

AD-A084 253

DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT VALCARTIER (QUEBEC)  
RAPPORT 1979 (REPORT).(U)  
1979

F/6 15/3

UNCLASSIFIED

NL

| OF |  
AD A  
084253





LEVEL II



ADA084253

DTIC ELECTE S D  
MAY 16 1980

80 5 12 040

RAPPORT 1979 REPORT

DISTRIBUTION STATEMENT A  
Approved for public release;  
Distribution Unlimited

11

12 64

11 1979

6 Rapport 1979 (Report).



Défense nationale

National Defence

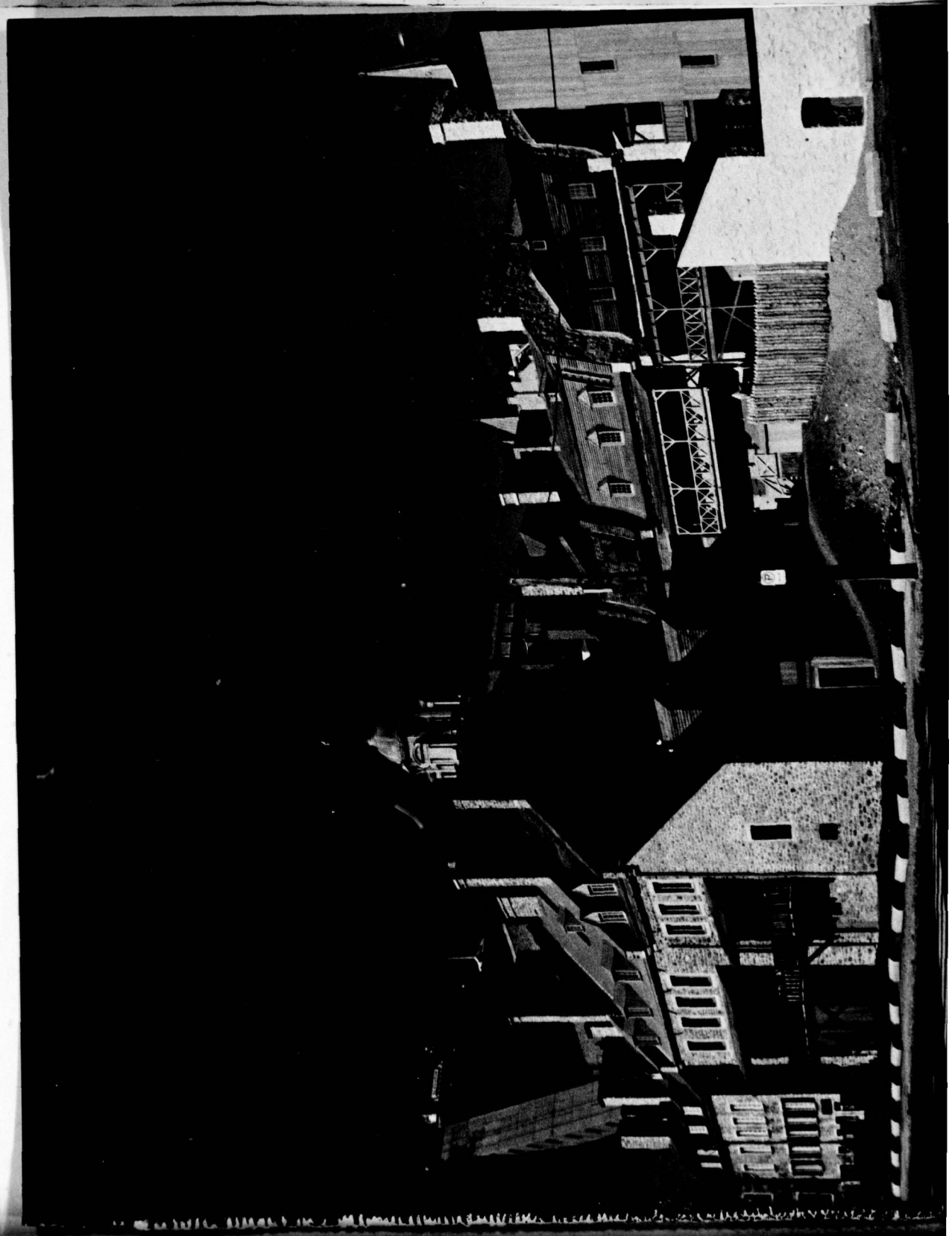
Centre de recherches pour la défense, Valcartier  
Defence Research Establishment, Valcartier

C.P. 880, Courcellette P.Q.  
P.O. Box 880, Courcellette, P.Q.

Tel: 844-4271

404945

500



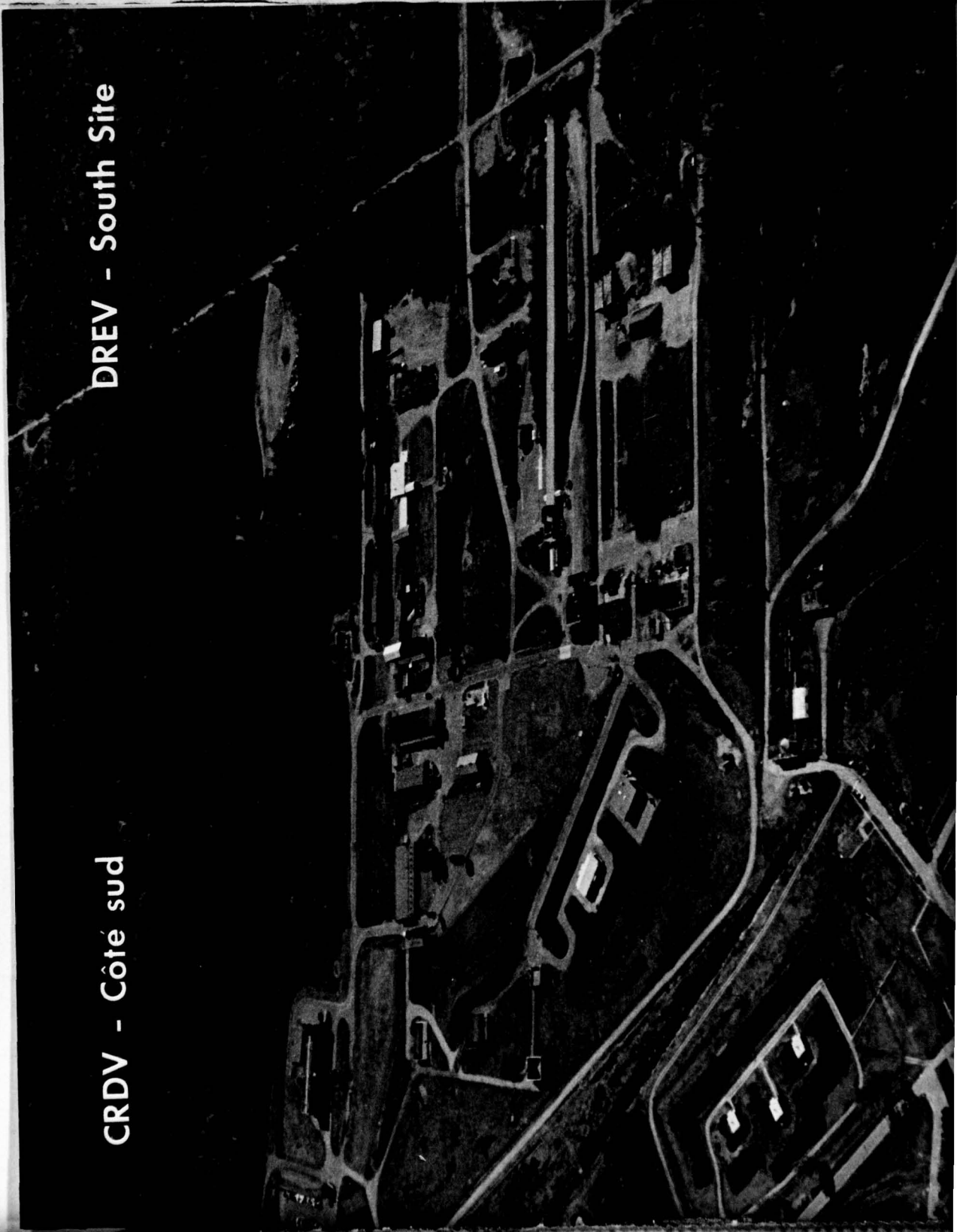
CRDV - Côte nord

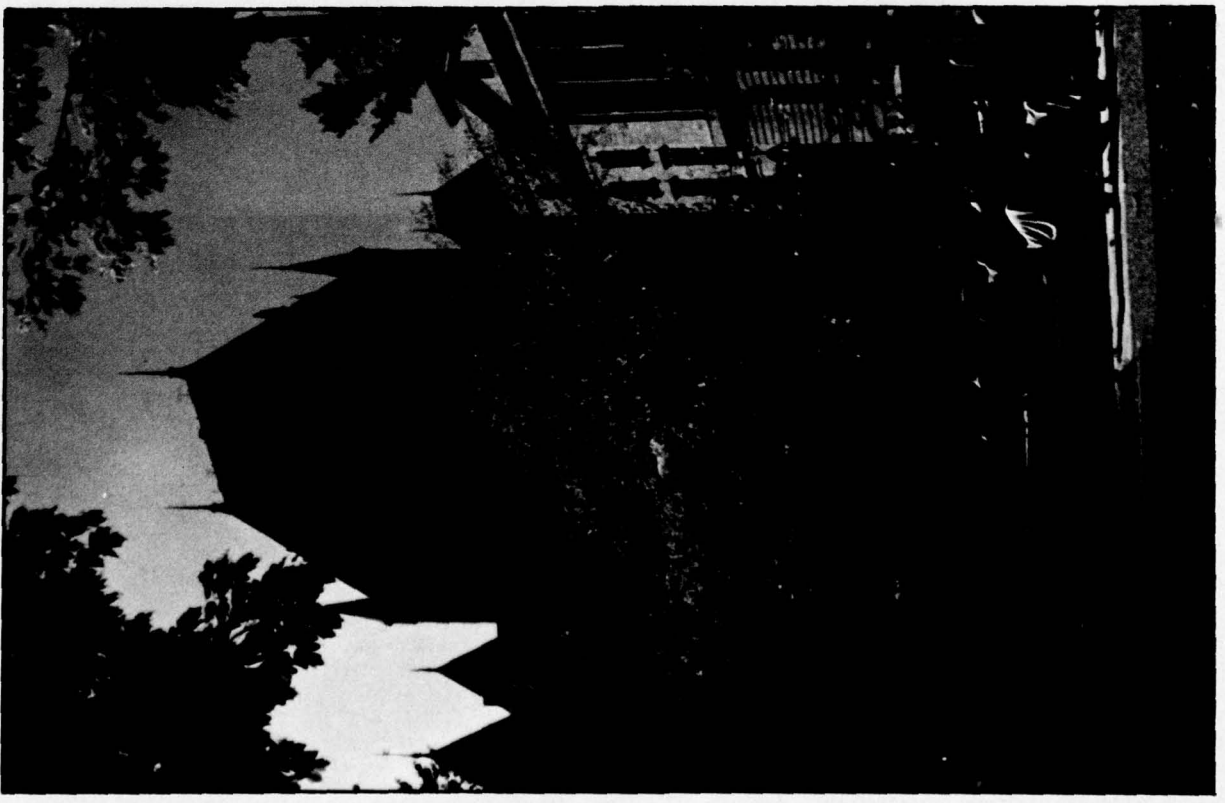
DREV - North Site



DREV - South Site

CRDV - Côte sud





**LE CENTRE**

Le Centre de recherches pour la défense, Valcartier (CRDV) est à la fois le plus considérable des six centres de recherches du ministère de la Défense nationale (MDN) et le plus grand centre de recherches bilingue du gouvernement fédéral. Inauguré en 1945 et situé à 24 km au nord-ouest de Québec où il occupe une superficie d'environ 1000 ha, ce complexe scientifique est doté d'installations très diversifiées et hautement spécialisées. Il compte quelque 665 employés dont 134 scientifiques et 200 techniciens; 20 officiers et membres des Forces canadiennes (FC) participent également à ses divers projets de recherches. Son budget, huit millions excluant les salaires, est réparti entre les programmes scientifiques et les fonctions de soutien.

**THE ESTABLISHMENT**

The Defence Research Establishment Valcartier (DREV) is both the largest of the six research establishments of the Department of National Defence (DND) and the largest bilingual research center of the federal government. Inaugurated in 1945 and located 24 km northwest of Quebec City, where it covers an area of about 1000 ha, this scientific complex possesses diversified and highly specialized facilities. Its staff, numbering approximately 665 employees, includes 134 scientists and 200 technicians; 20 members of the Canadian Forces (CF), including 9 officers, participate in its various research projects. Its budget, eight millions excluding salaries, is distributed between scientific programs and support functions.

Accession For	
NTIS GRA&I	☐
DDC TAB	
Unannounced Justification	
By Per DTIC Form 500g	
Distribution/ File	
Availability Codes	
Dist.	Avail and/or special
A	

# INTRODUCTION

# INTRODUCTION

## SA MISSION et SON PROGRAMME

Le Centre joue un rôle important dans la défense du Canada; en effet, il fournit son expertise technique aux FC et poursuit un vaste programme d'analyses scientifiques, d'évaluations et de recherches et développement dans les domaines de l'équipement, la propulsion, les lasers, la surveillance et les systèmes de données tactiques. Ce programme, révisé périodiquement par le Chef de la recherche et du développement (CRD) en collaboration avec d'autres directions du Ministère et les pays alliés, est complété par des contrats à l'industrie et aux universités canadiennes et par des projets conjoints avec les pays de l'OTAN, l'Australie et la Nouvelle-Zélande. En outre, le Centre met ses compétences et ses installations à la disposition de l'industrie et des organismes gouvernementaux et poursuit un programme de transfert de technologie.

Plus récemment, le CRDV s'est penché sur les nouvelles technologies, les études de faisabilité de systèmes, les mises au point et les applications militaires.

## LE RAPPORT

Ce rapport poursuit un triple but: premièrement, informer le personnel scientifique et technique du ministère de la Défense nationale, des universités et de l'industrie des activités du CRDV, de ses possibilités et de ses installations; deuxièmement, faire l'historique de l'un des programmes techniques en insistant sur les réalisations les plus marquantes de ce programme; et, troisièmement, relater les progrès réalisés dans les autres programmes depuis le dernier rapport.

Le premier chapitre fait revivre plus de vingt ans de recherches dans le domaine de l'équipement. Les deux chapitres suivants traitent des autres programmes en cours, soit la Surveillance et la télé-détection, et les Communications, commandement et contrôle. Pour terminer, un montage photographique illustre les principales installations dont dispose le CRDV.

## ITS MISSION and PROGRAM

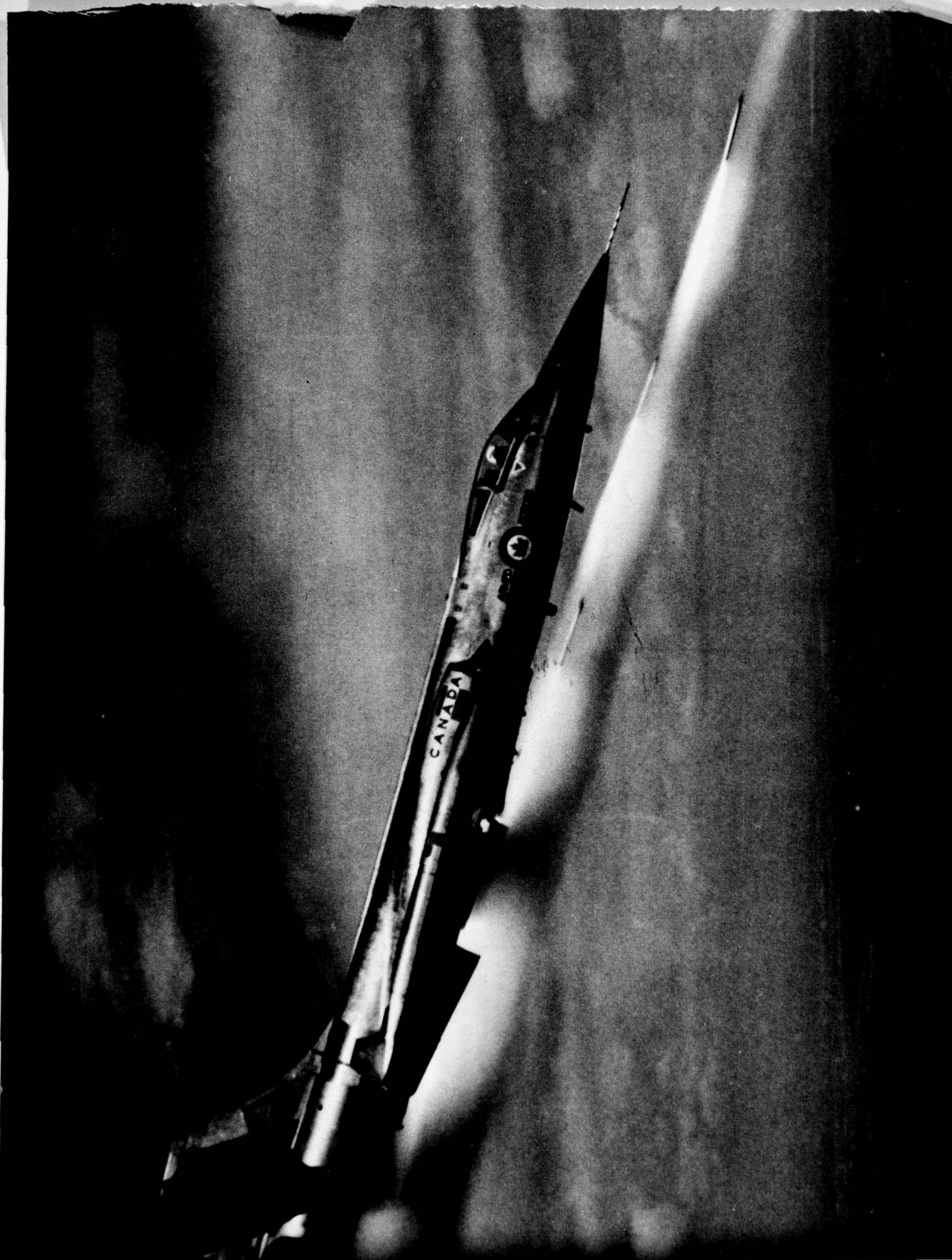
The Establishment plays an important role in Canadian defence by providing the CF with its technical expertise and by conducting a broad program of scientific analyses, evaluations and research and development in the fields of ordnance, propulsion, lasers, surveillance and tactical data systems. Periodically revised by the Chief of Research and Development (CRAD) in consultation with other branches and directorates of the Department, its program is supplemented by contracts with Canadian industries and universities and by cooperative projects involving NATO countries, Australia and New Zealand. Under certain conditions, the Establishment also provides industry and government agencies with access to its unique facilities and skills while generally pursuing a program of technology transfer.

In recent years, the DREV program has been re-oriented towards new technologies, system feasibility studies, developments and military applications.

## THE REPORT

The purpose of this report is threefold: first, to provide scientific and technical personnel of the Department of National Defence, universities and industry with a broad description of the Establishment's activities, capabilities and major facilities; second, to highlight one technical program by covering in retrospect and in great detail the most significant achievements, and third, to cover the most important progress made in the other technical programs since the last report was published.

The first chapter relates more than twenty years of activities in the field of Ordnance. The following two chapters deal with the other current technical programs, namely, Surveillance and Remote Sensing, and Communications, Command and Control. Finally a pictorial display of the major facilities of the Establishment is presented.



# EQUIPEMENT

## INTRODUCTION

Peu après le début de la Seconde Guerre mondiale, le Canada réalisa qu'il devait donner à ses Forces armées un soutien scientifique adéquat. Le Conseil national de recherches (CNR), le seul organisme fédéral disposant alors des ressources voulues, entreprit la mise sur pied de laboratoires de recherches pour la défense, assignant à chacun un domaine spécifique de la technologie. L'un d'eux, le Laboratoire des explosifs, était situé à Valcartier, Québec, adjacent à l'usine de munitions des Arsenaux canadiens. A la fin de la guerre, comme on reconnaissait le besoin de recherches soutenues en matière de défense et que, d'autre part, le CNR désirait retourner à sa mission originale, on transféra au ministère de la Défense nationale (MDN) la responsabilité de la plupart des laboratoires nouvellement établis. Le Laboratoire des explosifs de Valcartier devint alors le Centre canadien de recherches et de perfectionnement des armes (CARDE). Deux ans plus tard, le 1er avril 1947, ce Centre était intégré au nouveau Conseil de recherches pour la défense (CRD).

Le CARDE, comme son nom l'indique, s'occupait alors exclusivement de recherches sur l'armement, ce

qu'il fit jusqu'au milieu des années 50, quand sa participation à la défense internationale contre les missiles balistiques intercontinentaux l'amena à étendre ses activités à d'autres domaines de la science de la défense. Néanmoins, les travaux de ce Centre en matière d'équipement sont toujours demeurés prépondérants.

En 1969, le nom du centre était changé à Centre de recherches pour la défense, Valcartier (CRDV) afin de mieux illustrer ses champs d'activités courants.

Le présent chapitre décrit les principales réalisations des deux dernières décennies dans le domaine de l'équipement.

# ORDNANCE

## INTRODUCTION

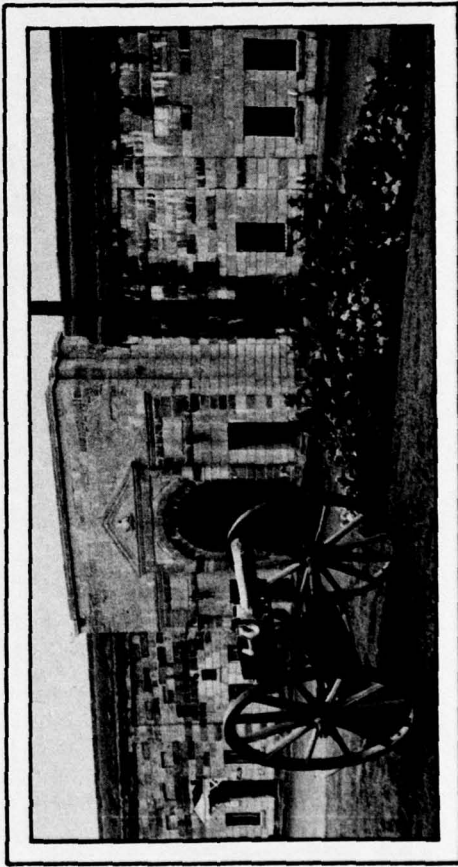
Soon after the outbreak of the Second World War, Canada realized the necessity of providing its Armed Forces with scientific support. The National Research Council (NRC), the only federal research agency having the appropriate resources at the time, undertook to set up a number of defence-oriented laboratories, assigning each one a specific field of technology. One of these, the Explosives Laboratory, was located at Valcartier, Quebec, adjacent to the ammunition plant of the Canadian Arsenals. At the end of the war, the need for a sustained defence research effort being recognized and NRC wishing to return to its original

mission, the jurisdiction of most of these newly established laboratories was transferred to the Department of National Defence (DND). The Explosives Laboratory of Valcartier was then renamed Canadian Armament Research and Development Establishment (CARDE). Two years later, on 1 April 1947, it became a constituent of the newly created Defence Research Board (DRB).

CARDE, as its name implied, was then engaged exclusively in the field of armaments and continued to be until the mid-1950s, when its participation in the international problem of defence against Intercontinental Ballistic Missiles (ICBM) made it necessary to expand its activities to other areas of defence science. The activities of this Establishment in ordnance have nevertheless always remained predominant.

In 1969, the name of the Establishment was changed to Defence Research Establishment Valcartier (DREV) in order to better reflect its involvement in different fields of activities pertaining to defence science.

This chapter describes the major achievements of the last two decades in the field of ordnance.



## BALISTIQUE

### Munitions

Dans le domaine des munitions, le CRDV s'est surtout efforcé d'améliorer la précision, la portée et l'efficacité des armes classiques. Cette approche a donné d'excellents résultats, et ceci à une fraction du temps, de l'effort et du coût qu'aurait normalement exigés la conception de munitions tout à fait nouvelles.

Ainsi, pour mettre au point le projectile perforant C44 de calibre 0.50 utilisé par les Forces canadiennes, le CRDV a employé plusieurs composantes et techniques de production de l'ancienne munition AP-M2; ce faisant, il réduisit le coût du projectile et assura sa compatibilité avec les armes déjà existantes. Cependant, des changements importants dans la conception intérieure du projectile ont grandement augmenté sa capacité de perforation. Des évaluations indépendantes effectuées par l'armée américaine ont démontré que, contre les cibles blindées, ce projectile est plus efficace que tout autre de même calibre.

