérospatial et de fabrication, mais avec des attributs conçus pour un système donné.

Aspect (à l'emballage): Les machines verticales plus grandes exigent généralement que les surfaces de rouleaux, les colonnes verticales et les mandrins soient emballés séparément dans des caisses en bois pour l'expédition. Les plus petites machines verticales de même les machines horizontales peuvent être expédiées dans de grands containers en bois, avec les bras de rouleau expédiés dans la configuration assemblée. Ils sont solidement fixés aux containers pour exclure tout mouvement. L'unité de commande et toutes les unités hydrauliques d'alimentation et de puissance sont également emballées séparément pour l'expédition.



Schéma 47: *En haut à droite*: Machine de fluotournage utilisée pour fabriquer des dômes d'extrémité pour des réservoirs à propergol. (Aerojet) *en bas à droite*: Machine de fluotournage horizontale. (Un manuel pour le groupe de fournisseur nucléaire à double utilisation, rapport numéro LA-13131-M (avril 1996) gauche: Une machine fluotournage verticale (Ibid)

3.C. Matériaux

3.C.1. «Revêtement intérieur» utilisable pour les enveloppes de moteurs-fusées des sous-systèmes mentionnés par l'article 2.A.1.c.1. ou spécialement conçu pour les sous-systèmes mentionnés dans l'article 20.A.1.b.1.

Notes techniques:

Dans l'article 3.C.1. Dans l'article 3.C.1. les «revêtements intérieurs» aptes à assurer l'adhérence à l'interface entre les propergols solides et les enveloppes extérieures, ou les isolants internes, sont généralement des dispersions de matières réfractaires ou isolantes dans une base de polymère liquide; par exemple du carbone dans du polybutadiène hydroxytélechélique (PBHT) ou un autre polymère contenant des agents supplémentaires de cuisson, destinés à être pulvérisés ou étalés sur l'intérieur de l'enveloppe.

- Argentine
- Azerbaïdjan
- Brésil
- Chine
- France
- Inde
- Israël
- Japon
- Malaisie
- Nouvelle Zélande
- Pakistan
- Portugal
- Fédération de Russie
- République de Corée
- Suède
- Turquie
- États Unis
- Autriche
- Belgique
- Canada
- République Tchèque
- Allemagne
- Iran
- Italie
- Kazakhstan
- Pays-Bas
- Norvège
- Pologne
- Roumanie
- Afrique du Sud
- Espagne
- Suisse
- Royaume Uni

Production globale



Nature et But: Un revêtement intérieur, ou un revêtement, est une couche mince de produits chimiques spéciaux employés pour aider le propergol solide à adhérer à l'isolation de l'enveloppe. Le revêtement est généralement fait à partir d'élastomères ou de plastiques et se compose généralement du même liant employé dans le propergol plus les additifs, comme les blocs de carbone, qui améliorent la force du revêtement.

Mode de fonctionnement: Le revêtement d'un moteur-fusée à propergol est un adhésif liquide employé pour lier le propergol à l'isolation. C'est souvent une couche épaisse de 10 à 20 mm d'un matériau caoutchouteux posé à l'intérieur de l'enveloppe du moteur puis partiellement vulcanisée. Le propergol (frais) récemment mélangé est ensuite moulé dans l'enveloppe du moteur contre ce revêtement partiellement vulcanisé. La polymérisation du propergol et du revêtement est alors accomplie à haute température.

Utilisations typiques liées aux missiles: Tous les moteurs-fusée à propergol liquide utilisent un revêtement. Le revêtement colle le propergol solide à l'isolation de l'enveloppe du moteur-fusée.

Autres usages: Certains matériaux utilisés dans les revêtements intérieurs des moteurs fusée sont utilisés dans des applications militaires ou commerciales nécessitant des matériaux résistants à la chaleur.

Aspect (à la sortie d'usine): Le revêtement intérieur est souvent fait dans un liant utilisé dans le mélange de propergol solide sans l'ajout du composant oxydant ("propergol inhibé"). Il est difficile d'identifier l'isolation du boîtier par rapport au propergol solide sans effectuer divers essais sur des échantillons du matériau.