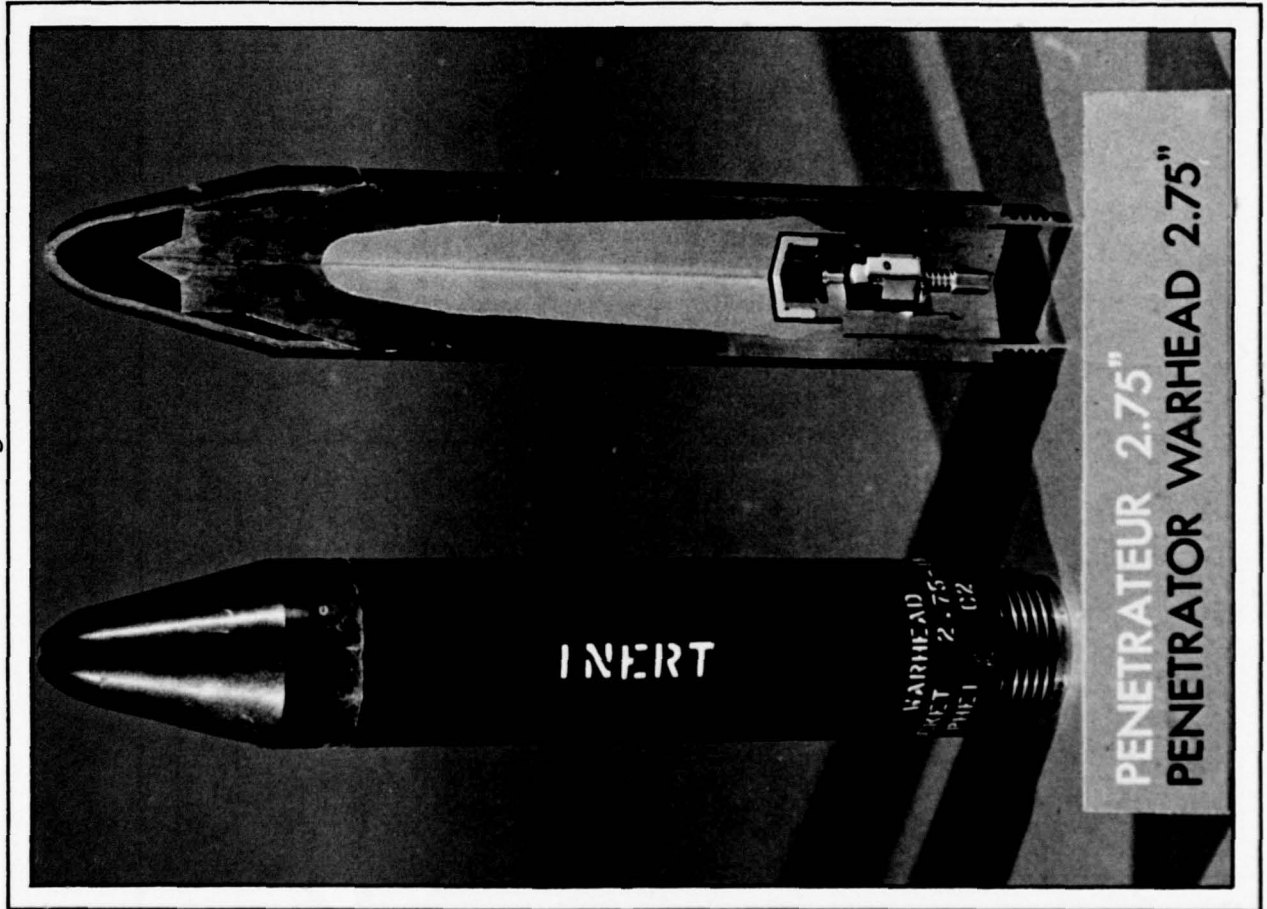
Il peut arriver toutefois que les conditions exigent la conception de modèles tout à fait nouveaux. Par exemple, les travaux actuels sont axés sur la conception et la mise au point d'ogives pour la roquette de 2.75 pouces. On travaille actuellement sur un projet d'importance

## BALLISTICS

### Ammunition

In the field of ammunition, DREV's efforts have been oriented mainly towards increasing the range, accuracy and effectiveness of existing conventional weapons. This approach has yielded excellent results at a fraction of the time, effort and cost that would normally be required to develop completely new ammunition. For example, the 0.50-in caliber C44 armor-piercing projectile currently in service with the Canadian Forces was developed at DREV utilizing several components and production techniques in common with the older AP-M2 ammunition; this resulted in lower costs and ensured compatibility with existing weapons. However, significant changes to the interior design of the projectile provided greatly enhanced armor penetration performance. Independent evaluations carried out by the US Army have shown this projectile to be more effective against armored targets than any other projectile of the same caliber.

Occasionally, requirements arise which necessitate that completely new developments be undertaken. For example, current activities are focused mainly on the design and development of warheads for the 2.75-in rocket weapon system. Of primary interest is the Penetrating



PENETRATEUR 2.75"  
PENETRATOR WARHEAD 2.75"

primordiale: le développement de l'ogive C2 à explosif pénétrant incendiaire (EPI) pour en faire une arme d'attaque efficace à basse altitude contre les terrains d'aviation. On étudie, entre autres, une ogive à énergie cinétique pouvant être employée avec la roquette air-sol contre les blindés. Cette ogive utilisera l'énergie cinétique exceptionnellement élevée du moteur-fusée perfectionné CRV7.

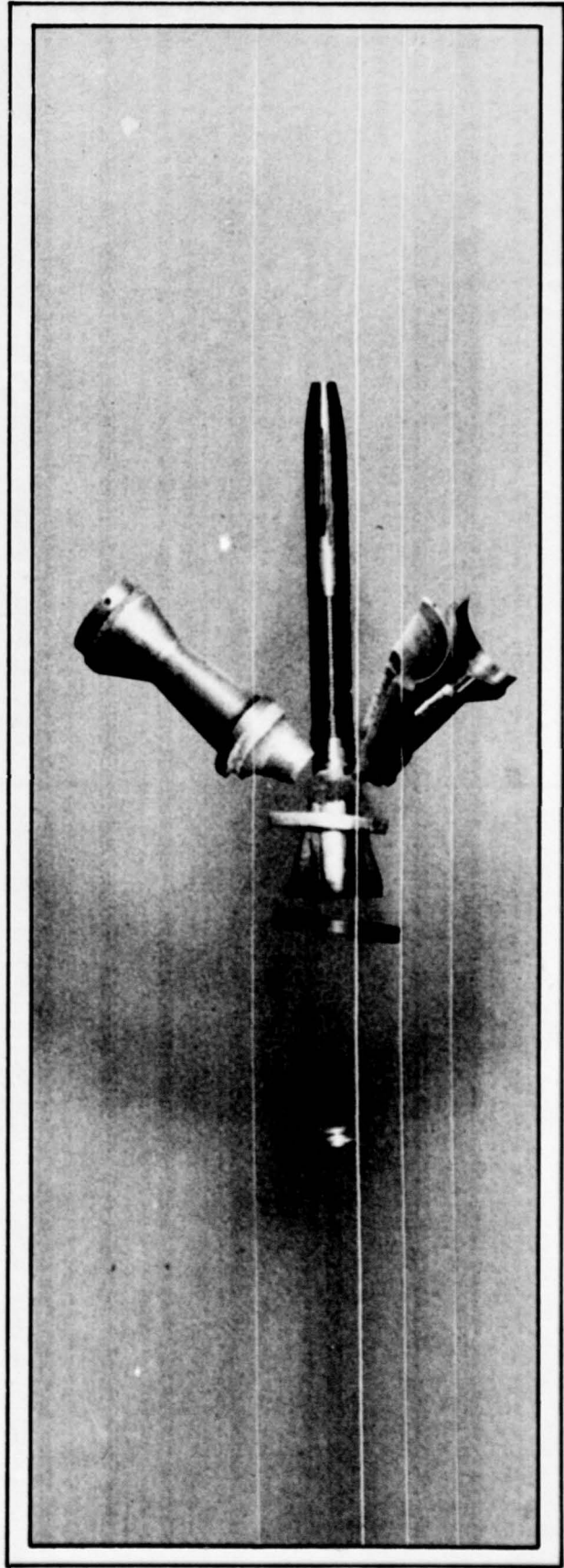
Les études spéculatives individuelles peuvent parfois avoir des résultats d'une grande portée. Un excellent exemple des avantages du travail exploratoire effectué sur de nouvelles conceptions est le projectile tubulaire rotatif (PTR). Des

études aérodynamiques limitées sur le PTR au début des années 70 ont conduit à la conception d'un projectile qui suscite aujourd'hui beaucoup d'intérêt grâce à ses qualités virtuelles comme munition d'exercice pour les projectiles à très haute vitesse. Etant donné ses caractéristiques aérodynamiques inusitées, le PTR peut être utilisé pour reproduire une trajectoire comparable à celle des munitions de combat de haute vitesse. D'autre part, sa portée plus courte en fait une munition idéale pour les zones d'entraînement de dimensions restreintes. Ses caractéristiques de pénétration sont aussi très différentes de celles d'un projectile classique et promettent d'être très efficaces contre certaines catégories de cibles.

High-Explosive Incendiary (PHEI) C2 warhead being developed to provide an effective low-level-attack capability against airfield complexes. Among others being considered is a kinetic-energy warhead to be used in an air-to-ground anti-armor role. This warhead will exploit the unusually high kinetic energy of the advanced CRV7 rocket motor.

Sometimes the results of speculative individual studies can have far-reaching effects. An excellent example of the benefits of exploratory work on novel concepts is the Spinning Tubular Projectile or STUP. Limited aerodynamic studies of STUP in the early 70s have led to a projectile concept that is generating

considerable interest today in its potential for practice ammunition for very-high-speed projectiles. Because of its unusual aerodynamic characteristics, the STUP projectile may be used to give an excellent ballistic match to high-velocity combat ammunition, while having a limited range characteristic that makes it ideal for use on training areas that are restricted in size. Its armor penetration characteristics are also quite different from those of a conventional projectile and show promise of being very effective against certain classes of targets.



### Mécanique de la pénétration

Au cours des années, on a effectué des études poussées sur le mécanisme de la pénétration des blindages. Ces études ont porté sur de nombreux pénétrateurs de dimensions, de formes et de vitesses diverses, et sur une variété de cibles, depuis les blindages légers en céramique pour le personnel militaire jusqu'aux blindages lourds pour les chars d'assaut. Ces travaux ont fourni une base technologique sûre qui a été utilisée non seulement pour évaluer le rendement de nombreuses armes et mettre au point des munitions, mais pour donner aux autorités civiles les connaissances techniques en matière de conception.

Des recherches plus récentes sur le phénomène de pénétration ont porté sur les matériaux de cibles, tels le béton, la terre et le sable et même la glace. Elles ont généralement servi au perfectionnement des armes destinées à placer des ogives explosives à l'intérieur des casemates ou, dans le cas de la glace, à placer rapidement sous la glace arctique des instruments, comme les bouées acoustiques, pour la détection sous-marine.

### Charges creuses

En raison de leurs possibilités bien connues de pénétration des cibles, les charges creuses constituent un élément important pour toute organisation militaire. Au cours des der-

nières années, on a fait des études poussées sur ces charges afin d'en mieux comprendre le fonctionnement et, par la suite, d'en améliorer le rendement. Ces études comprenaient des expériences sur la densité, la ductilité et la forme du revêtement, et sur les caractéristiques de la charge explosive. Des études analytiques ont également été entreprises et un code-machine a été élaboré pour faciliter l'optimisation théorique de ces dispositifs. Ce travail a conduit à la conception d'une charge creuse qui perce, dans des cibles d'acier épais, un trou dont le diamètre de sortie est de trois ou quatre fois supérieur au diamètre d'entrée; cette charge est beaucoup plus efficace pour les dommages causés 'derrière la cible'. Plus récemment, on a démontré qu'il était possible de fabriquer des revêtements de charges creuses à jets massifs par le compactage des poudres. Cette technique pourrait éliminer les opérations d'usinage de précision et permettre l'utilisation de matériaux à faible ductilité et à haute densité.

### Balistique interne des canons

Au début des années 70, l'augmentation de la vitesse des munitions à énergie cinétique lancées à partir de canons de chars suscitait un intérêt considérable. Des expériences préliminaires ont vite démontré que la théorie de la balistique interne alors connue ne pouvait s'appliquer à des vitesses et à des pressions supérieures à celles des armes militaires. On a

### Penetration Mechanics

Over the years, comprehensive fundamental studies have been carried out to investigate the mechanisms of armor penetration. These studies have covered a wide range of penetrator sizes, shapes and velocities, and a variety of targets from light ceramic armor suitable for military personnel all the way up to massive tank-type armor. This work established a sound technology base which has since been utilized effectively not only in evaluating the performance of many weapons and developing ammunitions but also in providing design expertise to civilian authorities.

More recent investigations of penetration phenomena have involved target materials such as concrete, soil/sand, and even ice. They have usually been done in support of weapon developments aimed at placing explosive warheads inside bunkers or, in the case of ice, at quickly emplacing instrumentation underneath arctic ice, e.g. sonobuoys for submarine detection.

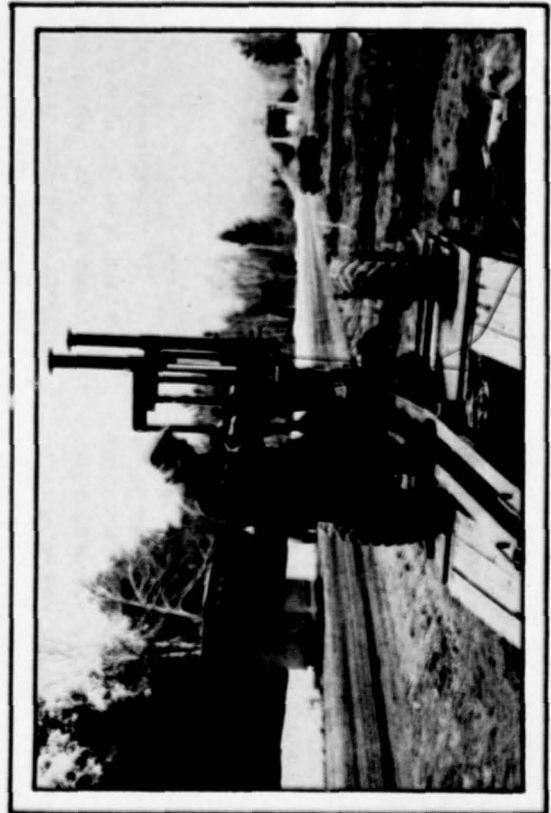
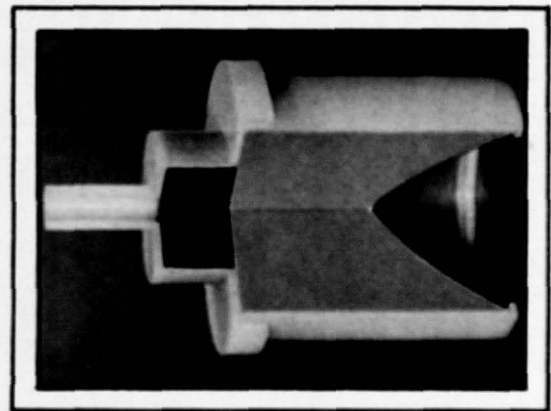
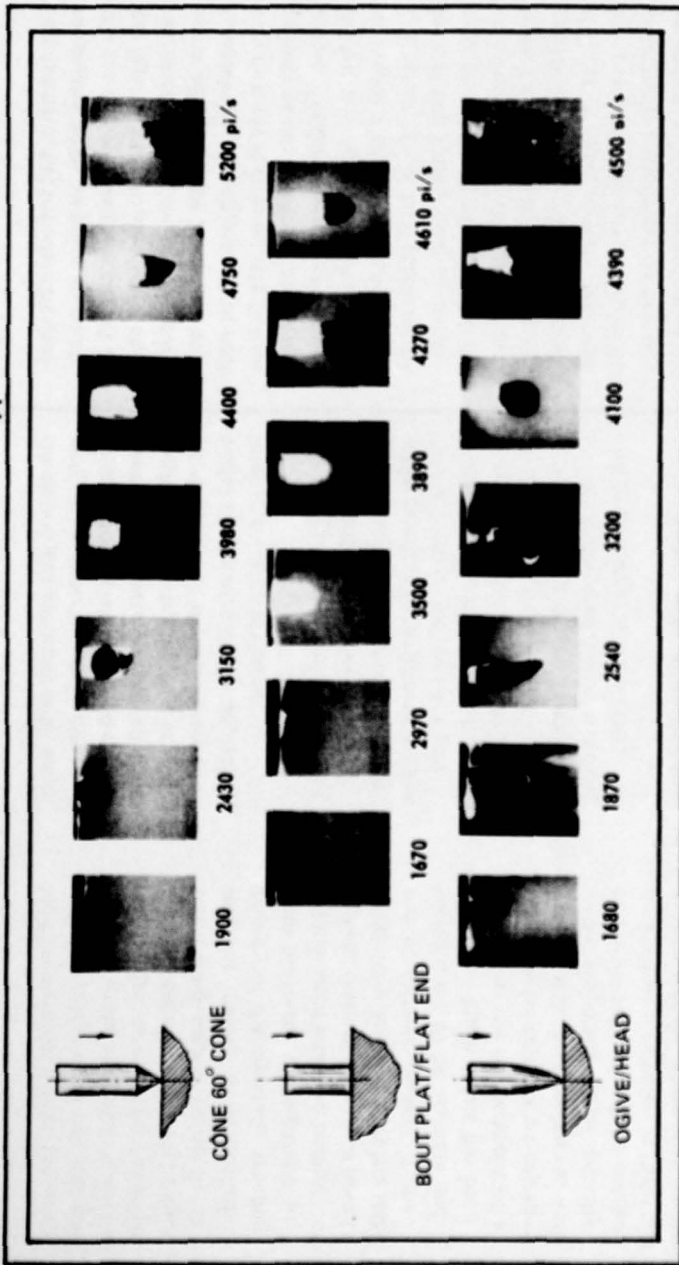
### Shaped Charges

The well-known target penetration capabilities of shaped charges make them a valuable store for a military organization. Extensive studies of the operation of the shaped charge

were made over the past few years to better understand its functioning and, subsequently, to improve its performance. These studies included experimentation on the density, ductility and shape of the liner and on the explosive charge characteristics. Analytical studies were also undertaken and a computer code was developed to permit the theoretical optimization of such devices. One output of this work was the design of a shaped charge that produces a small entry hole and a much larger (three or four times the diameter) exit hole in thick steel targets; such a shaped charge is far more effective for 'behind target' damage. More recently, the possibility of producing 'massive jet' shaped charge liners by powder compaction was demonstrated. This could eliminate precision machining operations and allow the use of low-ductility, high-density materials.

### Internal Ballistics of Guns

In the early 70s, there was considerable interest in increasing the velocity of kinetic energy ammunition fired from tank guns. Preliminary experimental work indicated very quickly that the state-of-the-art internal ballistic theory did not hold for velocities and pressures in excess of those found in service weapons. Theoretical studies, supported by



entrepris des études théoriques, étayées de simulations et d'analyses par ordinateur ainsi que des expériences en vases clos et avec des canons expérimentaux conçus spécialement à cette fin. Ce travail, qui s'est échelonné sur plusieurs années, a permis de développer des codes-machines plus précis et plus utiles pour analyser les problèmes de balistique interne.

Durant ces années, on a étudié plusieurs autres problèmes connexes à la balistique interne, par exemple: l'allumage instantané de toute la surface du propergol, l'optimisation des formes de la chambre, la diminution de l'usure du canon, le refroidissement de la couche limite, la combustion érosive des propergols et la simulation en ordinateur de la charge mobile des canons et des fusils sans recul.

Les travaux récents en balistique interne ont été axés sur le maintien de la puissance de nos ordinateurs par la mise à jour des codes-machines afin de tirer avantage des techniques analytiques plus modernes et plus efficaces dès qu'elles deviennent disponibles.

#### **Balistique externe**

L'aérobalistique et l'aéromécanique théoriques et expérimentales ont toujours représenté un élément particulièrement important de la contribution du CRDV au programme de

l'équipement. Les installations expérimentales mises au point au cours des ans comprennent des canons à gaz léger et à très haute vitesse, des corridors de tir à vide, des corridors de tir aérobalistique à pression atmosphérique, des champs de tir pour canons rayés et canons lisses de tous calibres et une soufflerie aérodynamique. Toutes les armes entraînent de fait une poussée aérobalistique de l'ogive. Qu'ils soient lancés d'engins air-air, air-sol ou d'engins au sol, les bombes, fusées, obus ou balles, pour être précis et efficaces, doivent tous être conçus avec soin et de manière à suivre une trajectoire stable et prévisible. On a consacré beaucoup d'effort à l'élaboration d'une technique permettant l'analyse précise de trajectoires à six degrés de liberté, de même qu'à la conception et à l'utilisation d'ogives spécialement équipées pour mesurer les paramètres aérobalistiques en vol et transmettre à distance les renseignements à une station terrestre.

Au début des années 70, le CRDV a entrepris des études poussées sur la méthodologie de l'aérodynamique dans le but spécifique d'obtenir la certification d'avions transportant de l'armement externe. L'objectif premier était d'élaborer une base technologique à jour et de la transférer à l'industrie canadienne. Il a fallu étudier les effets aéroélastiques de la distorsion du modèle de l'écoulement autour de l'armement externe et des modifications du

simulation and computer analyses as well as by experiments in closed vessels and specially designed experimental guns, were undertaken. This work, which extended over several years, produced more accurate and useful computer codes for analyzing internal ballistics problems.

Many other problems related to internal ballistics were studied during these years; for example, the achievement of instantaneous ignition over the entire surface of a gun propellant charge, optimization of chamber configurations, reduction of barrel wear, boundary-layer cooling, erosive burning of gun propellants, and computer simulation of travelling charge guns and recoilless rifles.

Recent work in internal ballistics has been devoted to maintaining our computational capability by updating existing computer codes to take advantage of more modern and effective analytical techniques as they become available.

#### **External Ballistics**

Theoretical and experimental aeroballistics and aeromechanics have always been a particularly strong component of DREV's input to the Ordnance Program. The experimental

facilities developed over the years include hypervelocity light-gas guns, vacuum ranges, atmospheric aerobalistic ranges, open ranges for rifled and smoothbore guns of all calibers, and a wind tunnel. Virtually all weapons involve an aerobalistic delivery of the warhead. Whether from air-to-air, air-to-ground or ground-based weapons, bombs, rockets, shells or bullets, all have to be carefully designed to fly in a stable and predictable manner if the weapons are to be accurate and effective. Much effort has been devoted to the development of a capability for accurate six-degree-of-freedom trajectory analyses as well as to the design and use of specially instrumented warheads to measure aerobalistic parameters in flight and to telemeter the information back to a ground receiving station.

In the early 70s, DREV undertook comprehensive studies of the aerodynamic methodology specific to the clearance for military use of aircraft carrying ordnance outside their body. The primary objective was to develop a state-of-the-art technology base and to transfer this information to Canadian industry. This involved studies of aeroelastic effects caused by the distortion of the 'design' flow field around the external stores coupled with changes in the inertial profile of the aircraft. Also considered were near-field flow characteristics during separation of external stores and the subsequent

profil inertiel de l'avion. On a aussi étudié les caractéristiques du champ proche durant la séparation du matériel externe et les effets subséquents sur le comportement en vol et la précision de l'arme. Ce travail a abouti au transfert de cette technologie à l'industrie et à la désignation de la firme Canadair Ltée comme centre d'expertise canadien.

On fait actuellement des efforts particuliers afin d'évaluer toutes les techniques utilisées internationalement pour calculer la poussée aérodynamique des armes aéroportées et pour élaborer une méthodologie optimale à l'intention de tous les organismes canadiens intéressés.

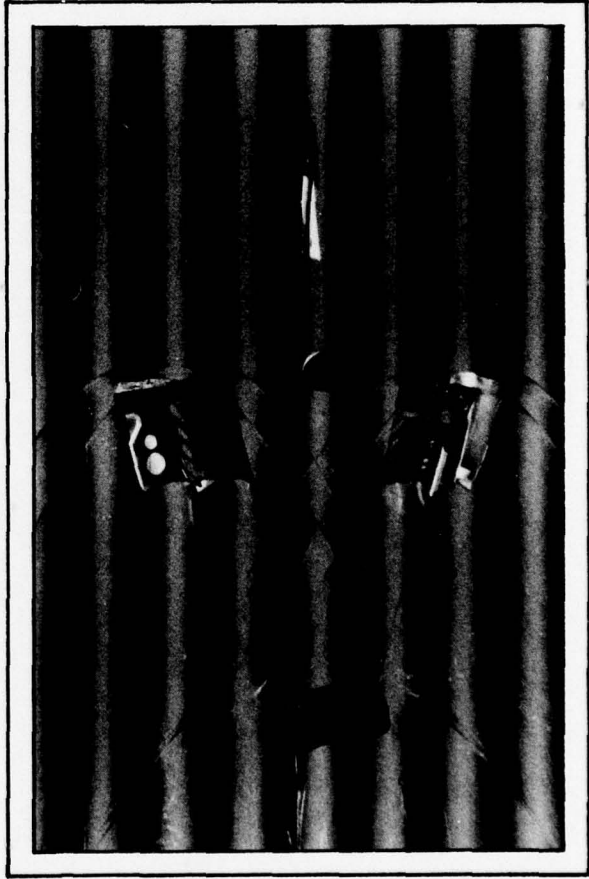
### SYSTEMES D'ARMES

#### Conception des armes et prédiction de leur vie utile

Au cours des dernières années, le CRDV a entrepris de former une équipe de conseillers en matière de techniques courantes sur la conception des armes, y compris l'identification des composantes vulnérables des armes de fabrication étrangère, des méthodes d'inspection non destructives et de prédiction du reste de vie sécuritaire des armes. Par exemple, on a effectué une étude à l'appui du programme de perfectionnement de l'artillerie des Forces canadiennes pour les années 80. Le CRDV a fait une évaluation technique détaillée des méthodes utilisées pour conce-

voir et mettre au point des systèmes d'armes par ailleurs intéressants afin de déterminer si, étant donné leur vie utile, ils peuvent être employés par les FC. Cette évaluation comporte l'identification des objectifs originaux de conception, leurs différences avec les exigences canadiennes et les implications techniques de ces différences. Les techniques de conception, la méthodologie, les matériaux, les méthodes de production et les essais spécifiques de mise au point menés pour vérifier ces conceptions ont été étudiés en détail, et les lacunes techniques possibles ont été identifiées. On a porté une attention particulière au rendement prévu des armes tout au long de leur vie utile.

L'une des technologies fon-



effects on weapon flight behavior and accuracy. Work in this field was terminated with the transfer of this technology to industry and the establishment of Canadair as the Canadian center of expertise.

A major effort is being made to evaluate all the techniques used internationally to compute release aerodynamics for air-delivered weapons and to develop an optimum methodology for all concerned agencies in Canada.

### WEAPON SYSTEMS

#### Weapon Design, Life Cycle Technology

In recent years, DREV has under-

taken to develop and maintain a consulting capability on current weapon design techniques including the identification of critical components in foreign-built weapons, methods of nondestructive inspection and prediction of residual safe life.

A current example of the application of this capability is a study carried out in support of the Canadian Forces Artillery Improvement Program, Post 1980. In this instance, DREV conducted a detailed technical appraisal of the procedures used to design and develop candidate weapon systems in order to identify their suitability (from the life cycle viewpoint) for use by the CF. This appraisal included the identification of the original design objectives, their differences from the Canadian requirements and the technical implications of these differences. The design techniques and methodology, materials, production methods and specific development testing conducted to prove the designs were studied in detail and potential technical weaknesses were identified. Particular attention was paid to the anticipated performance of the weapons throughout the intended operational life.

One of the primary technologies that form part of this capability is the discipline of structural mechanics. Recently, a large general-purpose finite element structural analysis computer code, the Atkin's Stress Analysis System (ASAS), supported by interactive graphical

damentales examinées par cette équipe est la mécanique de la structure. Récemment, un vaste code-machinier polyvalent a été mis en service au CRDV pour l'analyse des structures par éléments finis; il s'agit du code-machine SAEA (Système d'analyse élastométrique d'Atkins) qui est complété par des pré- et des post-processeurs graphiques interactifs. La valeur du modèle en ordinateur des dessins préliminaires a déjà été démontrée par l'application du code à un certain nombre de concepts courants pour affiner le modèle avant de fabriquer le prototype et d'effectuer les essais expérimentaux. Le programme choisi par le CRDV a depuis été adopté par d'autres centres de recherches.

#### Analyse des systèmes d'armes

L'essai réel d'un système d'armes constitue le moyen le plus sûr de vérifier s'il répond aux exigences opérationnelles. Les analyses de rendement en ordinateur sont un peu moins sûres mais non moins nécessaires car elles compensent pour les essais réels qu'on omet souvent de faire vu le coût élevé, le manque de temps ou de systèmes courants. L'analyse du rendement technique des systèmes d'armes est la responsabilité première du CRDV alors que celle du rendement opérationnel relève du CARO (Chef, Analyse et recherche opérationnelle) au QGDN. Cependant, les études opérationnelles exigeant un matériel informatique

puissant et des compétences particulières peuvent se faire au CRDV qui dispose des ressources voulues. C'est le cas, par exemple, des simulations par la méthode Monte-Carlo dans l'étude de l'utilisation tactique des systèmes d'armes. Ces études sont menées au CRDV en collaboration avec le CARO qui fait l'interprétation finale des résultats.

La première simulation Monte-Carlo effectuée au CRDV se rapportait à la construction de l'hélicoptère Bras d'Or. Elle a permis de mettre sur pied une structure de simulation et un groupe de programmes qui constituent maintenant un langage de simulation complet adapté à la guerre anti-sous-marine (ASM). Il s'agit d'un langage très souple qui possède une particularité unique, celle de réunir toutes les décisions tactiques qui doivent être simulées dans un seul sous-programme qu'on peut changer à volonté sans avoir à modifier d'autres sous-programmes.

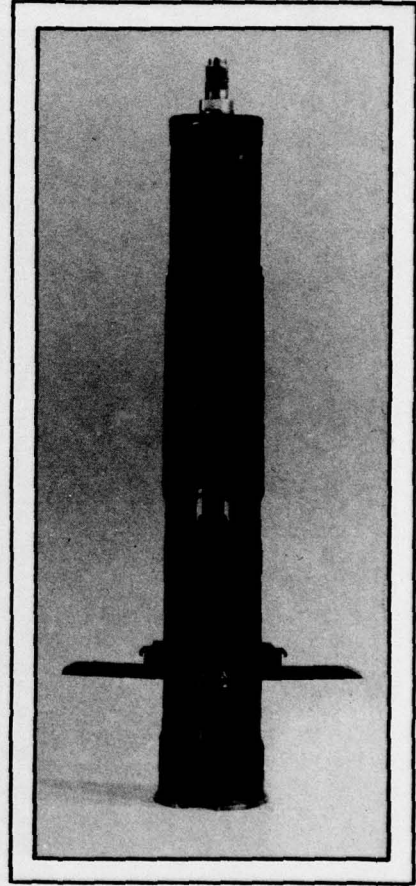
pre- and post-processors, was installed at DREV. The value of computer modeling of preliminary designs has already been demonstrated by applying the code to a number of current concepts to refine the designs prior to prototyping and experimental testing. The program selected by DREV has since been adopted by other DREs.

means of computers are slightly less reliable but are no less necessary since they make up for the actual testing often denied because of either high costs, lack of time or unavailability of current systems. The analysis of the technical performance of weapon systems is a prime responsibility of DREV, whereas the responsibility for the analysis of the operational performance rests with the Chief Operational Research and Analysis (CORA) at NDHQ. However, CF operational studies requiring powerful computer equipment and/or special skills are sometimes conducted at DREV where these resources are available. This is the case, for instance, when Monte-Carlo simulations are required for the study of the tactical use of weapon systems. Such studies are conducted at DREV in collaboration with CORA who carries out the final interpretation of results.

#### Weapon Systems Analysis

The actual testing of a weapon system constitutes the most reliable way to evaluate its operational suitability. Performance analyses carried out by

The first Monte-Carlo simulation conducted at DREV was related to the construction of the hydrofoil 'Bras d'Or' and has led to the establishment of a simulation structure and a group of programs which now constitute a complete simulation language adapted to antisubmarine warfare (ASW). This is a highly versatile language which possesses a unique characteristic: all tactical decisions to be simulated are written in only one subprogram that may be changed at will without any other subprogram having to be modified.



L'avion de patrouille à long rayon d'action "Aurora" récemment acheté par le Canada a été le premier système d'envergure étudié au moyen du langage de simulation Monte-Carlo. Les résultats ont été largement utilisés par le QGDN pour choisir son système d'armes ASM: le type et le nombre de bouées acoustiques à transporter, le système de traitement des données, etc. Les résultats ont aussi servi à optimiser certaines procédures tactiques associées au système d'armes choisis.

Plus récemment, des études ont été effectuées pour évaluer l'efficacité de canons automatiques à tir rapide, munis d'un radar de conduite du tir, dans la défense à très courte portée des navires de la marine contre les missiles antinavires. Ces études ont nécessité la simulation analytique du système d'armes, l'acquisition d'objectifs, la conduite du tir et le comportement balistique du projectile, complétée par une simulation expérimentale des interactions cible-projectile. Cette dernière impliquait le choix d'un calibre de canon optimal, la conception de projectiles nouveaux compatibles avec les armes disponibles de même calibre, et la détermination expérimentale de l'efficacité terminale de ces projectiles contre les missiles simulés.

Des études semblables ont été effectuées pour déterminer l'efficacité des systèmes d'armes de bord contre les torpilles. Ces études ont

par la suite été étendues pour déterminer les caractéristiques optimales d'un système d'armes conçu spécifiquement pour ce rôle tactique et soumis aux limitations prévues tant pour les sonars actifs que passifs.

Dans un contexte quelque peu différent, on a terminé une étude poussée sur la possibilité de constituer au Canada un champ naval mobile pour donner un cadre réaliste aux exercices, aux essais et à l'évaluation des canons de navires et des systèmes de défense aérienne contre les missiles. Le groupe d'étude a examiné minutieusement les problèmes opérationnels et a fait des recommandations détaillées sur les exigences touchant la surveillance, l'acquisition et la poursuite de cibles, les communications, l'instrumentation, le calcul, l'affichage des données, les cibles et engins téléguidés, le balayage, la formation et les coûts d'ensemble de mise en marche, d'entretien et d'exploitation. On travaille présentement à la mise au point d'un programme en ordinateur pour évaluer la probabilité de frappe et la vulnérabilité des blindés.

Une nouvelle technique permet la simulation simple de cibles à trois dimensions par l'utilisation de surfaces triangulaires pour représenter la structure de façon assez détaillée. On a mis au point deux sous-programmes: l'un pour les armes antichars légères (AAL) et l'autre pour le principal système d'armes d'un

The long-range patrol aircraft 'Aurora' recently purchased by Canada was the first large-scale system studied by means of the Monte-Carlo simulation language. The results were widely utilized by NDHQ to select its ASW armament system: type of sonobuoys, number of sonobuoys to be carried, data handling system, etc. They were also used to optimize certain tactical procedures related to the selected weapon system.

More recently, studies have been carried out to evaluate the effectiveness of rapid-fire automatic cannon with radar-assisted fire control in the very short range defence of naval vessels against anti-ship missiles. These studies have involved the analytical simulation of the weapon system, target acquisition, fire control, and projectile ballistic behavior, supplemented by experimental simulation of projectile-target interactions. The latter involved the selection of an optimum gun caliber, the design of novel projectiles compatible with available weapons of that caliber, and the experimental determination of the terminal effectiveness of these projectiles against simulated missiles.

Similar studies have been carried out to determine the effectiveness of existing shipboard weapon systems against torpedoes. These studies were subsequently extended to determine the optimum charac-

teristics of a weapon system designed specifically for this tactical role, constrained by the limitations foreseen for both active and passive sonars.

In a somewhat different context, an extensive study has been completed on the feasibility of establishing an operational Canadian Mobile Sea Weapons Range to provide a realistic environment for the exercise, testing and evaluating of shipboard gun and missile air defence systems. The study group considered the operational problems in detail and made comprehensive recommendations on requirements related to surveillance, target acquisition and tracking, communications, instrumentation, computation, data display, targets and drones, scanning, training and overall costs for implementation, maintenance and operation. Presently, a computer program is under development to evaluate the hit probability and vulnerability of armored vehicles.

A new modeling technique permits the simple simulation of three-dimensional targets by using triangular surfaces to represent the structure in some detail. Two sub-routines have been developed: one for light anti-armor weapons (LAW) and the other for the main weapon system of a battle tank. The latter subroutine has been employed to investigate the influence of wind sensitivity on the hit probability for

char de combat. Ce dernier sous-programme a permis d'étudier l'influence de la sensibilité au vent des PTR de 105 mm, des obus perforants à sabot détachable (OPSD) et des projectiles d'exercice à sabot détachable (PESD), sur leur probabilité d'impact. Le premier sous-programme a servi à étudier les effets de multiples facteurs de dégradation tels les conditions ambiantes, les supports d'armes et les erreurs humaines.

**Systèmes de guidage**

Afin de conseiller judicieusement les FC sur les problèmes associés à la technologie de guidage des missiles, le CRDV a élargi son programme en créant un sous-

programme sur les systèmes de guidage.

Les travaux ont progressé graduellement: au début ils se limitaient aux contre-mesures appliquées aux missiles téléguidés à l'infrarouge, et maintenant ils englobent l'analyse, la simulation et l'application de nouveaux concepts au guidage en phase terminale des missiles guidés optiquement. L'accent est mis sur les techniques de traitement des signaux dans l'autodirecteur et les systèmes de commandes appliqués aux missiles sol-sol et air-sol.

On a prêté une attention particulière aux systèmes d'acquisition et de poursuite automatique des

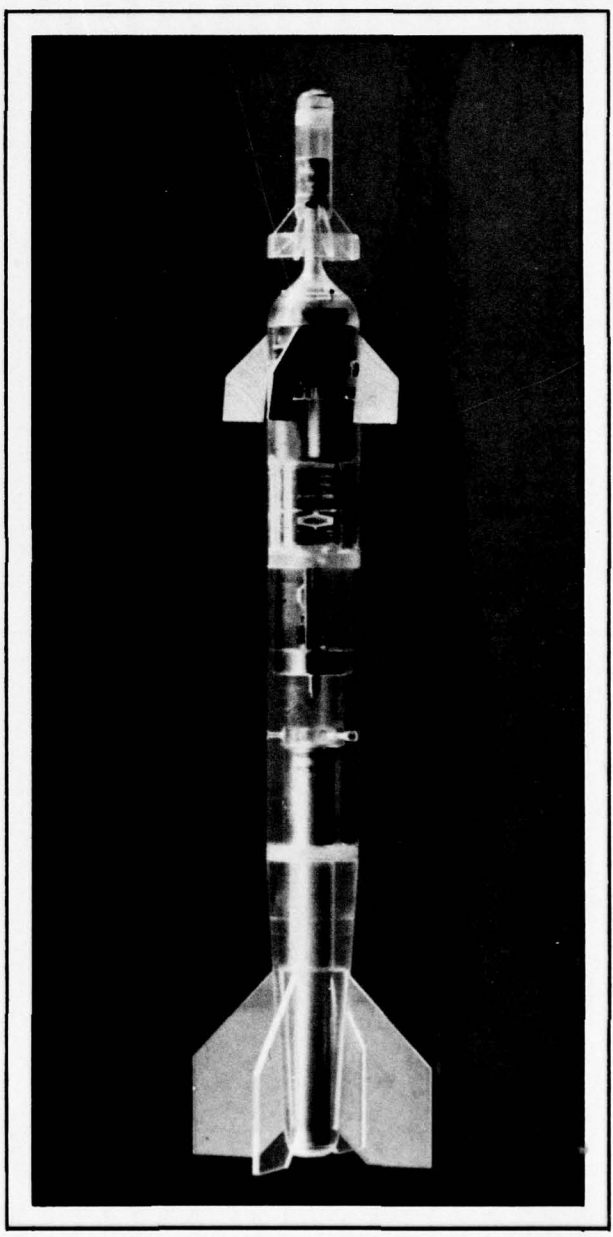
105-mm STUP, APDS and TPDS projectiles. The LAW subroutine has been used to study the effects of many degrading factors such as environmental conditions, weapon supports and human errors.

Work in this area has gradually progressed from the initial limited effort on countermeasures against infrared-guided missiles; it now encompasses the analysis, simulation and application of new concepts to the terminal guidance of optically guided missiles. Emphasis is placed on signal-processing techniques in seekers and control systems for ground-to-ground and air-to-ground missile applications.

**Guidance and Control**

To provide suitable advice to the CF on problems related to missile guidance technology, DREV has expanded its Ordnance Program by

Acquisition and automatic tracking of land targets have received special consideration; image-processing algorithms for silhouette



objectifs terrestres; on a étudié et mis au point des algorithmes de traitement d'images pour la production et la détection de silhouettes et pour la corrélation de surface, puis on a simulé et validé des algorithmes spécifiques. On travaille présentement à l'installation en laboratoire d'un système de poursuite automatique, équipé d'un appareil photographique à couplage de charge pour la détection d'images, qui offre des possibilités d'application pour les engins à tête chercheuse et de poursuite fonctionnant à l'aide de la télévision ou du dispositif infrarouge à vision vers l'avant (FLIR).

On tente d'exploiter la technologie numérique pour démontrer la faisabilité d'un autodirecteur à composants liés de coût modique pour le guidage laser semi-actif; on pourrait aussi l'utiliser pour fabriquer des modules de guidage compacts et résistants ayant de plus grandes possibilités.

### Fusées

Au milieu des années 60, un accord passé avec le "US Army Missile Command's Redstone Arsenal" amenait le CRDV à s'occuper de la mise au point des moteurs-fusées pour le système de données météorologiques obtenues par sondage (MDSS) devant porter une charge utile de 4.4 lb à une altitude de 100 000 pi; une fusée météorologique (RDT&E) fut également con-

que pour porter une charge utile de 7 lb à une altitude de 235 000 pi. A la suite des études et des expériences, on a choisi un propergol PBTC (polybutadiène à terminaison carbonée) comprenant 84% de solides et ayant la forme d'un cylindre coupé. Cette configuration particulière des grains a été choisie à cause de sa poussée régressive qui réduit la dispersion à l'impact. Le CRDV a résolu le problème d'isolation de l'enveloppe que posait cette forme particulière en mettant au point un isolant qui possède des propriétés supérieures de liaison et de résistance à l'érosion. Enfin, on a mis au point une tuyère à gorge de graphite peu coûteuse, et une enveloppe de fibre de verre imprégné de résine phéno-

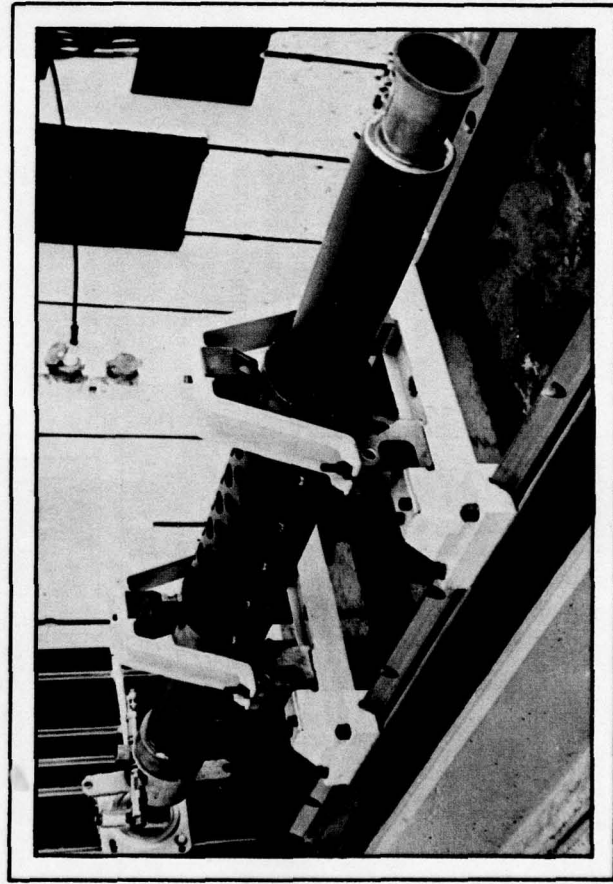
generation and detection and for area correlation have been investigated and developed, and specified algorithms have been simulated and validated. One automatic tracking system with potential application to television and Forward Looking Infrared Radar (FLIR) type seekers and trackers is now being implemented as a laboratory hardware item with a charge-coupled device (CCD) camera being used for image sensing.

An attempt is also made to exploit digital technology to validate the concept of low-cost body-fixed missile seekers for semiactive laser guidance, and to obtain compact rugged guidance packages with a sophisticated capability.

### Rockets

In the mid-1960s, a joint agreement with the US Army Missile Command's Redstone Arsenal led DREV into the development of rocket motors for the Meteorological Data Sounding System (MDSS) designed to carry a 4.4-lb payload to an altitude of 100 000 ft; similarly, the Research Development Test and Evaluation (RDT&E) rocket was devised to carry a 7-lb payload to an altitude of 235 000 ft. Studies and experiments led to the choice of a carbon-terminated polybutadiene (CTPB) propellant with 84% solids and a split-cylinder configuration. This particular grain design was selected for its regressive thrust-time curve which reduces the dispersion of the vehicle. DREV solved the problem of case insulation posed by this particular configuration by developing an insulant with superior erosion-resistance and bonding properties. Finally, an inexpensive nozzle with a graphite throat section and a phenolic resin-impregnated fiberglass housing was developed using compression molding techniques.

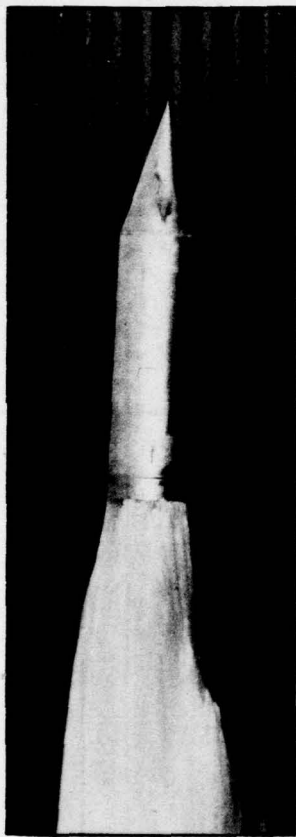
In an attempt to overcome some of the basic problems associated with gun-launched rockets, a technique whereby a fluid is used to support the propellant grain of the rocket during the high-acceleration phase was evaluated. This technique, known as Fluid Encapsulated Launch Tech-



lique en utilisant les techniques de moulage par compression.

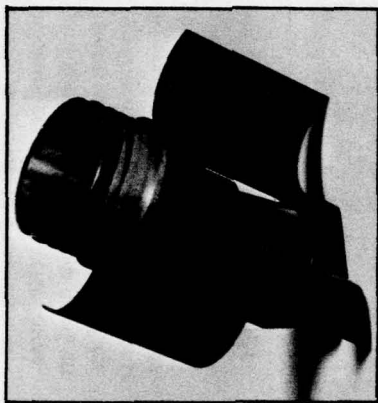
Pour résoudre quelques-uns des problèmes de base des fusées lancées par canon, on a fait l'évaluation d'une technique qui consiste à utiliser un fluide pour supporter les grains de propergol de la roquette durant la phase de grande accélération. Cette technique, connue sous le nom de "Technique de lancement avec fluide supporteur" (TLFS) a atteint le stade où les moteurs légers remplis de propergol inerte ont été lancés avec succès.

Les types classiques d'ailerons plats utilisés sur certaines armes balistiques présentent des inconvénients du point de vue compacité et manipulation; de plus, ils sont difficilement adaptables aux armes lancées à partir de tubes. On a étudié les caractéristiques aérodynamiques et stabilisatrices des ailerons courbes (AC) employés avec les projectiles ayant un rapport de finesse élevé. Des modèles à quatre et à huit ailerons ont été lancés d'un canon à âme lisse de 4 po, à des vitesses allant jusqu'à 3500 pi/s. Plusieurs modèles de configurations ont été essayés dans la soufflerie aérodynamique de 5 sur 5 pi de l'Établissement aéronautique national à un nombre de Mach variant entre 0.5 et 4.0 à différentes vitesses de rotation et différents angles d'attaque. D'après les résultats, les ailerons courbes et les ailerons plats ont des caractéristiques de sta-



bilité longitudinale presque identiques; les ailerons courbes produisent cependant un roulis dont l'importance et la direction dépendent de leur géométrie, de la vitesse et de l'angle d'incidence du projectile. On utilise avec succès ce nouveau type d'ailerons sur la roquette CRV7 de 2.75 po.