Aspect (à l'emballage): Étant donné que le revêtement intérieur est souvent fait du même liant utilisé dans le mélange de propergol solide (sans l'ajout du composant oxydant) et qu'il est utilisé peu de temps avant de couler le propergol solide dans le carter du moteur, il n'est généralement pas emballé pour le transport.

3.C.2. Matière «d'isolation» en vrac, utilisable pour les enveloppes de moteurs-fusées des sous-systèmes mentionnés par l'article 2.A.1.c.1. ou spécialement conçu pour les sous-systèmes mentionnés dans l'article 20.A.1.b.1.

Notes techniques:

Dans l'article 3.C.2. l'«isolation» destinée à être appliquée sur les composants des moteurs-fusées, tels que l'enveloppe, l'admission et les fermetures de l'enveloppe, désigne des feuilles de caoutchouc composite vulcanisé et semi-vulcanisé contenant une matière isolante ou réfractaire. Elle peut être intégrée au moteur sous forme de gaine ou de clapet de décontrainte spécifié dans l'article 3.A.3.

- Argentine
- Azerbaïdjan
- Brésil
- Chine
- France
- Inde
- Israël
- Japon
- Malaisie
- Nouvelle Zélande
- Pakistan
- Portugal
- Fédération de Russie
- République de Corée
- Suède
- Turquie
- Autriche
- Belgique
- Canada
- République Tchèque
- Allemagne
- Iran
- Italie
- Kazakhstan
- Pays-Bas
- Norvège
- Pologne
- Roumanie
- Afrique du Sud
- Espagne
- Suisse

Production globale



Nature et But: La fonction principale de l'isolation est de protéger l'enveloppe du moteur contre les produits de combustion (particulièrement contre leur chaleur) pendant le vol. L'isolation de l'enveloppe doit également répondre à plusieurs objectifs secondaires. L'isolation doit mécaniquement lier la paroi de l'enveloppe avec le propergol. Elle doit également résister aux contraintes provoquées par la contraction thermique du propergol, au poids du propergol pendant le stockage du moteur et à l'inertie du propergol, en particulier aux étages supérieurs, pendant l'accélération.

Mode de fonctionnement: L'isolation de l'enveloppe du moteur est calibrée pour laisser entrer une quantité maximum de propergol dans l'enveloppe du moteur, mais assez épaisse pour protéger l'enveloppe pendant la durée de combustion prévue plus une marge de sécurité. Des paillettes de détente de contrainte, situés aux dômes d'extrémité avant et arrières sont employées pour empêcher des déformations de l'enveloppe dues à la haute pression interne. Les déformations de l'enveloppe dans ces secteurs induiront probablement des fissures de contrainte, soit dans le grain de propergol soit dans l'isolation de l'enveloppe, ayant pour conséquence l'échec en vol de l'enveloppe du moteur. L'isolation est généralement faite à partir d'élastomères ou de plastiques et souvent de matériaux caoutchouteux synthétiques tel que le monomère de diène de propylène d'éthylène diene monomer (EPDM), polybutadiene, néoprène ou le caoutchouc nitrrique. Le matériau d'isolation contient de la silice ou de l'amiante et ressemble à une feuille grise ou verte de caoutchouc.

Utilisations typiques liées aux missiles: La fonction principale de l'isolation est de protéger l'enveloppe du moteur contre les produits de combustion (particulièrement contre leur chaleur) pendant le vol.

Autres usages: Certains matériaux utilisés pour le revêtement ou l'isolation intérieur des moteurs- fusée sont employés dans des applications commerciales ou militaires exigeant des matériaux thermorésistants.

Aspect (à la sortie d'usine): L'isolation intérieure est une feuille de caoutchouc de 3 à 10 mm d'épaisseur et jusqu'à 1 m de largeur. L'isolant est normalement de couleur verte, grise, brun foncé ou noire.

Aspect (à l'emballage): Les matériaux isolants sont expédiés sur de gros rouleaux d'une largeur maximale de 1,0 m et d'un diamètre maximal de 0,5 m et scellés dans des boîtes. L'isolation interne peut être en place ou non lors de l'expédition de l'enveloppe du moteur-fusée à propergol solide.