En 1971, à la demande des FC, le CRDV entreprit la mise au point d'une nouvelle roquette air-sol de 2.75 po pour remplacer la MK4 munie d'ailettes articulées (FFAR). Cette nouvelle roquette, connue sous le nom de CRV7, a un meilleur rendement grâce à l'utilisation d'ailettes courbes autour de la tuyère et d'un propergol composite haute-ment énergétique. L'ensemble ailettes courbes étant plus court que l'ensemble ailettes articulées utilisé sur la roquette MK4, on a pu allonger l'enveloppe du moteur tout en conservant la même longueur hors tout à l'intérieur du dispositif de lancement. Cette roquette est maintenant fabriquée par Bristol Aerospace Ltd, à Winnipeg. La vitesse de rotation de la



nique (FELT), was advanced to the point where lightweight motors filled with inert propellant were successfully gun-launched.

The conventional types of planar fins used on some ballistic weapons present drawbacks in compactness and handling; moreover, they are difficult to adapt to tube-launched weapons. A study of the aerodynamics and stability characteristics of wrap-around fins (WAF) as applied to projectiles with a high fineness ratio was carried out.

Models with four and eight fins were

launched from a 4-in smoothbore gun at velocities up to 3500 ft/s. Several model configurations were also tested in the 5 by 5 ft National Aeronautical Establishment wind tunnel for Mach numbers ranging from 0.5 to 4.0 at various spin rates and attack angles. Results show that WAF and planar fins have almost identical longitudinal stability characteristics; the WAF, however, produces roll, the magnitude and direction of which depend on the fin geometry, velocity and angle of incidence. This new type of fin is currently used successfully on the CRV7 air-launched 2.75-in rockets.

In 1971, at the request of the CF, DREV undertook the development of a new 2.75-in air-to-ground rocket to replace the MK4 folding fin aerial rocket (FFAR). This new rocket, known as the CRV7, achieves improved performance through the use of a wrap-around-fin/nozzle configuration and a high-energy composite propellant. Since the fin/nozzle assembly was shorter than the folding fin assembly used on the MK4 rocket, it was possible to increase the length of the motor casing while maintaining the same overall vehicle length inside the launcher. This rocket is now in production at Bristol Aerospace Ltd, in Winnipeg. As the spin rate of the CRV7 is higher than that of the MK4, tests of the different types of current 2.75-in warheads were conducted which proved their compatibility

CRV7 étant supérieure à celle de la MK4, on a essayé les différents types d'ogives de 2.75 po en usage; toutes ces ogives se sont avérées compatibles avec la CRV7. Pour répondre aux exigences des FC en Europe, le CRDV a mis au point une nouvelle ogive à énergie cinétique pour la CRV7. Comme les lance-roquettes de la MK4 étaient incompatibles avec la roquette CRV7, le CRDV a modifié et vérifié les dispositifs de lancement pour le combat et les exercices destinés à l'avion CF-104. Il a aussi conçu et vérifié un lot de modification pour le dispositif de lancement SUU-20 utilisé sur le CF-5. Enfin, on a conçu un nouveau dispositif de lancement pour l'hélicoptère CH-136.

On a terminé la conception et la mise au point préliminaires du propogol et du dispositif d'allumage pour le moteur d'accélération du véhicule guidé de surveillance CL-289; on a aussi fait des essais d'ambiance limités.

---

## MATERIAUX ENERGETIQUES

### Explosifs

Au moment où le Conseil de recherches pour la défense était formé après la Seconde Guerre mondiale, le Centre canadien de recherches et de perfectionnement des armes (CARDE), nom sous lequel le Centre était alors connu, entreprenait des recherches sur les explosifs. Les réalisations de ces trente-cinq années

dans ce domaine sont nombreuses. Bien que l'on n'ait pas découvert de nouveaux matériaux explosifs remarquables, on a fait des mises au point notables, par exemple, dans les explosifs coulables, les explosifs compatibles et les explosifs en grains. Des progrès ont également été réalisés dans les propriétés mécaniques et thermophysiques, le comportement à basse température, la durée de conservation, la fabrication, la sécurité et la composition de certaines substances. En plus d'effectuer des recherches sous cet aspect fondamental, le CRDV a souvent aidé les Forces canadiennes à résoudre des problèmes reliés aux explosifs. Il a aussi, à l'occasion, secondé d'autres centres du Chef, recherche et développement (CR Dév) dans la solution de problèmes d'explosifs, telles l'élaboration d'une méthode pour percer rapidement un trou dans la glace épaisse de l'Arctique, afin d'installer des dispositifs de sondage sous-marin, et la conception de charges explosives sous-marines omnidirectionnelles et directionnelles pour le système de repérage par écho des sous-marins.

### Explosifs en boue

Une étude menée en 1968 sur les applications militaires possibles des explosifs en boue a révélé que leur résistance à l'eau, leur fluidité et leur capacité à bien remuer le sol les rendaient très intéressants pour un bon nombre d'opérations du génie

with the CRV7. To meet the operational requirements of the CF in Europe, a new kinetic-energy penetrator warhead was developed at DREV for the CRV7. As the family of launchers for the MK4 rocket was incompatible with the CRV7, DREV redesigned and qualified the combat and training launchers for the CF-104 aircraft. A modification kit for the SUU-20 dispenser used on the CF-5 was also designed and qualified. Finally, a new launcher was devised for use on the CH-136 helicopter.

The preliminary design and development of the propellant and igniter for the CL-289 Surveillance Drone Booster Motor, together with limited environmental testing, was also carried out.

---

## ENERGETIC MATERIALS

### Explosives

When the Defence Research Board was formed after the Second World War, the Canadian Armament Research and Development Establishment (CARDE), as this Establishment was then known, initiated research on explosives. The achievements of thirty-five years of work on explosives are numerous. Although no

exotic new explosive materials were discovered, some notable developments did take place, e.g. castable explosives, composite explosives and cast blasting pills. Progress was also achieved in mechanical and thermo-physical properties, low-temperature behavior, shelf life, manufacture, safety and composition. Besides conducting research in this more basic aspect, DREV has often assisted the CF in solving their problems with explosive stores. DREV has occasionally supported other establishments of the Chief Research and Development (CRAD) in problems involving explosives, e.g., the development of a means of rapidly producing a hole through thick northern ice to permit the installation of underwater sounding devices; also the design of omnidirectional and directional underwater explosive charges was carried out for the explosive-echo-ranging system to aid in submarine localization.

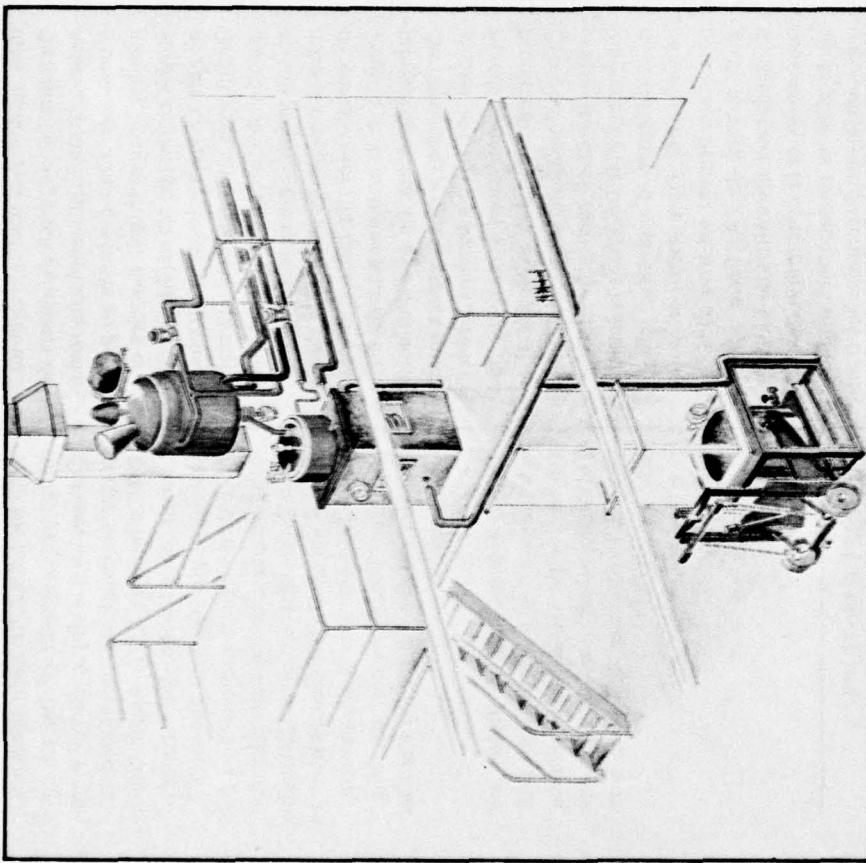
### Slurry Explosives

A survey carried out in 1968 of possible military applications of slurry explosives showed that their water-resistance, fluidity and good soil-moving capabilities made them attractive for a number of military field engineering operations. After a

militaire. Après une série d'essais effectués sur des compositions commerciales, on a entrepris des études pour améliorer la stabilité et la fluidité à basse température de deux compositions courantes. On a finalement obtenu une composition qui démontrait de bonnes caractéristiques de vieillissement à 22°C et demeurait fluide à -40°C.

**Explosifs en grains**

Les explosifs en grains sont des gouttelettes solides de TNT contenant de l'aluminium et du RDX. Ces grains (pastilles irrégulières ayant un diamètre moyen de 3 mm) se prêtent à des applications en génie militaire parce qu'ils ne s'agglomèrent pas, résistent à l'eau, se conservent bien et peuvent être utilisés sur une vaste échelle de températures. On a mis au point de nouvelles compositions pour fabriquer des explosifs en grains à haute énergie (EGHE) plus puissants que les explosifs commerciaux. On a construit une colonne de 45 cm de diamètre sur 2.3 m de hauteur pouvant produire 100 kg d'explosifs en grains par demi-journée. On s'en est servi pour élaborer des techniques de fabrication et pour produire en usine-pilote des quantités d'explosifs pour des essais d'évaluation. De récentes expériences dans des sols ordinaires et gelés ont démontré la supériorité des EGHE sur les explosifs en boue et sur les explosifs classiques. Parallelement, les FC établissaient la



series of tests conducted on commercial formulations, studies were undertaken to improve the stability and low-temperature fluidity of two standard formulations. A composition was finally arrived at which showed good aging characteristics at 22°C and remained fluid at -40°C.

**Cast Blasting Prills**

Blasting prills are solid droplets of TNT containing aluminum and RDX. These prills (irregular pellets with an average diameter of 3 mm) are attractive for military engineering applications because they are free-flowing, water-resistant, have a long shelf life and can be used over a wide range of temperatures. New formulations were developed to produce high-energy blasting prills (HEBP) more powerful than commercial ones. A tower, 45 cm in diameter by 2.3 m in height, capable of producing 100 kg of prills per half day, was constructed. It was used to develop manufacturing techniques and to produce pilot plant quantities for evaluation tests. Recent experiments in ordinary and in frozen soils have demonstrated the superiority of HEBP over both slurry and conventional explosives. Similarly, the CF have demonstrated HEBP to be more efficient and to require less setup time than the commonly used explosive, plastic C-4, in cratering applications.

preuve que les EGHE étaient plus efficaces et moins longs à mettre en place que le plastique C-4, explosif généralement utilisé pour les excavations.

**Simulateur de refoulement par compression**

Se fondant sur les résultats d'une étude théorique sur la production et l'écoulement de la chaleur dans la cavité au moment où l'explosif est refoulé durant l'accélération du projectile, ce qui peut provoquer un allumage prématuré, on a conçu récemment un appareil destiné à simuler les conditions qui existent dans la cavité de la charge durant le lancement. Ce simulateur permet de vérifier la théorie fondamentale et de comparer la susceptibilité de divers explosifs au refoulement par compression.

**Explosifs composites**

En 1967, le CRDV commençait des recherches de base sur les explosifs composites coulables utilisant le RDX dans un moule gommeux vulcanisé. Au départ, nos efforts ont été axés sur les substances liantes, les agents de vulcanisation et autres additifs de même que sur les techniques de traitement employées dans la flegmatisation des cristaux explosifs. On a d'abord mis au point les techniques de fabrication et l'équipement nécessaires à la production des quantités d'explosifs exi-

gés, et on a fait des essais poussés de plusieurs compositions différentes. Quatre compositions ont été retenues: RDX/liant, RDX/aluminium (Al)/liant, RDX/perchlorate d'ammonium (AP)/liant et RDX/Al/AP/liant. On a fait des essais sur les qualités explosives de nombreuses compositions, sur leurs propriétés thermophysiques et mécaniques et sur leur sensibilité au choc; on a aussi soumis les explosifs les plus prometteurs à des essais de dérapage et de refoulement par compression. On a de plus testé et évalué les explosifs composites à base de HMX. Même si ces explosifs sont plus coûteux que les produits à base de RDX, leur énergie supérieure en a parfois justifié l'utilisation. Une étude détaillée de l'interface additif-liant a conduit à l'utilisation dans certaines compositions d'agents tensio-actifs qui ont amélioré leurs propriétés mécaniques. Comme substance liante, on a jusqu'à récemment utilisé le polybutadiène R-45M commercial, mais à cause d'une réduction dans sa production, on a dû le remplacer par le R-45HT. De nouveaux échantillons ont été fabriqués pour évaluation; les résultats révèlent qu'il n'y a pratiquement aucun changement dans les propriétés mécaniques et thermophysiques; les épreuves de vieillissement et d'amblance progressent.

**Pyrotechnie**

Comme le CRDV possédait déjà il y a environ douze ans une bonne équipe

**Setback Simulator**

Recently a machine was designed to simulate conditions at a cavity within an explosive projectile filling during gun launch. The design of this simulator was based on a theoretical study of the heat generation and flow at the cavity as the explosive sets back under projectile acceleration, conditions which could lead to premature ignition. This 'setback simulator' permits the verification of underlying theory and comparison of various explosives with respect to their setback sensitiveness.

**Composite Explosives**

In 1967, DREV began basic research into castable composite explosives employing RDX in a cured rubbery matrix. Original efforts were concentrated on binder materials, curing agents and other additives as well as on the process engineering techniques used in the phlegmatisation of the explosive crystals. Necessary manufacturing techniques and equipment to produce the required quantities of explosive were first developed and many different formulations were extensively tested. Four formulations

were retained for further development: RDX/Binder, RDX/Aluminum (Al)/Binder, RDX/Ammonium perchlorate (AP)/Binder, and RDX/Al/AP/Binder. Many formulations were tested for explosiveness, thermophysical and mechanical properties and sensitivity to shock; skid tests and setback tests were also conducted on the more promising ones. HMX-based composite explosives were also tested and evaluated. Although they are more expensive than RDX-based products, their superior energy occasionally warranted their use. A detailed study of the additive/binder interface eventually led to the use of surface active agents in formulations thus improving the mechanical properties of these products. Until recently, commercially available R-45M polybutadiene was used as binder material; however, a decrease in production has required that it be replaced by R-45HT. New samples were produced for evaluation; test results indicate practically no change in mechanical and thermophysical properties; environmental and aging tests are nearing completion.

**Pyrotechnics**

The availability of a good nucleus of chemists and chemical engineers

de chimistes et d'ingénieurs-chimistes qui travaillaient à la mise au point des propergols et explosifs de même que des laboratoires bien équipés, il était tout désigné pour étudier la mise au point d'un dispositif fumigène de signalisation sans danger d'incendie demandé par les FC. Après un début plutôt modeste avec des dispositifs fumigènes d'une durée de 3 et de 12 min, le CRDV a graduellement développé ses connaissances et ses installations. A l'occasion, d'autres exigences militaires sont apparues, tels une cartouche fumigène de signalisation perfectionnée pour les bombes d'exercice, un marqueur marin amélioré de fonctionnement fiable en haute mer, et une composition traçante améliorée pour les munitions de 7.62 mm. La mise au point de ces dispositifs est maintenant terminée ou le sera bientôt. On poursuit le développement d'une grenade à main capable de créer un rideau de fumée demandée par les FC.

Bien qu'une grande partie de nos recherches étaient orientées vers les besoins militaires, il nous a fallu quand même exécuter des travaux complémentaires dans la recherche fondamentale. C'est ainsi qu'on a mené des recherches sur des compositions capables de produire des fumées de différentes couleurs sans risque d'incendie. Une composition produisant une fumée orange répondait déjà à la demande originale, mais depuis d'autres compositions

dégageant des fumées vertes, rouges, jaunes et violettes ont été mises au point. Ces compositions sont généralement fabriquées par compactage, mais les compositions obtenues par coulage ont également été étudiées. Pour les mettre au point, on a utilisé la technologie des propergols composés et celle des explosifs dans lesquelles on se sert d'un liant gommeux pour former la matrice qui contient les colorants, l'oxydant et tout autre composant solide. Ce liant a donné de bons résultats pour la composition fumigène orange et il est maintenant utilisé couramment. Les travaux sur les compositions coulables d'autres couleurs se poursuivent.

On a aussi étudié l'efficacité relative de différentes fumées provenant de grenades fumigènes utilisées dans la dissimulation des blindés, la faisabilité d'un système fumigène tout temps pour les contre-mesures ou pour l'obscurcissement de sec-teurs, et la capacité de la fumée de produire un écran contre la détection infrarouge. De fait, l'introduction des nouveaux systèmes de surveillance et d'éclairage qui utilisent la technologie moderne, comme les lasers et les dispositifs d'observation infrarouge, a donné une nouvelle dimension à la pyrotechnie et en particulier à la fabrication d'écrans de fumée.

Les premières installations se sont graduellement développées en un complexe bien pourvu qui comprend maintenant un bâtiment pour

already engaged in the development of propellants and explosives, along with well-equipped laboratories, made DREV, some twelve years ago, the logical choice to investigate a military requirement for the development of a fire-hazard-free smoke-signalling device. From a modest start on 3-min and 12-min smoke generators, expertise and facilities were gradually acquired and developed. From time to time, other military requirements arose, such as an improved signal smoke cartridge for practice bombs, an improved marine marker capable of reliable operation in high-sea states, and an improved tracer for the 7.62-mm ammunition. The development of these items is now either complete or nearing completion. Work on a screening smoke hand grenade, requested by the CF, is continuing.

Although substantial effort was being expended in responding to military requirements, it was nevertheless mandatory to develop a complementary effort in more basic research activities. Thus, research was conducted on compositions capable of producing fire-hazard-free smokes of different colors. A composition producing orange smoke was already used to meet the original requirement, but since then other compositions have been developed which produce green, red, yellow and violet smokes. Although compositions are generally made by compaction, research was also conducted on castable

compositions. In developing castable pyrotechnics, the technologies of composite propellants and explosives relying on a rubbery binder to form the matrix containing the dyes, the oxidizer and any other solid components were used. This type of material yielded good results for the orange smoke composition and it is now currently used. Work continues on castable compositions for other colors.

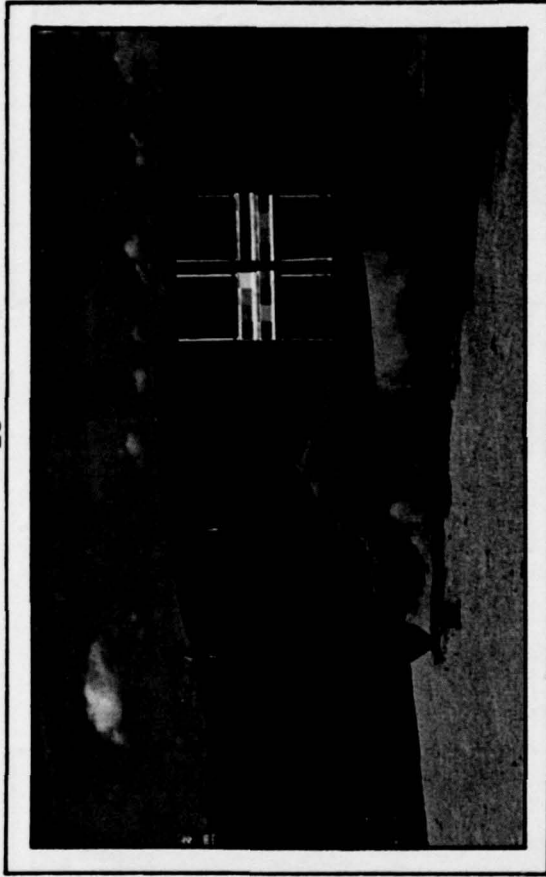
Studies were also conducted on the relative effectiveness of different smokes for the screening of armored vehicles using smoke grenades, on the feasibility of an all-weather smoke system for counter-measures and area obscuration, and on the suitability of smoke for screening against infrared illumination. Indeed, the introduction of novel surveillance and illumination systems using modern technologies, such as lasers and infrared viewing devices, recently brought a new dimension to pyrotechnics, and more specifically to smoke screening.

The early facilities were gradually expanded into a full-fledged complex which now comprises a building for the manufacturing of pilot quantities of pyrotechnic compositions and the assembly of cartridges, a 300-m<sup>3</sup> silo for the accurate measurement of physical parameters of smoke clouds, an adjacent laboratory with all necessary optical, analytical, calibration and measuring

la fabrication de quantités pilotes de compositions pyrotechniques et pour le montage des cartouches, un silo de 300 m<sup>3</sup> pour le mesurage précis des paramètres physiques des nuages de fumée, un laboratoire adjacent possédant tout le matériel optique et analytique nécessaire, l'équipement d'étalonnage et de mesurage requis et, enfin, un emplacement d'essai extérieur de 1 000 m<sup>2</sup> muni d'un système de câbles souterrain qui sert au contrôle et au mesurage. Le Centre dispose également d'un banc d'essai de vrille capable de faire tourner des munitions de petit calibre à une vitesse de 90 000 r/min pour vérifier les compositions traçantes en conditions simulées de vol libre.

### Propergols solides

Le CRDV travaille activement à la mise au point de propergols solides depuis plus de trente ans. Avant 1960, les travaux portaient sur les propergols colloïdaux à base simple, double et triple et, en particulier, sur le propergol Heller. Vers la fin des années 50, la technologie des propergols composites était introduite avec les propergols au polyuréthane qu'on a appliqués à la série des fusées-sondes Black Brant. Puis on a étudié les compositions PBTC (polybutadiène à terminaison carboxylée) dont la teneur plus élevée en solides augmente l'impulsion spécifique et améliore les propriétés mécaniques de certaines compositions à basses températures. Les propergols PBTC ont vite été



remplacés par les compositions PBTH (polybutadiène à terminaison hydroxylée) qui coûtent moins cher, sont plus faciles à préparer et qui, après un vieillissement accéléré à hautes températures, possèdent de meilleures propriétés mécaniques.