3.D. Logiciel

3.D.1. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié aux fins de l'«utilisation» d'«équipements d'assistance à la production» et des machines de fluotournage mentionnés par l'article 3.B.1 ou 3.B.3.

- Autriche
- Chine
- Allemagne
- Italie
- Pologne
- République de Corée
- Espagne
- Suède
- Ukraine
- Belgique
- France
- Inde
- Japon
- Fédération de Russie
- Suisse
- Royaume Uni
- États Uni

Production



Nature et But: Le logiciel contrôlé sous l'article 3.D.1. est utilisé pour actionner les équipements d'assistance ou les machines de fluotournage utilisés pour fabriquer le turboréacteur, le turbopropulseur, le turbopropulseur, le statoréacteur et les moteurs de statoréacteur à combustion supersonique et les composants connexes; l'isolation et les tuyères de l'enveloppe du moteur-fusée à propergol solide; les mécanismes de séparation et de largage et les sections interétages; les pompes à propergol liquide, les servovalves et les réservoirs; ainsi que les moteurs-fusée hybrides.

Mode de fonctionnement: Les machines-outils modernes sont à commande numérique par ordinateur (CNC). Un microprocesseur dans chaque machine lit le programme G-Code que l'utilisateur crée et exécute les opérations programmées. Les ordinateurs personnels sont utilisés pour concevoir les pièces et sont également utilisés pour écrire des programmes soit en tapant manuellement le code G-Code ou en utilisant un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO) qui produit le code G-Code à partir de l'entrée des outils et du parcours d'outils par l'utilisateur. Les programmes G-Code générés par CAM doivent être post-traités. Les programmes et bibliothèques génériques de génération de code G-Code sont disponibles dans le domaine public.

Utilisations typiques liées aux missiles: Des machines-outils commandées par ordinateur sont utilisées dans la fabrication des injecteurs liquides de moteur-fusées à propergol liquide qui ont des centaines de petits éléments injecteurs. Les machines de fabrication d'additifs CNC (AM) sont également utilisées pour la fabrication d'injecteurs et d'injecteurs de prébrûleurs multi-éléments.

Des procédés tels que le collage par diffusion de plaques minces utilisent des fours qui peuvent être contrôlés par ordinateur. Le dépôt par pulvérisation plasma et d'autres types de revêtement de matériaux tels que la galvanoplastie utilisent des méthodes de contrôle par d'ordinateur.

Les pièces d'un moteur fusée à propergol liquide (injecteurs dans les chambres et chambres dans les tuyères) sont généralement soudées, à l'exception de celles des unités d'essai au sol. Cette soudure "orbitale" (360 degrés autour d'une surface cylindrique) est actuellement contrôlée par ordinateur, nécessitant un logiciel spécialement adapté.

L'inspection des articles de production est également de plus en plus contrôlée par ordinateur. Injectors, for example, contain hundreds of injector holes that must be verified as to size, placement and orientation. Des comparateurs optiques commandés par ordinateur sont utilisés pour effectuer cette inspection et un «logiciel» développé spécifiquement est exigé.

Autres usages: Les «logiciels» utilisés pour la fabrication de moteurs à turbine à gaz commandés par MTCR, de boîtiers et de tuyères de moteurs fusée à propergol solide, de moteurs fusés à propergol liquide et d'équipements d'essai peuvent également être utilisés pour fabriquer des produits associés aux avions-civils et militaires et aux roquettes sonde utilisées pour étudier la météorologie et les conditions atmosphériques à différentes altitudes. Ce «logiciel» peut également être utilisé, avec certaines modifications, pour contrôler d'autres opérations industrielles.

Aspect (à la sortie d'usine): Ce «logiciel» prend la forme d'un programme informatique stocké sur des supports imprimés, magnétiques, optiques ou autre. Tous les supports courants, y compris les bandes magnétiques, les disquettes, les disques durs amovibles, les disques compacts, les lecteurs flash USB et les documents, peuvent contenir ce logiciel et ces données.