On a entrepris des études dans des domaines susceptibles d'avoir des applications militaires importantes, spécialement celui des propergols composites à haute énergie dont la vitesse de combustion est plus rapide et la fumée moins dense. En termes d'impulsion spécifique et de densité, le rendement maximal des propergols composites augmente généralement avec la teneur en solides (oxydant de perchlorate d'ammonium et aluminium), mais les viscosités durant la fabrication augmentent aussi et les propriétés mécaniques

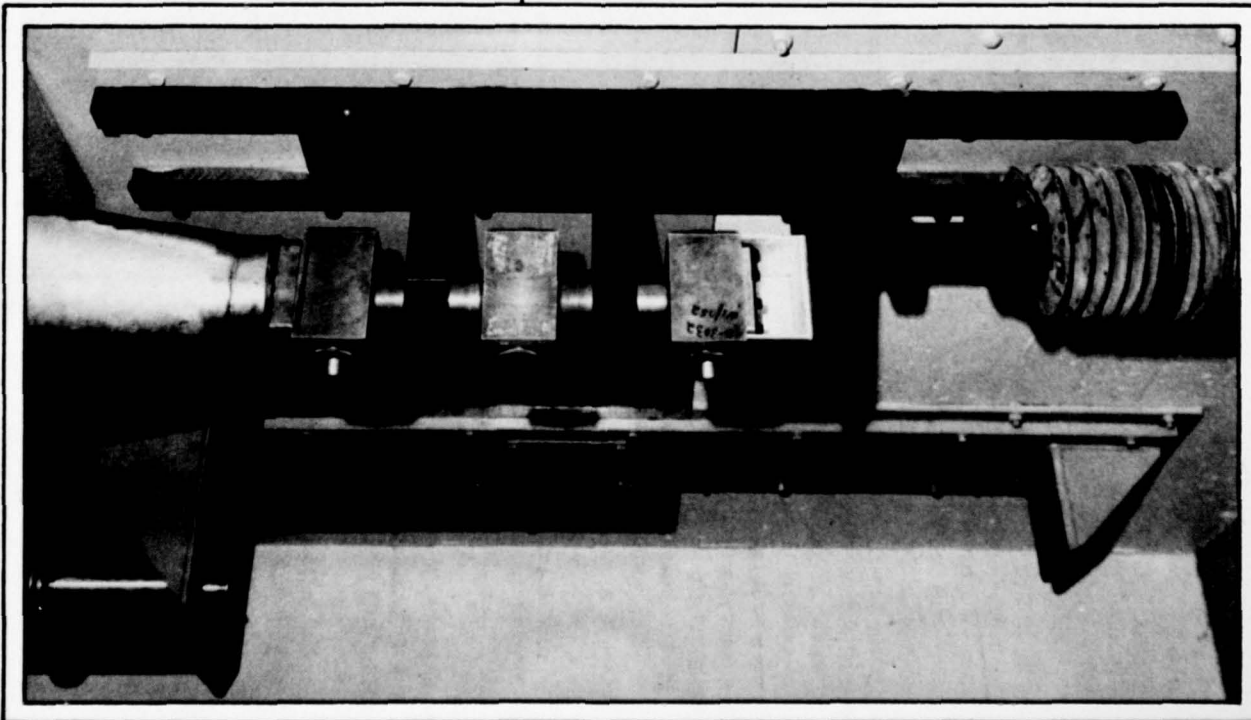
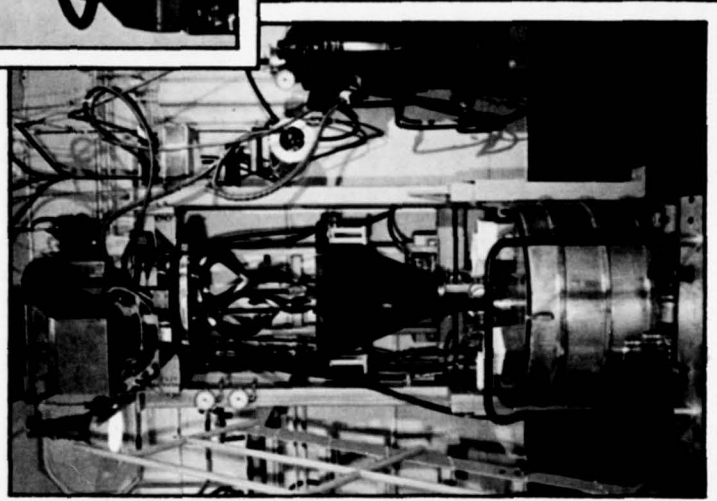
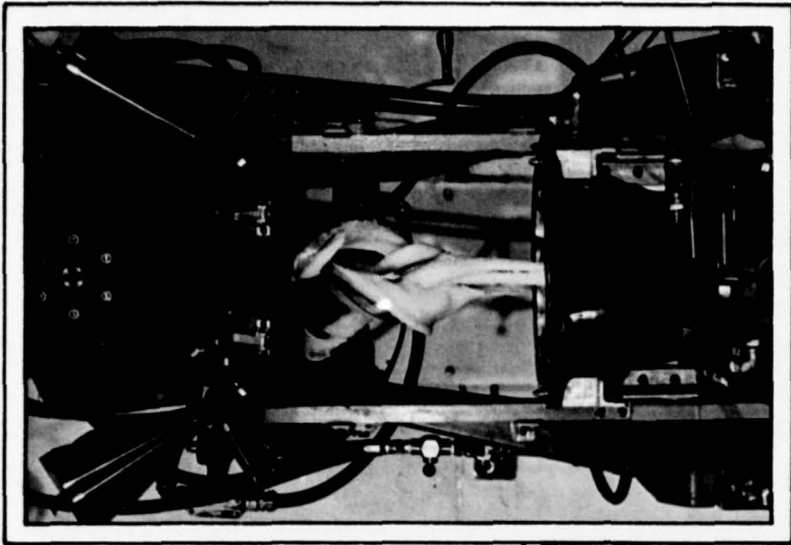
Brant sounding rockets. Then studies were directed to the carboxyl-terminated polybutadiene (CTPB) compositions with higher solids content, thus increasing the specific impulse and, in some compositions, improving the mechanical properties at low temperatures. The CTPB propellants were soon replaced by the hydroxyl-terminated polybutadiene (HTPB) compositions which are less expensive, have better processing properties and which, after accelerated aging at high temperatures, possess improved mechanical properties.

Applied research studies were undertaken in selected areas likely to be of importance in military applications, particularly in high-energy composite propellants with faster burning rates and reduced smoke characteristics. The maximum achievable performance of composite propellants, in terms of specific impulse and density, generally increases with the solids content (ammonium perchlorate oxidizer and aluminum), but processing viscosities also increase and the mechanical properties of finished propellants tend to be less attractive. A wide variety of formulations based on CTPB, DREV-synthesized HTPB and R-45M HTPB fuel-binders were successfully processed. These propellants contained 84 to 90% of solids, yielded densities as high as 1.82 g/c<sup>3</sup> and delivered specific impulses in the range of 245-255 s. Various catalysts were studied to

equipment, and finally a 1 000-m<sup>2</sup> outdoor test site equipped with underground cabling for control and measurement purposes. A test rig capable of spinning small-arms ammunition to a maximum of 90 000 r/min is available to test tracer compositions under simulated free-flight conditions.

### Solid Propellants

DREV has been active in the development of solid propellants for more than thirty years. Before 1960, this Establishment worked on colloidal propellants of single-, double- and triple-base types, and in particular on the 'Heller' propellant. In the late 1950s, the technology of composite propellants was introduced with polyurethane propellants which were applied to the series of Black



des propergols finis tendent à être moins intéressantes. On a traité avec succès une grande variété de compositions à base de PBTC, de combustible-liant PBTH R45-M et de PBTH synthétisé au CRDV. Ces propergols contenaient de 84 à 90% de solides, ils donnaient des densités de l'ordre de 1.82 g/c<sup>3</sup> et des impulsions spécifiques de l'ordre de 245-255 s. On a, en outre, étudié différents catalyseurs pour augmenter la vitesse de combustion des compositions de propergols, en particulier les oxydes ferriques et les dérivés du ferrocène. Pour réduire la détection des fumées d'échappement, on mène des recherches depuis 1974 sur les compositions ne contenant pas d'aluminium; il a été établi, cependant que les propriétés mécaniques des propergols discrets sont moins satisfaisantes que celles des compositions aluminisées, que leur niveau d'énergie est réduit et que leur stabilité de combustion est considérablement diminuée. Le CRDV cherche actuellement des solutions à ces problèmes.

Ces dernières années, les techniques de fabrication ont été mises au point et l'équipement a été perfectionné. Notre usine-pilote comprend maintenant trois malaxeurs horizontaux d'une capacité de 10, 50 et 250 lb, et trois malaxeurs verticaux d'une capacité de 7, 25, et 120 lb, ainsi que des cloches de coulées de diverses dimensions. Les opérations de malaxage et de coulage se font à vide et par télécommande; les

données techniques recueillies sont affichées sur l'unité de visualisation et enregistrées au centre de contrôle. L'emploi de fibres optiques raccordées au système de télévision en circuit fermé permet de surveiller l'intérieur de la cloche de coulée.

### Recherches sur la combustion et les moteurs-fusées

Comme nous l'avons dit précédemment, une fois la série des roquettes Black Brant terminée, on a réorienté les travaux vers la mise au point de petites roquettes militaires. Dans ce nouveau contexte, les concepts de résistance, d'efficacité et de légèreté sont de première importance.

Normalement ce type de moteur-fusée fonctionne avec des propergols à haute énergie, produisant des températures de flammes élevées; on a donc entrepris la mise au point de tuyères résistantes et légères, capables de supporter ces hautes températures. Les caractéristiques de transfert thermique des tuyères ont été mesurées au moyen de tuyères spécialement équipées. Puis, on a élaboré une technique pour vaporiser un enduit de céramique sur la surface interne de la tuyère. Cependant, vu le prix élevé de ces tuyères, on a poursuivi les recherches qui ont abouti à la fabrication d'une tuyère de plastique dont la gorge est munie d'un raccord de graphite.

La mise au point d'un isolant

augmenter le burning rate of the propellant compositions, in particular the ferric oxides and the ferrocene derivatives. To minimize the exhaust signature, investigations have been carried out since 1974 on compositions containing no aluminum; it has been established, however, that the mechanical properties of low-smoke propellants are less satisfactory than those of the aluminumized compositions, that their energy levels are also reduced and that their combustion stability characteristics are significantly worsened. Attempts are now being made at DREV to overcome those drawbacks.

Manufacturing techniques and equipment have been developed and improved over the past years. DREV's pilot plant facilities now comprise three horizontal mixers of a 10-, 50- and 250-lb capacity, and three vertical ones of a 7-, 25- and 120-lb capacity; casting bells of different sizes are also available. Mixing and casting operations are conducted under vacuum and controlled remotely; technical data pertaining to those operations are visually displayed and recorded at the control center whereas visual monitoring is achieved through a closed-circuit television system which extends into the casting bells by means of fiber optics.

### Combustion and Rocket Motor Research

As stated previously, upon completion of the Black Brant series of rockets, efforts were reoriented towards the development of small military rockets. In this new context, concepts of ruggedness, efficiency and lightweight are of prime importance.

As this type of rocket motor normally operates with high-energy propellants producing high flame temperatures, a study was undertaken aimed at the development of rugged lightweight nozzles capable of withstanding these high flame temperatures. Heat transfer characteristics of nozzles were measured by means of suitable instrumented nozzles. A technique was then developed to spray a ceramic coating on the inner surface of nozzles. However, since such nozzles were quite expensive to produce, further development was carried out leading to a plastic nozzle fitted with a graphite insert in the throat area.

Attempts were made to develop an HTPB insulant by rolling a mixture of HTPB binder and asbestos

PBTH par laminage d'un mélange de liant PBTH et de fibres d'amianté a été discontinuée en raison des difficultés d'adhérence entre le propergol PBTH et l'isolant. Comme solution de rechange, on a inséré une feuille d'aluminium entre l'isolant PBTC, l'isolant laminé du type B (RF/B), et le propergol PBTH. Des essais sur moteurs et des tests de vieillissement ont démontré l'efficacité de cette technique. Le fait qu'elle peut s'appliquer à tous les propergols complexes, puisque ces derniers adhèrent facilement à l'aluminium, constitue un avantage certain. D'une façon similaire, on a fabriqué un isolant thermique pour l'extrémité avant des petits moteurs-fusées en déchiquetant une feuille d'isolant (RF/B) et en lui donnant la forme désirée par moulage sous pression à la température de la pièce. Outre ses propriétés d'adhérence aux métaux et aux propergols composites, cet isolant peut facilement être mis en place à partir de l'autre extrémité d'un long tube étroit, il se déforme facilement en s'adaptant aux imperfections de l'enveloppe et il peut servir à centrer le mandrin.

Depuis les premiers bancs d'essais statiques installés au début de la mise au point des roquettes, les installations d'essai des moteurs ont été grandement améliorées; on a, entre autres, acquis un équipement d'essai en vrille muni d'un système de contrôle de vitesses programmable; ce dispositif est utilisé pour mesurer

les effets de l'accélération rapide et des vitesses de rotation. Plus récemment, on entreprenait la construction d'un dispositif de poussée latérale d'après un modèle fourni par Rocket Propulsion Establishment, Westcott, Angleterre.

Une partie du travail de recherches sur la combustion des moteurs-fusées effectué au CRDV pendant les dernières années a porté sur le phénomène de la combustion même. On a installé des laboratoires spéciaux pour étudier les processus physico-chimiques dans la zone de combustion, c'est-à-dire depuis la surface de combustion jusqu'à quelques centaines de microns. On a conçu et fabriqué un moteur-fusée à fenêtres qui a permis l'étude photographique du phénomène de la combustion à l'intérieur du moteur. Un problème spécifique se rapportait à la formation d'ondes de choc progressives dans les gaz en combustion. La compréhension du mécanisme des ondes de choc est fondamentale à l'étude de la combustion instable, un phénomène fréquent, qui pose souvent un grave problème au concepteur du moteur. Un autre essai, mis au point au CRDV et utilisé pour les recherches sur la combustion instable, consiste à injecter une impulsion de gaz à haute pression dans le moteur-fusée en combustion. On observe la réaction à cette impulsion de pression durant le temps de combustion, ce qui donne une idée de la capacité d'un moteur ayant une géométrie

fibers; this work was, however, discontinued since an adhesion problem between the HTPB propellant and the insulation material could not be overcome. An alternative method was tried which consisted in incorporating a layer of aluminum foil between a CTPB-based insulant, roll-formed butadiene (RF/B), and the HTPB propellant. Motor firings and aging tests demonstrated the success of this approach. An advantage of the method is that the insulation system can be employed with all composite propellants since they readily bond to aluminum. Similarly, a thermal insulator for the head end of small rocket motors was developed by shredding a sheet insulant, RF/B, and by pressure-molding this material at room temperature into the desired shape. Apart from its self-adhesive properties to metals and to composite propellants, this insulator can easily be placed into position from the other extremity of a long, narrow tube; it can also be readily deformed to match the imperfections of the casing and can serve as a mandrel locator.

From the original static thrust stands installed in the early days of rocket development, motor test facilities were greatly improved, including the addition of a spin test rig equipped with programmable speed control; this device is used to measure the effects of high spin accelerations and rates. More recently, the construction of a lateral-thrust

stand, based on a design furnished by Rocket Propulsion Establishment, Westcott, England, has been undertaken.

Part of the rocket motor combustion research work conducted at DREV in the last few years related to the combustion phenomenon itself. Special laboratory facilities were set up to study the physico-chemical processes in the combustion zone, i.e. from the burning surface to a few hundred microns. A windowed rocket motor was designed and fabricated which permitted the photographic study of the combustion behavior within the motor. A specific problem studied related to the formation of travelling shock waves in the combustion gases.

Understanding the shock-wave mechanism is fundamental to the study of unstable combustion, a frequently occurring phenomenon which is a serious problem to the motor designer. Another test, developed at DREV and used in unstable combustion research, consists in injecting a pulse of high-pressure gas into the burning rocket motor. The response to the pressure pulse is monitored during the burn-time of the motor, providing an insight into the ability of the motor with a particular type of propellant and geometry to sustain combustion instability. This research led to the development of a front-end conical damper for partial or complete suppression of longitudinal instability. Thus, certain pro-

particulière et utilisant un certain type de propérol de supporter l'instabilité de la combustion. Cette recherche a permis la mise au point d'un amortisseur conique avant pour la suppression totale ou partielle de l'instabilité longitudinale. Ainsi, certaines compositions de propérols jusqu'ici rejetées pour des raisons de stabilité sont devenues acceptables; de plus, la gamme de pressions utilisables des propérols a pu être étendue. Dans le cadre d'un accord de recherches conjoint avec le "USAF Rocket Propulsion Laboratory", on a entrepris des études sur la prévision de la stabilité.

**AUTRES ACTIVITES CONNEXES A L'EQUIPEMENT**

**Dispositifs d'entraînement**

Le coût relativement élevé des munitions de combat a fait peser de sérieuses contraintes sur l'entraînement régulier du personnel des Forces canadiennes. Afin d'aider à réduire ce coût, le CRDV entreprit la mise au point de nombreux dispositifs d'entraînement peu coûteux.

Du point de vue économique, les dispositifs sous-calibrés d'entraî-

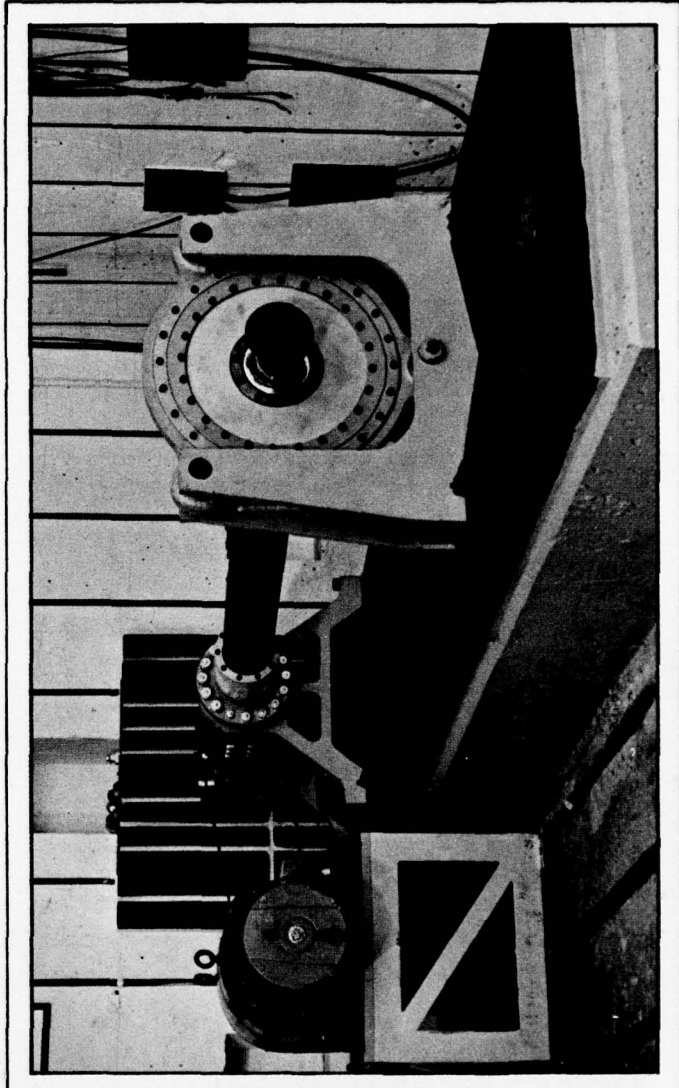
nement formulations earlier rejected for stability reasons became acceptable; furthermore, the usable pressure range of propellants could be extended. Studies on stability prediction have been undertaken under a joint research agreement with the USAF Rocket Propulsion Laboratory.

**OTHER ORDNANCE RELATED ACTIVITIES**

**Training Devices**

The relatively high cost of combat ammunition has imposed severe constraints on the regular training of Canadian Forces personnel. To help decrease training costs, DREV has frequently undertaken the development of low-cost training devices.

Subcaliber training devices (SCTD) are particularly interesting economically. SCTDs were developed



nement (DSCE) sont particulièrement intéressants. Le CRDV en a mis au point pour les armes suivantes: le canon sans recul de 106 mm, le lance-roquettes antichar L14A-1 de 84 mm et le lance-roquettes L72 de 66 mm. La technique consiste à monter, à l'intérieur d'un projectile modifié, un canon de petit calibre qui lance un projectile dont la trajectoire est comparable à celle de l'obus véritable; ce projectile comporte aussi une substance traçante qui fournit une indication visuelle de la trajectoire, de même qu'une charge fumigène miniature qui donne une indication du point d'impact sur la cible. Normalement, on utilise un canon de calibre 0.50 pour le canon sans recul de 106 mm, un canon de calibre 20 pour le lance-roquettes L14A-1 de 84 mm et un canon de 9 mm pour le lance-roquettes L72 de 66 mm. De plus, pour créer des conditions de tir plus réelles, on a ajouté un simulateur de souffle arrière au canon sans recul de 106 mm. Pour l'entraînement à l'intérieur avec les trois mêmes armes, on a aussi mis au point des DSCE qui utilisent un canon de calibre 0.22.

Plus récemment, le CRDV a conçu une mine d'exercice qui donnera aux utilisateurs éventuels de la mine antipersonnel Claymore les connaissances et la compétence voulues. Cet engin simule avec réalisme la mine en produisant le son de l'explosion et en entourant au même moment la zone mortelle de traînées

de fumée.

Ces dernières années, le Centre a aussi travaillé à la mise au point de bombes d'exercice, en particulier de la MK-106 utilisée pour simuler la Snakeye MK-82 à haute traînée; les modifications apportées ont amélioré la trajectoire du modèle. Les bombes Snakeye à bord des avions CF-104 et CF-5 ont été modifiées pour permettre un meilleur largage

at DREV for the following weapons: the 106-mm recoilless (RCL) gun, the 84-mm L14A-1 antitank rocket launcher, and the 66-mm L72 launcher. The technique consists in mounting, inside a modified projectile, a small-caliber gun that fires a projectile ballistically matched to the real one; it also includes a tracer which provides a visual indication of the trajectory, and a nose-mounted smoke puff which gives target hit indication.

Normally, a 0.50-caliber gun is used for the 106-mm RCL, a 20-gauge for the 84-mm L14A-1 and a 9-mm for the 66-mm L72 launcher. Moreover, a backblast simulator was added to the 106-mm RCL to provide a more realistic firing environment. For the same three weapons, SCTDs using a 0.22-caliber gun were also developed for indoor training.

More recently, a practice mine was designed to give potential users of the Claymore antipersonnel mine the understanding and skills needed. It provides a realistic simulation of the live mine by generating an explosive sound and simultaneously defining the lethal area by means of smoke trails.

Efforts were also devoted in the past few years to the development of practice bombs, particularly of the MK-106 used to simulate the MK-82 Snakeye bomb in its high-drag mode; modifications led to a closer ballistic match. The Snakeye bomb launchers in both the CF-104 and the CF-5 aircraft were modified to achieve better delivery of the MK-106 and the BDU/33A/B practice bombs.

More recently, work has begun on a modular practice bomb (MPB) which should prove capable of simulating all bombs in the CF inventory. The MPB consists of a common body with different add-on noses and tail shapes that can be used in various combinations to provide a wide range of drag values. Flight tests are now in progress



des bombes d'exercice MK-106 et BDU/33A/B. Plus récemment, on a commencé l'étude d'une bombe d'exercice modulaire (BEM) qui devrait pouvoir simuler toutes les bombes des FC. En fait, la BEM consiste en un corps unique pouvant recevoir des ogives et empennages différents qui se prêtent à diverses combinaisons pour fournir un large éventail de valeurs de traînée. On fait actuellement des essais en vol afin de vérifier la structure de la BEM et son comportement au lancement à partir des avions CF-104 et CF-5. On travaille, en outre, à la mise au point d'un système de guidage par laser qui sera utilisé avec les bombes d'exercice pour donner un entraînement plus réaliste de tous les aspects du lancement des armes guidées au laser.

Pour répondre à un besoin des FC, le CRDV entreprenait dernièrement la mise au point d'un dispositif d'entraînement intérieur pour le système de missiles antichars filoguidés "TOW". Ce nouveau dispositif, qui s'inspire du dispositif d'entraînement extérieur utilisé dans les FC devrait permettre l'entraînement à longueur d'année et dans toutes les conditions atmosphériques.

Le PTR de 105 mm, qui remplace l'OPSD de 105 mm, est un autre simulateur d'arme antichar. Actuellement mis au point en collaboration avec la Grande-Bretagne, ce projectile représente ce qu'il y a de mieux en fait d'innovation. Il est de

conception simple, simule très bien le projectile de combat, répond aux exigences et aux contraintes de l'entraînement, et sa fabrication est relativement peu coûteuse comparativement à celle du projectile de combat.

### Recherches sur les matériaux

Les recherches sur les matériaux ont toujours fait partie intégrante du programme de l'équipement. Ces recherches ont pour objectifs principaux d'étudier les moyens de fournir de meilleurs matériaux pour les armes et les munitions et d'augmenter la fiabilité et la vie utile de l'équipement en général. Un avantage important, quoique indirect, de ces travaux a été la possibilité continue d'enquêter sur les accidents ou les défaillances reliés à l'équipement et aux véhicules des FC.

Au cours des années, on a effectué beaucoup de recherches de base pour modifier et caractériser les propriétés des alliages de tungstène et d'uranium en vue de leur utilisation dans les pénétrateurs à énergie cinétique. Cette recherche avait pour but principal d'améliorer le rendement de la munition antichar APDS de 105 mm en augmentant la densité, la puissance et la résistance du noyau du pénétrateur. Nos efforts ont porté sur l'extrusion à chaud comme moyen de produire des alliages ayant un minimum de porosité. Les travaux ont conduit à la création

to prove the structure of the MPB and its behavior at launch from the CF-104 and CF-5 aircraft. In addition, a laser-guided kit is being developed to be used in conjunction with practice bombs to provide more realistic training in all aspects of laser-guided weapon delivery.

Recently, in response to a requirement from the CF, DREV has undertaken the development of an indoor trainer for the TOW antitank weapon system. This new trainer, based on the outdoor trainer used in the CF, should provide a year-round, all-weather training facility.

Another antitank weapon simulator is the 105-mm STUP used to represent the 105-mm APDS. Now under joint development with Great Britain, this projectile represents the best in innovation. It is simple in design, gives an excellent simulation of the combat round, satisfies the training requirements and constraints, and is relatively cheap compared to the combat projectile.

### Materials Research

Research on materials has always been an integral part of the Ordnance Program. The main aims of materials research have been to develop ways of providing better materials for weapons and ammunition and of increasing the reliability and life of ordnance materiel in general. A peripheral though important benefit of this work has been a sustained capability to investigate accidents or physical failures associated with CF ordnance and vehicles.

Over the years, a considerable amount of sound basic research has been carried out in modifying and characterizing the properties of tungsten and uranium alloys for use in kinetic energy penetrators. This was directed mainly at improving the performance of 105-mm APDS antitank ammunition by increasing the density, strength and toughness of the penetrator core. Effort was focussed on hot extrusion as a means of producing alloys with a minimum of porosity. The work resulted in a family of complex alloys with mechanical properties (static and dynamic) that make them more resistant

d'une famille d'alliages complexes ayant des propriétés mécaniques (statiques et dynamiques) leur permettant de résister beaucoup mieux à l'impact balistique que les alliages coulés utilisés antérieurement.

Parallèlement à ces recherches, on faisait des études sur la mécanique de la déformation pour comprendre le phénomène de l'impact balistique à haute vitesse et pour mettre au point un moyen de prédire le comportement dynamique d'un pénétrateur pendant l'impact. Ces techniques ont aussi été appliquées à la mise au point de méthodes peu coûteuses pour évaluer les nouveaux alliages à haute densité comme matériaux éventuels des pénétrateurs. Une méthode qu'on a beaucoup étudiée utilisait une géométrie balistique relativement simple. Des projectiles uniformisés ont été fabriqués à partir des matériaux étudiés et soumis à l'impact normal contre des cibles d'acier semi-infinies sur toute la gamme des vitesses choisies. Le degré observé de la vitesse de transition de la déformation hydrodynamique a servi à prédire le comportement structural des matériaux contre des cibles beaucoup plus complexes.

Un programme expérimental a récemment débuté pour appliquer les principes de la mécanique de la rupture à la prédiction de vie sécuritaire des barils de gros canons. Trois études distinctes, qui contribueront en définitive à une méthodologie de

la prédiction, ont porté sur des techniques pour mesurer les propriétés des matériaux, évaluer les effets de la dimension de la fissure et de sa géométrie et mesurer physiquement la fissure interne. On est à mettre au point un modèle d'essai en forme de C pour obtenir des données réalistes sur la résistance à la rupture et sur le rythme de progression de la fissure dans les matériaux servant à la fabrication des barils des canons. Les résultats obtenus par le CRDV contribuent à la définition d'une norme "ASTM" sur l'utilisation de ce modèle. L'industrie privée a élaboré des techniques photo-élastiques pour mesurer les facteurs d'intensité de tension des fissures à trois dimensions; ces techniques sont appliquées à l'établissement de courbes de référence pour les barils de canons types. Un contrat a été accordé pour la mise au point du prototype d'une sonde ultrasonique optimale, capable de détecter et de mesurer les fissures de face, ce qui permettra de mesurer directement les paramètres des fissures nécessaires à l'évaluation des facteurs d'intensité de tension.

Les recherches en cours sur les matériaux portent aussi sur les composantes des munitions. L'élaboration d'une base technologique pour la production de douilles de cartouches en aluminium pour les canons de tout calibre est particulièrement intéressante. Ces travaux, qui sont maintenant effectués en grande partie par contrat de R&D, ont pour but

to the ballistic impact environment than were the earlier families of cast alloys.

In parallel to these metallurgical investigations, studies were conducted in deformation mechanics aimed at understanding the phenomena of high-speed ballistic impact and at developing a capability to predict the dynamic behavior of a penetrator during impact. These techniques were also applied to the development of inexpensive methods of evaluating new high-density alloys as potential penetrator materials. One method that was investigated extensively employed a relatively simple ballistic geometry. Standardized projectiles were manufactured from these materials and subjected to normal impact against semi-infinite steel targets over the range of velocities of interest. The observed level of the hydrodynamic deformation transition velocity was then used to predict the structural behavior of the penetrator material when employed to attack much more complex targets.

Recently, an experimental program was started to apply the principles of fracture mechanics to predicting the safe life of large gun barrels. Three separate studies, which will ultimately contribute to a predictive methodology, dealt with techniques to measure material properties, to evaluate flaw size/geometry effects and to make physical measurement of internal flaw size. To

provide realistic fracture toughness and crack growth rate data for gun barrel materials, a C-shaped test specimen is being developed. DREV experimental results are contributing to the development of an ASTM standard on the use of this specimen. Photoelastic techniques for measuring the stress intensity factor of three-dimensional cracks have been developed under contract and are being applied to the establishment of design curves for typical gun barrels. A prototype ultrasonic probe, optimized for end-on crack detection and measurement, has been developed under contract, thus providing a means of directly measuring the crack parameters required to evaluate the stress intensity factors.

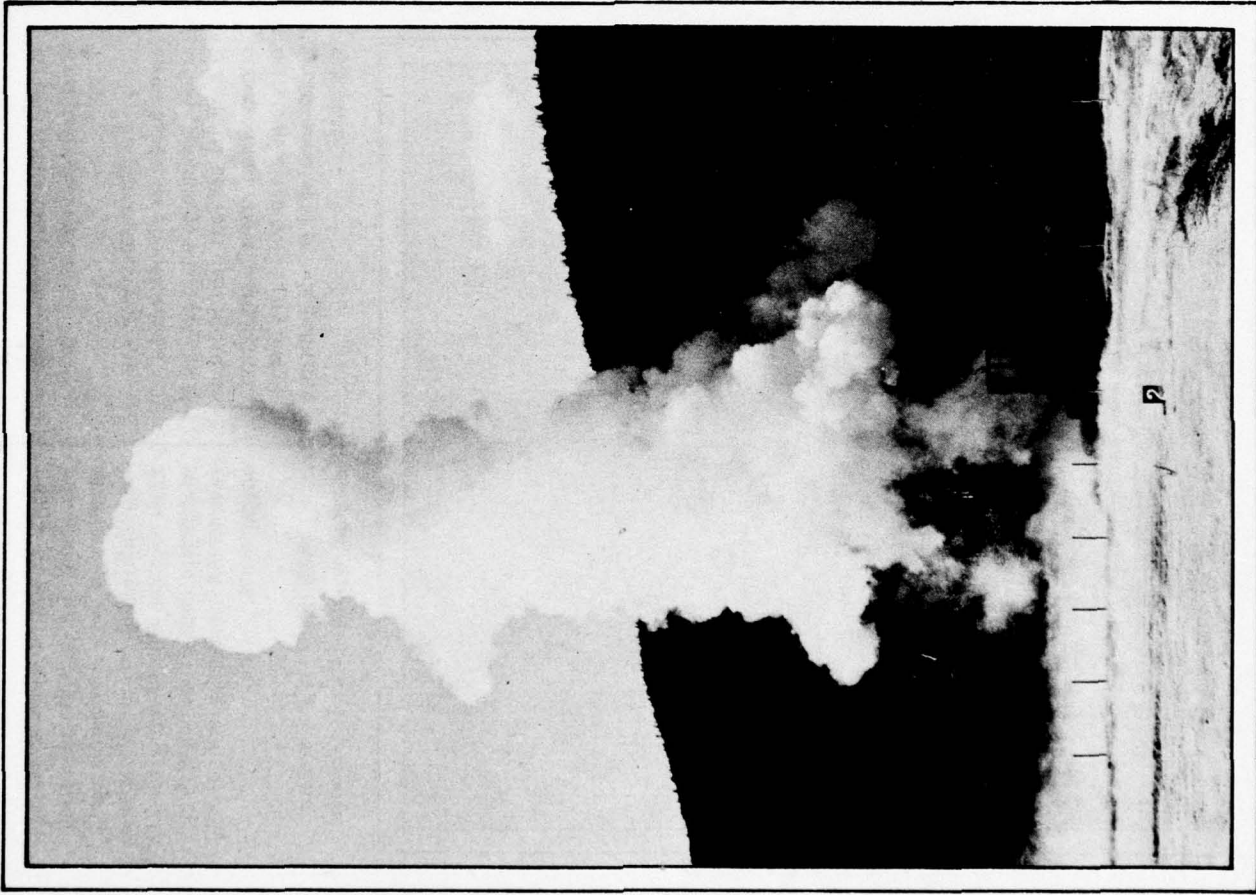
Current materials research also involves work on ammunition-related components. Of particular interest is the development of a technology base for the production of aluminum cartridge cases for guns of all calibers. This work, which is being conducted largely by R&D contract, is intended to develop a complete understanding of the metallurgical processes and transformations that occur during the extreme deformations needed to produce a cartridge case. The primary objective is to minimize the number of forming operations required and thus gain the logistical and tactical advantages of a lightweight cartridge case at a cost that is competitive with that of conventional cartridge cases.

de donner des connaissances complètes sur les méthodes de traitement et sur les transformations des métaux qui se manifestent durant les déformations extrêmes nécessaires à la production des douilles de cartouches. Le principal objectif est de réduire au minimum le nombre d'opérations de formage et d'obtenir ainsi les avantages logistiques et tactiques d'une douille de cartouche légère réalisée à un prix concurrentiel à celui des douilles de cartouches classiques.

### Neutralisation des bombes

Au début des années 70, les FC ont demandé l'aide du CRDV pour évaluer l'outillage servant à neutraliser les bombes. Les études initiales ont vite démontré que la protection offerte par l'équipement disponible était tout à fait inadéquate. Un programme a immédiatement été lancé pour améliorer le matériel et en même temps créer de nouvelles techniques et de nouveaux dispositifs pour aider l'opérateur à détecter, à désamorcer et à transporter sans danger les bombes de fabrication domestique.

Ces recherches ont permis de mettre au point un système amélioré pour la neutralisation et le transport des bombes, système qui protège le public même en cas d'explosion en cours de route. On en est présentement à l'étape finale de la mise au point technique d'un bouclier mobile



### Explosive Ordnance Disposal

In the early 1970s, the CF requested DREV's assistance in the evaluation of their safety equipment used by explosive disposal operators. Initial studies quickly showed that the protection afforded by the available equipment was completely inadequate. A program was immediately started to upgrade the equipment and concurrently develop new techniques and devices for aiding the EOD operator in the detection, diagnosis, disarming and safe transportation of improvised explosive devices.

This has resulted in a vastly improved bomb containment and transportation system that can provide public protection even in the event of an in-transit detonation. A

qui protégera l'opérateur contre la détonation et la fragmentation tout en lui permettant de manipuler de gros explosifs au moyen d'un bras hydraulique télécommandé.

Toujours dans le but de réduire au minimum les risques que présente la manipulation des bombes, le présent programme vise à fournir à l'opérateur un système de détection et de désamorçage des explosifs par télécommande. Après une période de conception et de mise au point technique au CRDV, la fabrication d'un petit véhicule à chenilles télécommandé est maintenant en cours. Ce véhicule peut transporter une caméra de télévision stéréo fonctionnant en circuit fermé, pour utilisation en dehors de la ligne de visée, un équipement de détection et différents mécanismes de désamorçage des bombes de fabrication domestique. On prévoit que les FC le mettront en service et qu'il sera vendu à un prix considérablement inférieur à celui des dispositifs semblables mis au point dans d'autres pays.

**Détection des explosifs**

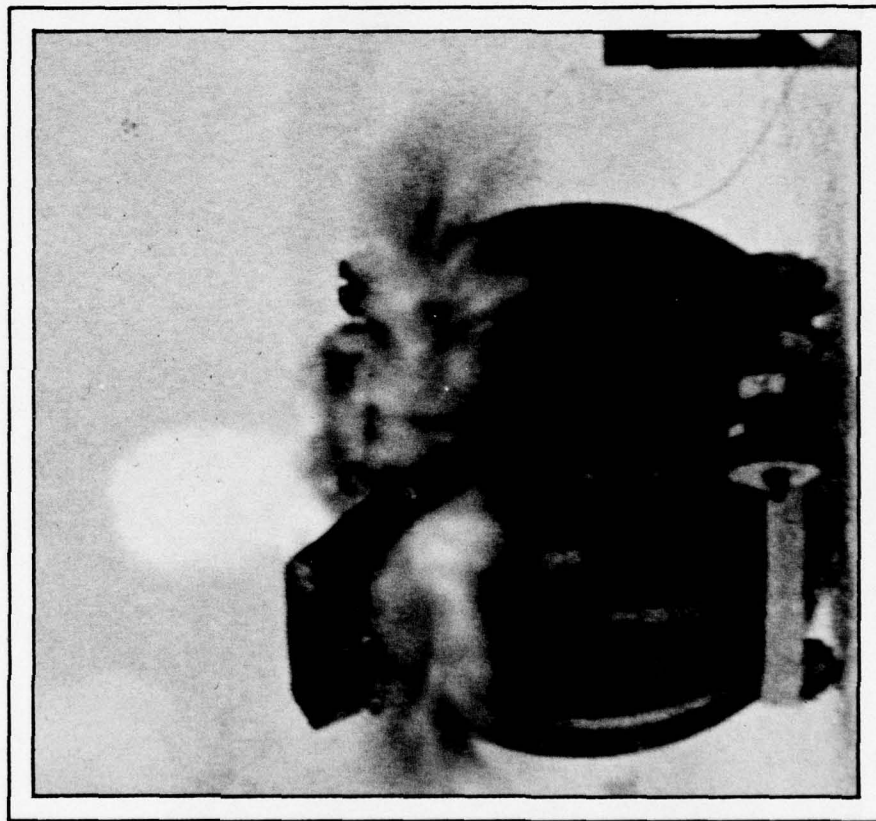
A la suite de l'intensification des activités terroristes à travers le monde au cours des années 60 et au début de la décade 70, le CRDV a mis sur pied un programme de détection de traces de vapeurs émises par les explosifs. Ce programme comprend deux volets: l'étude de nouvelles méthodes pour détecter les traces de

vapeurs et l'évaluation des détecteurs d'explosifs commerciaux.

Fondamentalement, nous avons étudié les phénomènes d'ionisation chimique en phase gazeuse et la mobilité des ions dans le but de concevoir une nouvelle génération de détecteurs d'explosifs ayant une plus grande sensibilité et une meilleure spécificité.

mobile man-rated shield which is now in the final stage of engineering development, will provide blast and fragmentation protection for the EOD operator while allowing him to manipulate large explosive devices remotely by means of an hydraulically actuated arm.

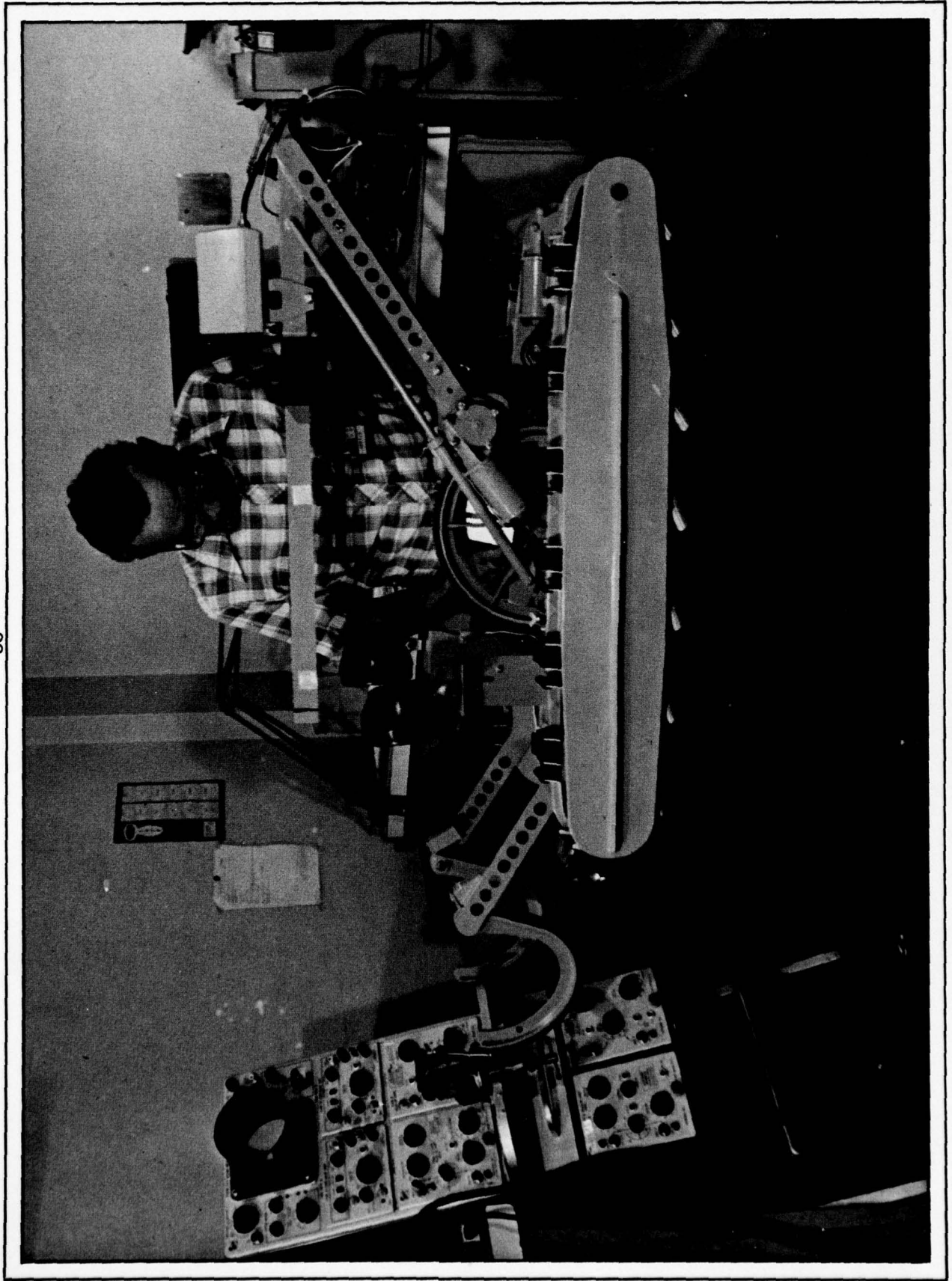
The thrust of the present program is a capability for remote



**Detection of Explosives**

As a result of the increase in terrorist activity around the world during the 1960s and early 1970s, DREV began a program oriented towards vapor trace detection of explosives. This activity is divided into two areas of research: an investigation of new methods of vapor trace detection and a study of the behavior of commercially available explosives detectors.

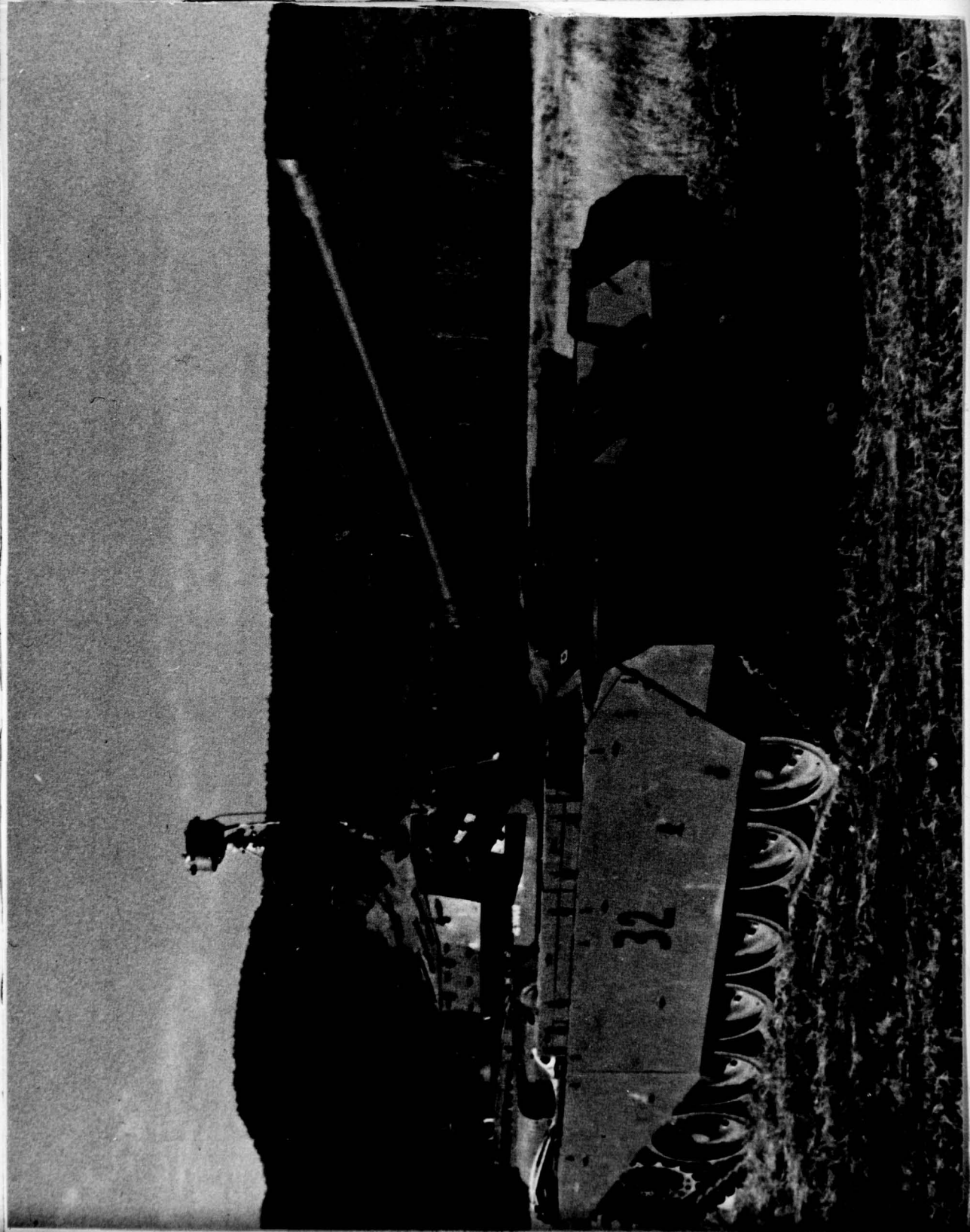
The basic studies of vapor trace detection were aimed at a better understanding of the phenomena of chemical ionization and ionic mobility. With a new generation of detectors based on these principles, it was hoped that higher sensitivity and specificity would be possible.



militaire  
effectif  
mercier  
pour a  
té à be  
positiv  
obteni  
trait c  
vieillis  
fluide

### Explos

Les ex  
goutte  
conten  
RDX.  
lières a  
3 mm)  
en géni  
s'aggl  
se com  
utilisés  
tempér  
nouvel  
quer d  
énergie  
les exp  
constru  
diamètr  
vant pi  
grains  
servi pi  
fabrica  
pilote  
des ess  
expérie  
et géli  
des EG  
et sur  
l'èleme



# SURVEILLANCE ET TELEDETECTION

## OBJECTIFS

La participation du CRDV aux mesures des signatures infrarouges des navires et aux essais d'observation dans le cadre des projets *Periscope* (hélicoptère miniature captif devant transporter des appareils d'observation) et *Rapidaim* (appareil de visée muni d'un laser pour les roquettes antichars) a débuté au cours des années 1960. Les connaissances et l'expérience acquises pendant cette période, ainsi que l'apparition de détecteurs à infrarouge améliorés et de capteurs à bas niveau d'éclaircissement, ont permis au CRDV d'apporter une contribution importante au domaine de la surveillance.

Dans le cadre de ce programme, les différents travaux de nature technologique sont normalement effectués dans des domaines choisis en fonction des besoins futurs des Forces canadiennes; dans le développement de l'ingénierie, nos efforts sont concentrés sur des appareils et des systèmes nouveaux en vue notamment d'en accroître les possibilités d'utilisation tactiques. Grâce à son rôle actif au sein de l'OTAN et du TTCP (Programme de coopération technique), le CRDV peut suivre de près les travaux parallèles réalisés dans d'autres pays. Dès la découverte

du laser, on a identifié des applications possibles au secteur militaire. Toutefois, on a dû consacrer beaucoup d'efforts à l'amélioration de la technologie avant que le laser puisse être intégré aux systèmes militaires. Depuis quelques années, nos recherches ont été concentrées sur les applications de la technologie des lasers au domaine de la surveillance.