Aspect (à l'emballage): La bande magnétique, les disquettes, les disques durs démontables, les disques compacts, les clés USB contenant ce «logiciel» sont indiscernables de tous les autres supports de stockage. Seuls l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit utilisé sur l'ordinateur approprié. Ce «logiciel» et cette documentation peuvent être transmis électroniquement sur un réseau informatique.

3.D.2. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié aux fins de l'«utilisation» de l'équipement spécifié dans les articles 3.A.1., 3.A.2., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6. ou 3.A.9.

Notes:

1. Les «logiciels» spécialement conçus ou modifiés aux fins de l'«utilisation» de moteurs mentionnés par l'article 3.A.1. peuvent être exportés s'ils font partie d'aéronefs pilotés ou s'ils viennent en remplacement de «logiciels» utilisés dans ceux-ci.

2. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié pour l'«utilisation» de système de commande propergol mentionné à l'article:

3.A.5. Qui peut être exporté comme pièce d'un satellite ou comme logiciel de remplacement de celui-ci.

Nature et But: Ce «logiciel» est employé pour faire fonctionner, installer, entretenir, réparer, réviser/réhabiliter les moteurs de turboréacteur, de turbopropulseur et de turboréacteur à double flux; les moteurs de statoréacteur/statoréacteur à combustion supersonique/pulsoréacteur; les mécanismes de largage de missile balistique, les mécanismes de séparation et les sections d'interétages du missile; les pompes et servovalves de propergol liquide; et les moteurs hybrides de fusée.

Mode de fonctionnement: Avant le lancement, le «logiciel» de vol décrit dans cette section est chargé dans les ordinateurs de vol et les contrôleurs de vol des fusées et des UAV pour contrôler toute activité et opération en vol, comme la mise en place des missiles balistiques. Ce type de «logiciel» est également utilisé pour contrôler le fonctionnement des moteurs à propergol liquide et des moteurs à propergol gélifié.

Utilisations typiques liées aux missiles: Ce «logiciel» est utilisé pour moteurs de turboréacteurs, turbopropulseur, statoréacteur et les moteurs de statoréacteur à combustion supersonique; les mécanismes de séparation et largage et les sections interétages; et les pompes à propergol liquide ou gélifié et les servovalves. Souvent, ce type de «logiciel» peut automatiquement lancer l'analyse de dysfonctionnement pour identifier les composants défectueux.

Autres usages: N/A

Aspect (sortie d'usine): Ce «logiciel» prend la forme d'un programme informatique stocké sur des supports imprimés, magnétiques, optiques ou autres. Tous les médias communs comprenant les bandes magnétiques, CD lecteurs USB, et documents peuvent contenir ce «logiciel» et ces données.

Aspect (à l'emballage): Les bandes magnétiques, disquettes, disques durs portables, CD, lecteurs USB et documents contenant ce «logiciel» ne sont pas différenciés des autres supports de stockage. Seuls l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit utilisé sur l'ordinateur approprié. Ce «logiciel» et cette documentation peuvent être transmis électroniquement sur un réseau informatique.

3.D.3. «Logiciel» spécialement conçu ou modifié pour le «développement» de l'équipement spécifié dans les articles 3.A.2., 3.A.3., ou 3.A.4.

Nature et But: Ce «logiciel» est utilisé pour rechercher et concevoir des moteurs de statoréacteur/statoréacteur à combustion supersonique/pulsoréacteur; les enveloppes de moteur-fusée à propergol solide de missile balistique avec isolation et revêtements internes et les tuyères; et les mécanismes de largage de missile, les mécanismes de séparation et les sections d'interétages de missile; et pour élaborer les procédures de production de pilotage, les programmes de configuration et d'intégration pour ces articles.

Méthode de fonctionnement: Le «logiciel» décrit dans la présente section est utilisé sur les ordinateurs pour élaborer des procédures de fabrication en série et en parallèle détaillées, pour concevoir les divers composants énumérés dans la présente section, pour faire fonctionner les machines commandées par ordinateur utilisées pour fabriquer les divers ensembles, et pour concevoir, modéliser et tester les programmes de configuration et d'intégration pour chacun de ces éléments.