## SURVEILLANCE

Si on connaît assez bien les caractéristiques de la propagation des rayons optiques et infrarouges dans l'air pur, on connaît beaucoup moins bien leur propagation dans un milieu atmosphérique réel contenant des aérosols de différentes natures et de concentrations diverses. A cet égard, on a fait des études théoriques sur la diffusion des faisceaux lasers par particules et on a construit un banc de mesure équipé d'un laser à argon pour différentes expériences sur la diffusion. Le CRDV participe simultanément au projet OPAQUE (Optical Atmosphere Quantities in Europe) par le biais d'une station de mesures conjointes Danemark-Canada, un projet en vertu duquel les données des divers paramètres diminuant le rendement des systèmes militaires électro-optiques sont recueillies à un certain nombre de stations en Europe et réunies dans une banque centrale.

# SURVEILLANCE AND REMOTE SENSING

## OBJECTIVES

In the 1960s, DREV became involved in the measurement of infrared signatures of ships and in viewing trials for projects such as Periscope (a miniature tethered helicopter to carry viewing devices) and Rapidaim (a laser-assisted sighting device for antitank rockets). The knowledge and experience DREV acquired during this period, combined with the availability of improved infrared detectors and low-light-level sensors, enabled it to make a significant contribution in the field of surveillance.

The various technology base activities of this program are normally carried out in areas selected in conformity with forecasts of the future needs of the Canadian Forces; on the engineering development side, efforts are concentrated on new devices and systems specifically selected for the improvement and augmentation of tactical capabilities. DREV is closely monitoring similar work in other countries through an active participation in NATO and TTCP (The Technical Cooperation Program) groups. Possible military applications of the laser were soon recognized after its discovery. However, much effort had to be expended on improving the technology before

lasers could be applied efficiently in military systems. For the past few years, effort has been, and continues to be, concentrated on applications of laser technology to the field of surveillance.

## SURVEILLANCE

Transmission characteristics of optical and infrared radiation through pure air are now generally well known, but transmission through an actual atmospheric environment containing aerosols of different natures and in various concentrations needs further study. Theoretical investigations of the scattering of laser beams by particles have been carried out, and a laboratory facility incorporating an argon laser has been assembled to conduct various scattering experiments. At the same time, through a joint Danish/Canadian station, DREV is participating in OPAQUE (Optical Atmospheric Quantities in Europe), a NATO project in which data on the various parameters affecting the performance of military electro-optical systems are being collected at a number of stations in Europe and consolidated in a central data bank.

On étudie présentement l'application des techniques de microtraitement aux systèmes électro-optiques militaires. On a conçu des assembleurs et des simulateurs pour traduire, à l'aide d'un programme Fortran, des instructions lisibles par l'homme en des codes assimilables par la machine, ce qui a permis la programmation d'un micro-ordinateur en langage symbolique. On a appliqué la technologie des microprocesseurs au système de contrôle de l'alignement du tir d'artillerie qui peut maintenant fonctionner de façon satisfaisante sur des parcours atmosphériques à haute turbulence ayant de faibles qualités de propagation. Parallèlement, on a incorporé des microprocesseurs à l'électronique des dispositifs d'alerte contre les intrus, de sorte qu'on peut maintenant préprogrammer différents scénarios selon les applications envisagées. La faisabilité du système ayant été établie, on a commandé à l'industrie un certain nombre d'unités mécaniques.

Un enregistreur numérique a été ajouté à une caméra infrarouge BOFORS préalablement équipée d'un convertisseur de balayage digital; cet appareil sert maintenant au traitement de l'image thermique par ordinateur. On a mené des expériences impliquant des observateurs humains et une série d'images détériorées de navires en vue de déterminer dans quelle mesure les possibilités de reconnaître et d'identifier un objectif dépendent de la fréquence spatiale de

coupure.

On a continué la mise au point d'un système infrarouge navigé de poursuite et de surveillance. Un système de repérage passif panoramique, qui avait déjà passé l'étape de la faisabilité a été employé lors d'un exercice réunissant plusieurs pays de l'OTAN.

Au cours de la mise au point d'un système infrarouge maritime destiné à la détection passive des navires et des avions ou missiles attaquant à basse altitude, le CRDV n'a pas cessé de prodiguer ses conseils techniques et scientifiques à la Direction des systèmes de combat naval du QGDN. Ce système, d'une grande importance pour la défense canadienne, a été développé d'après une idée originale du CRDV; il a été fabriqué par la firme SPAR Aerospace Products Ltd., sous le nom de Shipborne Passive Surveillance and Detection System, mieux connu sous le sigle SPSDS. Le CRDV a terminé l'appréciation technique de ce système.

Le CRDV a assisté le Centre de recherches pour la défense, Suffield dans un projet comportant l'étude de différentes méthodes de réduction de la radiation émanant des cheminées des navires à turbines à l'aide d'une maquette de cheminée et un moteur d'activation à réaction. Sa tâche consistait à prendre des images thermiques quantitatives avec des caméras thermiques AGA alors que le processus de refroidissement

The application of micro-processing techniques to military electro-optical systems is under investigation. Assemblers and simulators using a Fortran program to translate man-readable statements into machine-understandable codes have been designed, which permitted the programming of a microcomputer in symbolic language. Microprocessor technology has been introduced in the Gun Alignment Control System, which can now operate satisfactorily over highly turbulent atmospheric paths having poor transmission characteristics. Similarly, the electronics of the Intrusion Alarm System was redesigned to incorporate microprocessors, which permits the preprogramming of scenarios depending on the particular application envisaged. The feasibility demonstration stage having been completed, technology transfer to industry has been made through a production order for a number of engineering units.

A digital tape recorder was added to a BOFORS infrared camera previously equipped with a digital scan converter; this now provides for thermal imagery processing by computer. Experiments using human observers and a series of degraded ship images have been conducted to determine how the probabilities of recognition and identification depend on spatial frequency cutoff.

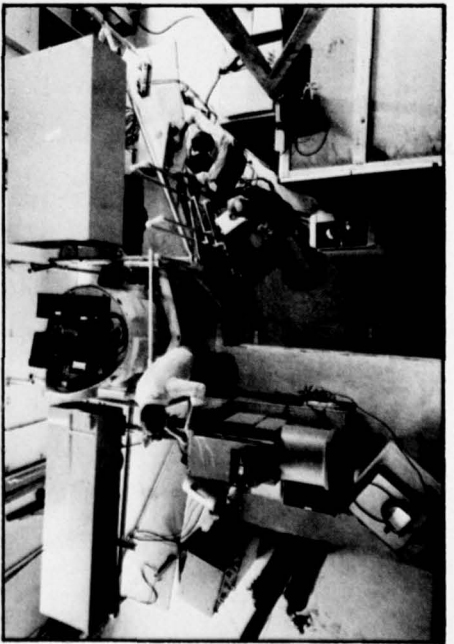
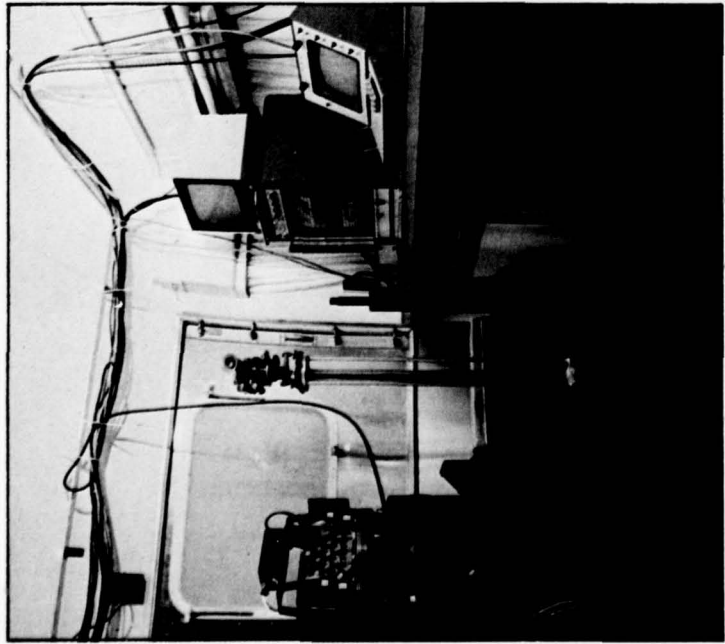
The development of a shipborne optical fire control/tracker

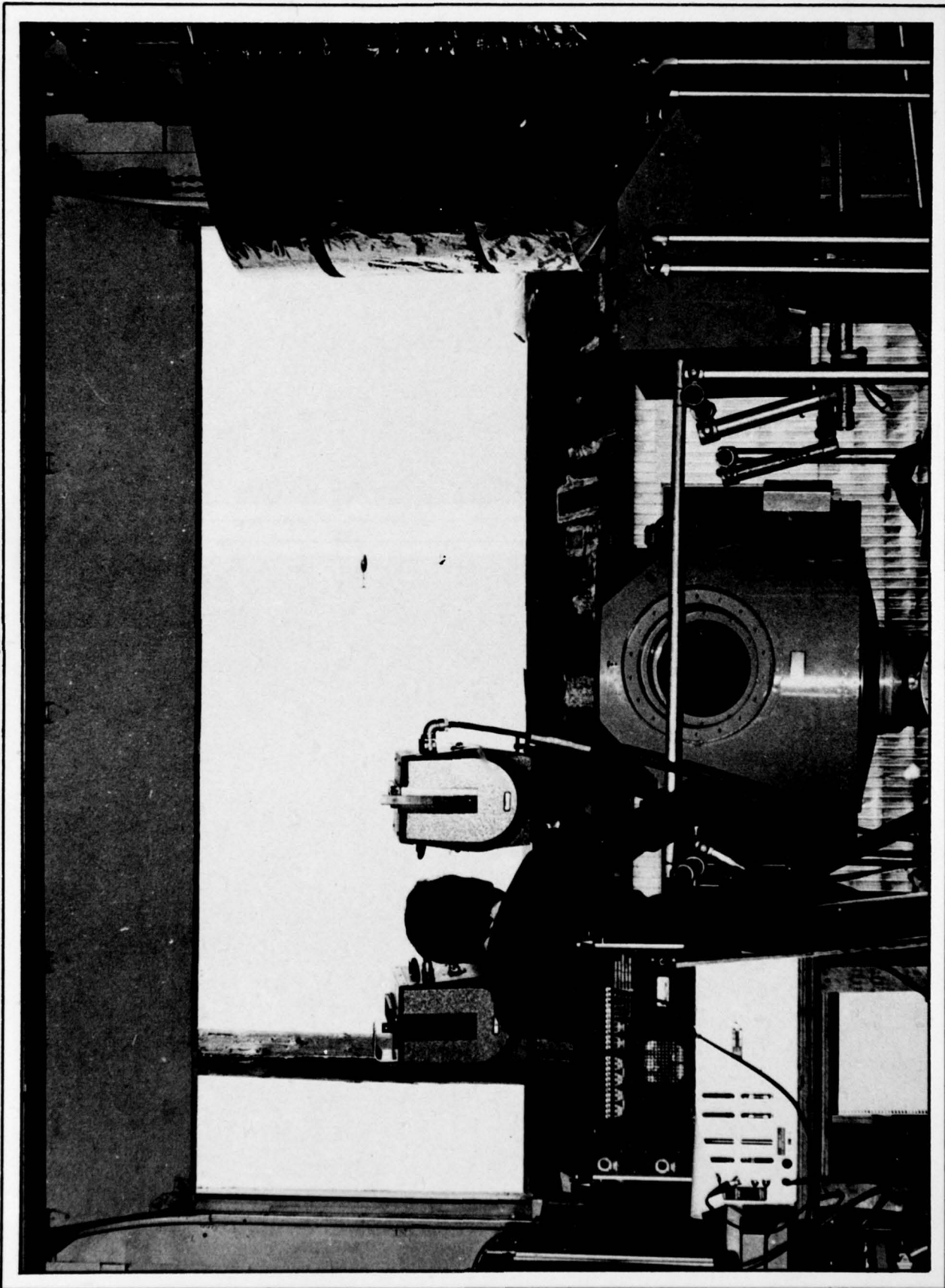
designator has continued. A system known as "Panoramic Passive Optical Tracker", having passed through the feasibility demonstration stage, was used in an exercise involving a number of NATO countries.

Scientific and technical advice has been continuously provided to the Directorate of Maritime Combat Systems at NDHQ during the development of a seagoing infrared unit for the passive detection of ships and low-flying missiles or aircraft. This unit, a major Canadian defence development based on an original DREV concept, was produced by SPAR Aerospace Products Ltd. under the name of "Shipborne Passive Surveillance and Detection System", better known as SPSDS. A technical evaluation of the unit was completed at DREV.

Assistance was given to Defence Research Establishment, Suffield on a project where various methods of reducing the radiation from funnels of turbine-powered ships are being studied by means of a mock-up funnel and a jet aircraft engine. DREV's contribution consisted in securing quantitative thermal imagery with AGA thermovision cameras while the cooling process under study was being applied.

A DREV team spent two weeks collecting infrared imagery of ice formations, using a Reconofax





dissement à l'étude était mis à l'essai.

Une équipe du CRDV a passé deux semaines au Groënland dans le but de recueillir des images infrarouges de formations de glace au moyen d'une caméra thermique aéroportée à balayage séquentiel installée sur un avion Argus stationné à Thulé.

### CONTRE-SURVEILLANCE

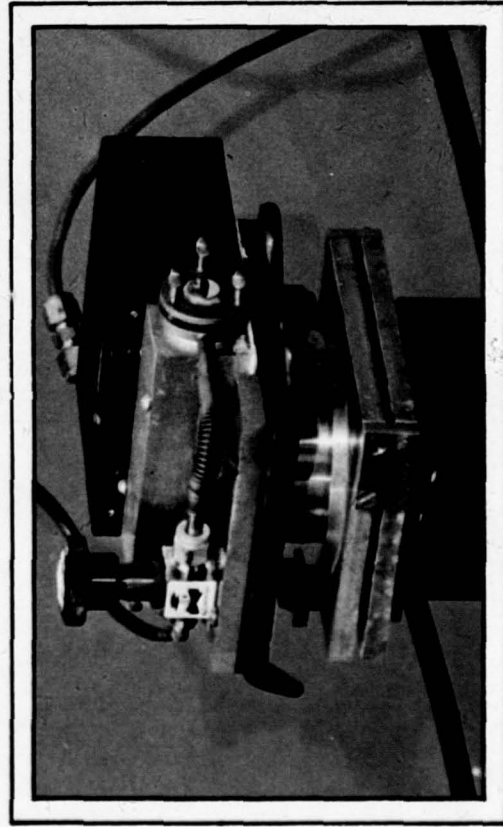
Dans le domaine de la contre-surveillance, le CRDV a consacré ses efforts à la détection des traînées laissées par les roquettes. Une étude très importante a porté sur la position et le profil des émissions de CO<sub>2</sub> et de leurs raies d'absorption à 4 µm. On a mesuré un certain nombre de traînées gazeuses à faible résolution, produites par des roquettes lancées d'une rampe stationnaire; des mesures portant sur des spectres à haute résolution ont été effectuées au moyen d'un interféromètre spécial. Un contrat a été accordé au *Center for Research in Experimental Space Science* (CRESS) de l'Université York qui procède actuellement à une étude complémentaire. Les premiers résultats sur les effets de la propagation atmosphérique des traînées gazeuses simulées concordent bien avec ceux des pays étrangers.

On a terminé l'étude de la faisabilité des détecteurs d'alerte laser avec capteurs mono- et multi-éléments pour assurer la protection

XIII infrared line scanner installed aboard an Argus aircraft operating out of Thule, Greenland.

### COUNTERSURVEILLANCE

In the field of countersurveillance, efforts have been devoted mainly to the detection of rocket plumes. A study of prime importance was centered upon the position and profile of CO<sub>2</sub> emission and absorption lines in the 4-µm region. A number of low-resolution spectra of plumes generated by statically fired rockets have been measured; higher resolution spectra measurements using an especially designed interferometer



have been carried out. A complementary study is being conducted under contract by the Center for Research in Experimental Space Science (CRESS) of York University; preliminary results concerning the effects of atmospheric transmission on simulated plumes are in good agreement with results from other countries.

A feasibility demonstration has been completed of electro-optical single- and multisensor laser detector systems for the defence of combat vehicles against laser-guided weapons and laser range finders. Results obtained with the sensor systems led to technology transfer to industry for the development of an engineering model which was subsequently evaluated and incorporated in a smoke obscuration countermeasures system.

### LASER TECHNOLOGY

#### Tuning of Lasers

Tuning of lasers can be achieved by the use of an absorption cell operating on the Stark effect principle where the frequency can be changed according to the voltage applied to the cell electrodes.

A low-power CO<sub>2</sub> laser, frequency-stabilized and tunable over its entire operating band, was operated successfully.

### Lasers miniatures scellés et lasers à guide d'ondes

La mise au point de lasers CO<sub>2</sub> TEA miniatures scellés capables de délivrer des énergies de l'ordre de 10 à 200 mJ a progressé. On a construit quelques prototypes avec lesquels on procède actuellement à des essais de durée. Dans le but de prolonger la durée de fonctionnement des lasers scellés, on a étudié de nouveaux matériaux pour les électrodes et les supports.

La dégradation du rendement des lasers CO<sub>2</sub> scellés a été étudiée au moyen d'un spectromètre de masse. L'étude a démontré que la dégradation est due à la décomposition du CO<sub>2</sub> en CO et en O<sub>2</sub>, et qu'il est possible de retarder cette décomposition par l'addition de H<sub>2</sub> et de CO. Un modèle mathématique décrivant les principales réactions possibles entre les différentes espèces gazeuses s'est révélé très utile pour cette analyse; les résultats prévus ont été vérifiés expérimentalement.

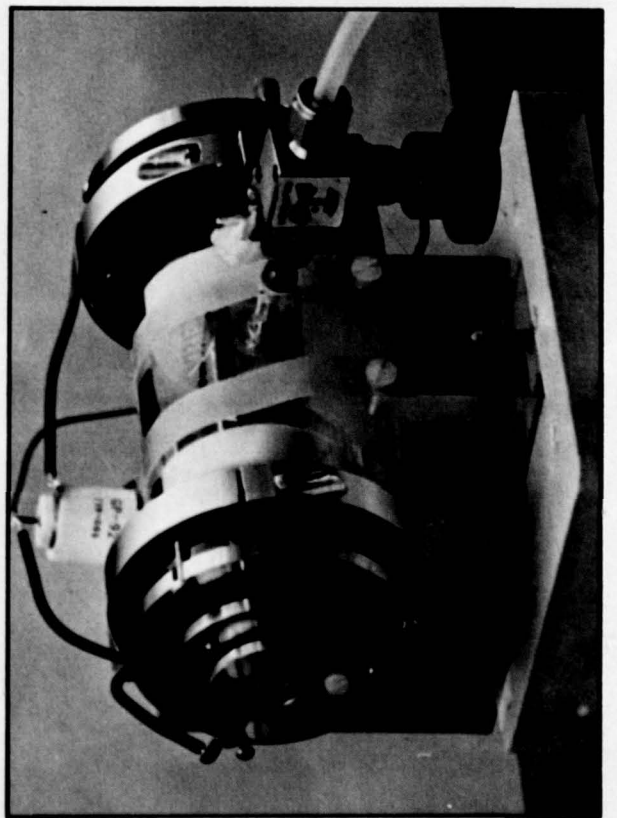
Afin d'optimiser le rendement du pompage et le fonctionnement des lasers CO<sub>2</sub> TEA scellés, il importe de mieux comprendre les effets de l'ionisation du gaz. Après avoir réussi quelques expériences préliminaires sur la production de photo-ionisation à l'intérieur de lasers CO<sub>2</sub> à excitation électrique au moyen d'une source de rayons ultra-violet, on a construit un appareil muni d'électrodes

### Waveguide and Miniature Sealed Lasers

The development of sealed compact TEA-CO<sub>2</sub> lasers capable of producing energy in the order of 10 to 200 mJ has progressed. A few experimental units have been built which are undergoing aging tests. Research was carried out into suitable materials for electrodes and supports that would prolong the operating life of sealed lasers.

The degradation of the performance of sealed CO<sub>2</sub> lasers was studied by means of a mass spectrometer. The study revealed that this degradation is due to the decomposition of CO<sub>2</sub> into CO and O<sub>2</sub> and that this decomposition may be delayed by the addition of H<sub>2</sub> and CO. A mathematical model of the main possible reactions between the different gas species has proved most useful for this analysis; the predicted results were verified experimentally.

To optimize the pumping efficiency and the operation of sealed TEA-CO<sub>2</sub> lasers, a better understanding of the effects of gas ionization is required. Following some successful preliminary experiments on the production of photo-ionization in electrically excited CO<sub>2</sub> lasers with an ultraviolet source, an apparatus having glass-molybdenum electrodes, a polished quartz surface and a lithium fluoride (LiF) window was built to study the effects of gas ionization.



en verre molybdène, d'une surface en quartz poli, et d'une fenêtre en fluorure de lithium (LiF) pour étudier les effets de l'ionisation du gaz.

Un laser CO<sub>2</sub> à guide d'ondes excité transversalement par de l'énergie haute fréquence a été éprouvé en laboratoire; ce laser rectangulaire de 12 cm de longueur, fonctionnant à une pression de 100 torrs, avait une puissance continue de 0.5 W.

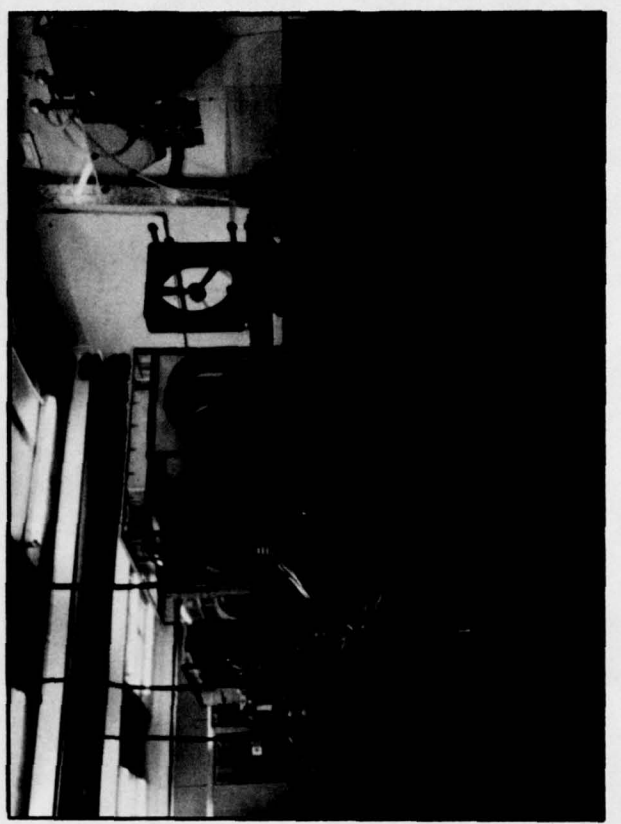
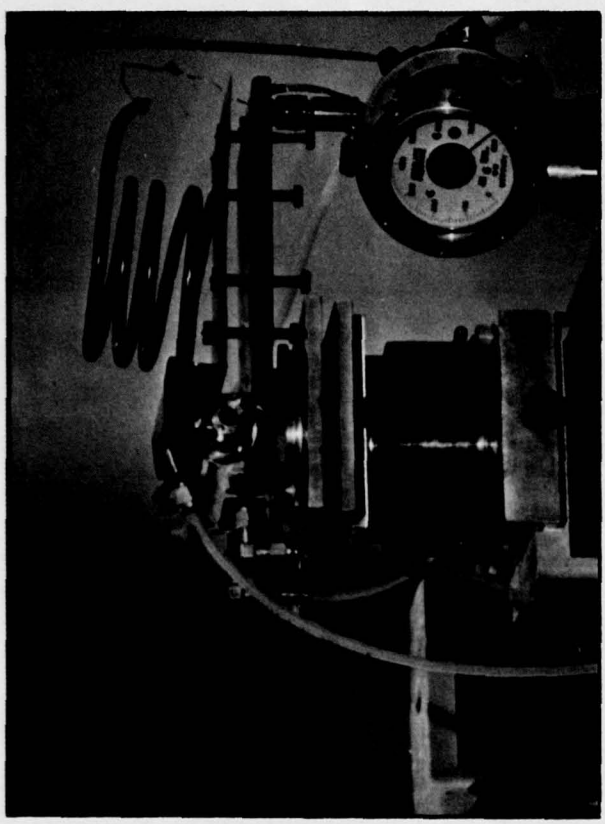
**Laser à acide chlorhydrique**

La mise au point d'un laser chimique (HCl) pur, découvert au CRDV en 1976, se poursuit. Ce nouveau laser peut emmagasiner une plus grande quantité d'énergie et possède une efficacité accrue; de plus, il fonctionne à une longueur d'onde où la transmission atmosphérique est bonne. Dans ce laser, l'oxyde nitrique réagit avec le bioxyde de chlore pour former des atomes de chlore qui réagissent par la suite avec l'iode d'hydrogène pour produire du HCl excité vibrationnellement, c'est-à-dire un milieu laser. Tous ces phénomènes se produisent rapidement en phase gazeuse à la température de la pièce et dépendent uniquement de la vitesse à laquelle on peut mélanger ces gaz. Ce système permet, en outre, d'atteindre des puissances élevées. Des lasers de plusieurs géométries ont été étudiés et, du point de vue chimique, un rendement très élevé a été obtenu avec un minimum de pompage. Par contre, certains lasers

A CO<sub>2</sub> waveguide laser transversely excited by radio frequency energy has been tested in the laboratory; this 12-cm long rectangular section laser, operating at 100 torr, has produced a continuous power of 0.5 W.