Utilisations typiques liées aux missiles: Ce «logiciel» est installé sur des ordinateurs d'usage général afin d'évaluer la conception des moteurs de statoréacteur/statoréacteur à combustion supersonique/pulsoréacteur; les enveloppes de moteur-fusée à propergol solide avec isolation et revêtements internes et les tuyères; et les mécanismes de largage de missile, les mécanismes de séparation et les sections d'interétages, et installé sur des équipements automatiques spécialisés pour leur développement ultérieur. En général, cette tâche est accomplie avec une série de planification, simulation, modélisation de flux et autres «logiciels». Dans cet article, on utilise l'autre «logiciel» pour développer les procédures de production d'essai, la configuration et les programmes d'intégration pour ces articles.

Autres usages: Généralement, ce «logiciel» peut être utilisé, avec des modifications, pour concevoir et tester d'autres opérations détaillées dans les grandes organisations industrielles, tels que la production et la distribution du carburant.

Aspect (sortie d'usine): Ce «logiciel» prend la forme d'un programme informatique stocké sur des supports imprimés, magnétiques, optiques ou autres. Tous les supports communs comprenant les bandes magnétiques, disquettes, disques durs portables, CD, lecteur USB et documents peuvent contenir ce logiciel et ces données.

Aspect (à l'emballage): La bande magnétique, les disquettes, les disques durs démontables, les disques compacts, les clés USB sont indiscernables de tous les autres supports de stockage. Seuls l'étiquetage et la documentation d'accompagnement peuvent indiquer son utilisation à moins que le logiciel soit utilisé sur l'ordinateur approprié. Ce «logiciel» et cette documentation peuvent être transmis électroniquement sur un réseau informatique. Au XXI^e siècle, Internet est très probablement un moyen de transfert transfrontalier de logiciels.

3.E. Technologie

3.E.1. «Technologie», au sens de la note générale relative à la technologie, pour le «développement», la «production» ou l'«utilisation» d'équipements, de matières ou de «logiciels» mentionnés aux articles 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10., 3.B., 3.C. or 3.D.

Nature et But: La technologie visée au point 3.E.1. comprend les instructions et les connaissances nécessaires pour «développer», «produire» ou «utiliser» tout équipement ou logiciel mentionné aux articles points 3.A.1., 3.A.2., 3.A.3., 3.A.4., 3.A.5., 3.A.6., 3.A.8., 3.A.9., 3.A.10., 3.B., 3.C. ou 3.D.

Mode de fonctionnement: L'assistance technique est disponible sous plusieurs formes. L'assistance technique peut consister en un enseignement dispensé par une personne expérimentée dans une ou plusieurs matières contrôlées (comme les moteurs de fusée à propergol liquide) qui agit comme formateur dans une classe sur le site de production ou à proximité. Un pays peut recevoir une "assistance technique" d'un ou de plusieurs services de conseil spécialisés dans une compétence de production particulière, ou dans l'acquisition d'articles ou de matériaux techniques. En outre, un pays peut recevoir une "assistance technique" en envoyant des étudiants dans d'autres pays possédant la technologie nécessaire pour suivre une formation et mettre en pratique les compétences nécessaires à la construction des systèmes requis. Tous les manuels et matériels reçus pendant la formation peuvent être considérés comme des "données techniques".

Utilisations typiques liées aux missiles: Sauf exception limitée, «l'assistance technique» exigée pour construire des systèmes de missile balistique et les véhicules aériens sans pilote sont utilisés uniquement dans ces buts. Les fusées-sondes utilisées pour la recherche météorologique, avec des ajustements mineurs, peuvent être converties

en missiles balistiques. La «technologie» utilisée dans chaque dispositif est très semblable. La «technologie» utilisée dans chaque appareil est très similaire.

Autres Usages: Certaines «technologies» utilisées pour concevoir, fabriquer et tester les UAV peuvent avoir une fonctionnalité dans l'industrie aéronautique militaire ou commerciale. La «technologie» relative aux boîtiers de moteurs en acier à haute résistance pour le fluotournage s'applique également à la production commerciale et industrielle d'échangeurs de chaleur.

Aspect (sortie d'usine): N/A

Aspect (à l'emballage): N/A

zirconium · 121, 122, 173