**Hydrochloric Acid Laser**

The development of a purely chemical HCl laser, discovered at DREV in 1976, is continuing. This new laser offers the distinct advantages of compact energy storage and high efficiency; moreover, it operates at a wavelength where the atmospheric transmission is good. In this laser, nitric oxide reacts with chlorine dioxide to form chlorine atoms which subsequently react with hydrogen iodide to form vibrationally excited HCl, the laser medium. All these processes occur rapidly in the gas phase, at room temperature, and depend only on the speed with which the gases can be mixed. In addition, this system has a potential for scaling to high powers. Several laser geometries have been examined, and a very high chemical efficiency has been achieved with a very modest pumping requirement. A drawback of some chemical lasers is that as the pressure is increased to achieve high powers the active species tend to recombine





chimiques présentent des inconvénients, telle la tendance des espèces actives à se recombiner rapidement à mesure que la pression monte pour augmenter la puissance. Dans le cas du laser HCl, on a mis au point une méthode qui permet, à des pressions élevées, de retarder la réaction pour qu'elle s'achève juste avant la formation des espèces excitées de HCl.

#### Puissance de sortie

Afin d'obtenir une plus grande puissance de sortie, nos chercheurs ont étudié la production de modes optiques de grand volume au moyen de résonateurs à géométrie stable. En utilisant un arrangement concave-convexe avec un amplificateur  $\text{CO}_2$  TEA, on obtient un mode fondamental de grande dimension avec des résonateurs de longueur réduite.

On a poursuivi les recherches sur l'emploi d'absorbants saturables dans les chaînes d'amplification optique pour obtenir des gains supérieurs tout en supprimant les oscillations parasites. On a aussi étudié les propriétés de saturation de la tétrafluorohydrazine ( $\text{N}_2\text{F}_4$ ) au moyen d'une impulsion laser  $\text{CO}_2$  de 1 ns afin de déterminer les limites fondamentales d'un isolateur optique  $\text{N}_2\text{F}_4/\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Ces études ont démontré que la photodissociation réversible de  $\text{N}_2\text{F}_4$  permet d'employer l'isolateur dans un laser scellé, et que l'absorption résiduelle produite à

quickly. In the current DREV HCl laser system, a method has been evolved whereby the reaction can be held up at high pressures, only going to completion just before the formation of the excited species of HCl.

#### Output Power

To achieve greater output power, the production, by means of stable geometry resonators, of large-section optical modes was studied. The concave-convex configuration used in conjunction with a TEA- $\text{CO}_2$  amplifier produced a large-scale fundamental mode with short resonator lengths.

Studies have continued on the use of saturable absorbants in optical amplification chains as a means of obtaining larger gains while avoiding parasitic oscillations. Studies were also made of the saturating properties of tetrafluorohydrazine ( $\text{N}_2\text{F}_4$ ) by a 1 ns  $\text{CO}_2$  laser pulse to determine the fundamental limits of the  $\text{N}_2\text{F}_4/\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  optical insulator. These studies indicated that the reversible photodissociation of  $\text{N}_2\text{F}_4$  permits the insulator to be used in a sealed laser, and that the residual absorption at high illumination levels restricts the useful length of the amplifier to 6 m. In this system, the maximum power that can be pro-

des intensités lumineuses élevées réduit la longueur effective de l'amplificateur à 6 m. Dans ce système, la puissance maximale des amplificateurs à grande section est de l'ordre de 10 GW.

### PROPAGATION DE FAISCEAUX LASERS

L'étude théorique et expérimentale des effets de la turbulence de l'air ainsi que de la déviation et de l'étalement du faisceau laser a progressé. Par des expériences en laboratoire, on a pu examiner de près la structure statistique des variations de l'indice de réfraction atmosphérique et observer les fluctuations aléatoires rapides du rayonnement du faisceau. On a, en outre, mis au point un code numérique pour prédire le rayonnement moyen, l'écart type des fluctuations du rayonnement et l'étalement du faisceau. Les résultats numériques correspondent très bien à ceux des mesures effectuées en laboratoire ou dans l'atmosphère.

Un autre effet atmosphérique néfaste est la défocalisation thermique qui se produit à haute puissance et qui provient de l'échauffement de l'air sur le parcours du faisceau. On a mis au point un code d'ordinateur pour pouvoir prédire cette autodistorsion en fonction de la puissance du laser, de l'absorption atmosphérique, de la distance de propagation, du diamètre et de la concentration du faisceau, de la fréquence du ba-

duced with large-section amplifiers is of the order of 10 GW.

### LASER PROPAGATION

Theoretical and experimental studies of air turbulence effects, beam wandering and beam spreading, have progressed. A laboratory experiment was set up to closely examine the statistical structure of the atmospheric

refractive index fluctuations and to observe the rapid random fluctuations of the beam irradiance. A numerical code was also developed to predict the average irradiance, the standard deviation of the irradiance fluctuations, and the beam spreading. Numerical results are very well corroborated by measurements, both in the simulation experiment and in the atmosphere.

Another detrimental atmospheric effect is the thermal blooming which occurs at high-power levels and which results from the heating of the air in the path of the beam. A computer code was developed to predict this self-induced distortion as a function of laser power, atmospheric absorption, propagation distance, beam diameter and focussing, slewing rate and wind speed. One function of the code is to indicate the optimum operating conditions that will maximize the power density delivered to a target.

### LASER-TARGET INTERACTIONS

Studies of laser-target interactions have been aimed at understanding energy coupling mechanisms and induced damage. On the theoretical side, the development of computer codes to describe target heating and damage thresholds has continued. Experimental investigations were carried out on various target materials using TEA-CO<sub>2</sub> lasers, namely: a variable pulse-length laser producing up to 50 J in 0.1 to 100 μs pulses,



et les seuils de dommage. Des recherches expérimentales ont été entreprises sur des cibles de matériaux divers; différents lasers CO<sub>2</sub> TEA ont été utilisés: soit un laser capable de produire des impulsions de 50 J dont la durée varie de 0.1 à 100 μs, un laser haute cadence d'une puissance moyenne de 2 kW, et un laser haute puissance produisant 1 kJ par impulsion.

### LADAR

Dans les systèmes ladars, les lasers fonctionnant à la longueur d'onde de la transition vibrationnelle du CO<sub>2</sub>, soit 10.6 μm, offrent des avantages importants sur ceux qui fonctionnent sur une longueur d'onde plus courte; ils sont beaucoup plus efficaces, leur radiation se propage mieux à travers les aérosols tels que le brouillard et la fumée, et ils sont beaucoup moins dangereux pour les yeux. De plus, comme il est possible de stabiliser la fréquence d'un émetteur laser CO<sub>2</sub> par rapport à celle d'un oscillateur local, ces lasers permettent de détecter des échos faibles de façon cohérente et, ainsi, offrent une sensibilité beaucoup plus élevée que dans le cas de la détection directe. On a donc poursuivi la mise au point d'un ladar expérimental de 10.6 μm à détection hétérodyne.

Pour réduire au minimum la largeur de bande requise dans les systèmes qui utilisent la réception hétérodyne, il est nécessaire de con-

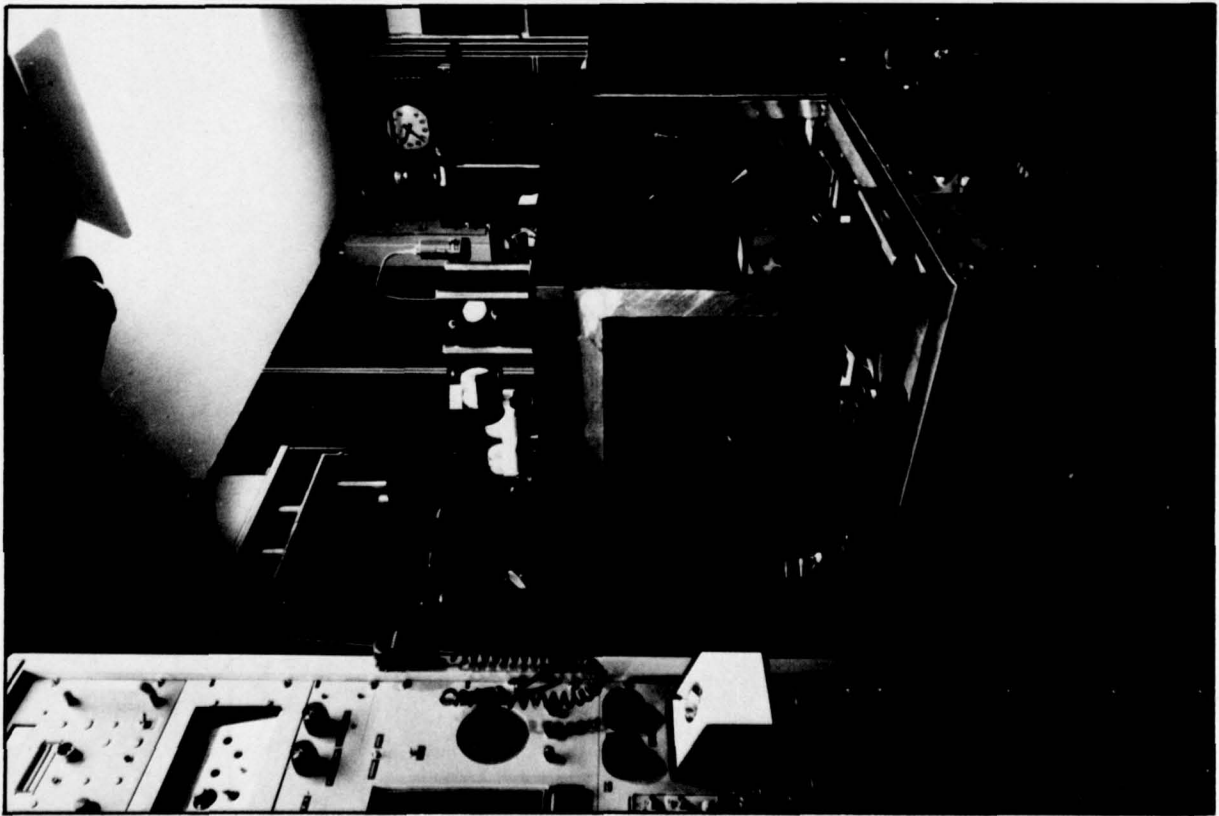
a high-repetition-rate laser capable of delivering 2 kW of average power and a high-energy laser discharging 1 kJ per pulse.

### LADAR

In ladar systems, lasers operating at the 10.6 μm wavelength of the CO<sub>2</sub> vibrational transition have important advantages over those operating at shorter wavelengths; they are much more efficient, their radiation propagates better through aerosols such as haze and smoke, and they are much less hazardous to the eyes. Furthermore, as their frequency can be highly stabilized to conform to that of a stabilized local oscillator, coherent detection of weak echo signals is not only possible but is orders of magnitude more sensitive than direct detection. The development of an experimental 10.6 μm ladar using heterodyne detection has continued.

To reduce to a minimum the bandwidth required in systems using heterodyne reception, a high degree of stability of the frequency of the laser energy is necessary. Various methods of frequency stabilization were investigated. One, which consists in injecting the signal from a CW





trôler la fréquence des lasers avec beaucoup de précision. On a étudié différentes méthodes de stabilisation de fréquence. L'une d'elles, qui a fait l'objet d'une étude théorique et expérimentale, consiste à injecter le signal produit par un oscillateur à ondes continues à l'intérieur de la cavité d'un laser à impulsions. Une autre méthode consiste à placer un tube laser fonctionnant à très faible pression à l'intérieur de la cavité d'un laser CO<sub>2</sub> TEA; on a mesuré la stabilité de la fréquence d'un laser hybride de ce genre, à la fois pendant les impulsions et au cours des intervalles entre les impulsions, à des taux d'impulsions allant jusqu'à 300 Hz. Les résultats indiquent que la fréquence peut être stabilisée à  $\pm 2$  MHz même à une cadence de 300 impulsions à la seconde.

Dans le cas des ladars de poursuite automatique, le taux d'impulsions nécessaire pour donner une information précise sur la position, la direction et la vitesse de la cible est beaucoup plus élevé que celui requis pour la télémétrie. On étudie présentement, en collaboration avec un fabricant local qui a construit un appareil selon les devis, le fonctionnement d'un laser hybride CO<sub>2</sub> TEA haute cadence.

Les essais ont démontré que l'oscillation est stable et qu'on peut la reproduire dans un mode longitudinal unique à des cadences atteignant 350 Hz avec une énergie d'impulsion

oscillator into the cavity of a pulsed laser, was studied theoretically and experimentally. Another method consists in placing a laser tube that operates at a very low pressure inside the cavity of the TEA-CO<sub>2</sub> laser; the frequency stability of such a hybrid laser has been measured both during the pulses and during the interval between the pulses for pulse rates up to 300 Hz. Results show that frequency can be stabilized to  $\pm 2$  MHz at 300 pulses per second.

In automatic tracking ladars, the laser pulse rate required for accurate information on target position, direction and speed is much higher than that required for range finding only. The functioning of a high-repetition-rate hybrid TEA-CO<sub>2</sub> laser is being studied with the assistance of a local firm who has built such a device to specifications.

Tests have shown that the oscillation is stable and reproducible in a unique longitudinal mode at rates up to 350 Hz and with a pulse energy in the order of 100 mJ. Attempts were made to raise the laser energy by increasing the internal dimensions of the low-pressure section; so far, the energy has been doubled. Possible methods of preventing the deterioration of the cavity components during operation at high repetition rates will be investigated.

Initial results obtained with the experimental ladar are promising:

de l'ordre de 100 m]. On a effectué des essais en vue d'élever la puissance du laser en augmentant les dimensions internes de la section soumise à une basse pression; jusqu'à maintenant, on a réussi à doubler cette puissance. Certaines études porteront sur les méthodes éventuelles d'empêcher la détérioration des composants de la cavité durant le fonctionnement à haute cadence.

Les premiers résultats obtenus avec le lidar expérimental sont prometteurs: on a réussi par temps clair à repérer des cibles de grande dimension à une distance de 20 km.

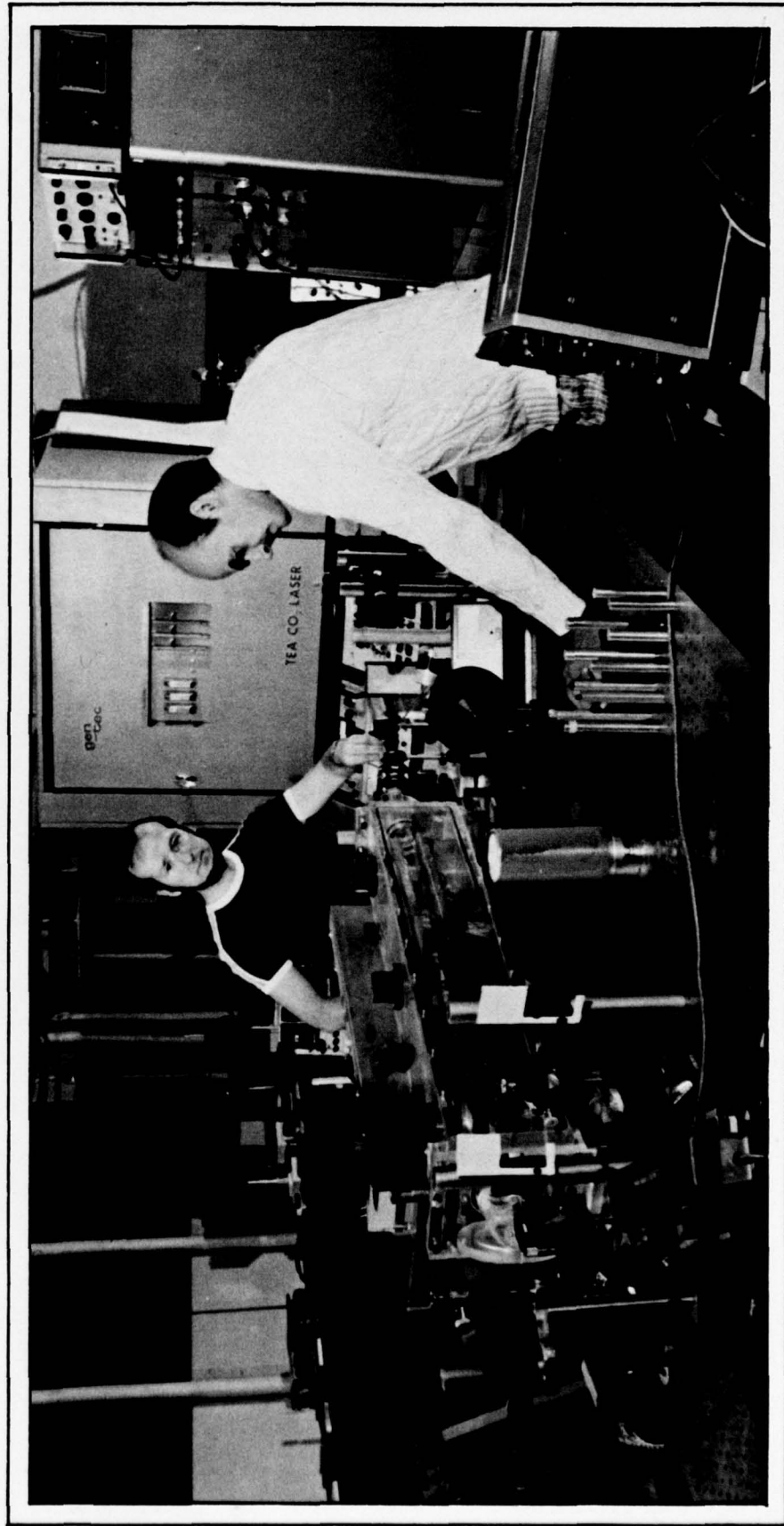
### TELEMETRES LASERS

On a étudié la faisabilité de mettre au point un télémètre qui fonctionnerait avec le système de surveil-

extended targets have been detected at a range of 20 km in clear weather.

### LASER RANGE FINDERS

The feasibility study of a range finder for use in conjunction with an infrared surveillance system aboard HMC ships



lance infrarouge à bord des navires du Commandement maritime du Canada. Tout en faisant des recherches pour améliorer la sensibilité des ladders, on a conçu des plans en vue de doter un des destroyers porte-hélicoptères (DDH) d'un télémètre à double longueur d'onde. Cela devrait nous permettre d'acquiesir une expérience appréciable dans le fonctionnement d'un système ladar à la mer et de déterminer les difficultés que pose l'utilisation d'un miroir stabilisé pour le télépointage d'objets de petite dimension. Comme la divergence des faisceaux ladders est très faible (quelques dixièmes de milliradian), on doit ajouter un système auxiliaire d'acquisition pour repérer et poursuivre des cibles éloignées. On a conçu deux dispositifs de balayage infrarouge à détection passive: l'un qui doit être utilisé avec le ladar hétérodyne et l'autre avec le télémètre à double longueur d'onde. Les deux sont intégrés à leur télescope de réception de façon qu'ils puissent employer la même ouverture optique, ce qui réduit au minimum les erreurs de visée.

Le CRDV a étudié en outre la possibilité de fournir aux unités d'artillerie et d'infanterie des Forces terrestres un petit télémètre portatif et inoffensif pour les yeux. Comme solution possible à court terme, on songe à modifier des télémètres lasers au néodyme déjà utilisés, tels le Simrad LP-7 ou le RCA GVS-5, de

manière à les rendre inoffensifs pour les yeux. A plus long terme, on prévoit construire des lasers CO<sub>2</sub> TEA scellés de petite dimension.

### TRAVAUX CONNEXES

Le CRDV continue d'assister les différentes directions en participant, par son évaluation des matériels, au processus d'acquisition. Parmi ces matériels, on retrouve des enregistreurs vidéo pour les caméras d'imagerie thermique FLIR (Forward Looking IR) destinées à équiper les avions de patrouille à long rayon d'action (APLRA) ainsi que divers équipements de vision nocturne dont une lunette thermique d'observation et deux jumelles pour assurer la conduite de nuit des chars de combat.

was completed. Simultaneously with the development of more sensitive ladders, plans were made to equip one of the DDH ships with a dual-wavelength range finder. This should provide us with valuable experience in operating a ladar system at sea and permit assessment of the problems of aiming it at a small distant target by means of a stabilized steering mirror. The beamwidth of ladders being very small (a few tenths of a milliradian), an ancillary acquisition system is required to locate and track distant targets. Two passive infrared scanning systems have been designed: one for the heterodyne ladar and one for the dual-wavelength range finder. Both were designed to be integrated into their respective receiving telescopes so that they may use the same aperture and thus reduce boresighting errors to a minimum.

Some consideration has also been given to the provision of a small, portable and eye-safe laser range finder to the artillery and the infantry units of the Land Forces. As a possible short-term solution, the modification of existing neodymium laser range finders, such as the Simrad LP-7 or the RCA GVS-5, to make them eye-safe is being examined. On a longer term basis, miniature sealed TEA-CO<sub>2</sub> lasers are envisaged.

### RELATED ACTIVITIES

DREV has continued to provide assistance to various directorates in the evaluation of equipment as part of the procurement process. Systems assessed included video recording systems for the recording of Forward-Looking Infrared (FLIR) imagery in the long-range patrol aircraft (LRPA) and various night vision equipments such as a hand-held thermal viewer and two tank driving night sights.



## COMMUNICATIONS, COMMANDEMENT ET CONTROLE

### OBJECTIFS

Au cours des dernières années, la recherche au CRDV a porté sur l'application des techniques de l'informatique aux systèmes d'armement et aux tactiques militaires. Les progrès rapides réalisés récemment dans les sciences des micro-ordinateurs à grande vitesse et de la programmation ont ouvert la voie à de multiples applications considérées jusque-là inadéquates à cause du matériel volumineux et de la programmation complexe impliqués.

C'est en se tenant bien au courant des derniers développements dans ces sciences que le Centre a pu les adapter et les appliquer à des besoins spécifiques actuels, et même prévisibles, des Forces canadiennes. Les deux principaux projets en cours, soit la mise au point d'installations mécanographiques pour la manipulation des données tactiques terrestres et celle d'un système de simulation par ordinateur conçu pour les manœuvres anti-sous-marines (ASM), sont issus de ce programme.

### SYSTEMES DE DONNEES TACTIQUES

Des efforts appréciables ont été consacrés à la mise au point de bancs

d'essai informatisés pour expérimenter et évaluer des fonctions d'état-major automatisées qui ont été proposées en vue du commandement et du contrôle des Forces terrestres en milieu tactique. Autant que possible, des ordinateurs commerciaux ont été employés mais la programmation a été conçue au CRDV. La conception ou l'application a fait l'objet d'une appréciation à laquelle ont collaboré des opérateurs militaires qui ont utilisé des maquettes précises des véhicules de cellules d'état-major de quartier-général (QG) de même que des situations tactiques appropriées.

Le premier banc d'essai opérationnel a été utilisé pour la mécanisa-

## COMMUNICATIONS, COMMAND AND CONTROL

### OBJECTIVES

DREV has been engaged for the past few years in the application of computer technology to weapons systems as well as to military tactics. The rapid advances in recent years of both high-speed microcomputer technology and programming sciences have opened the doors wide to applications considered up to now as not appropriate because of the bulky equipment and the complex software involved.

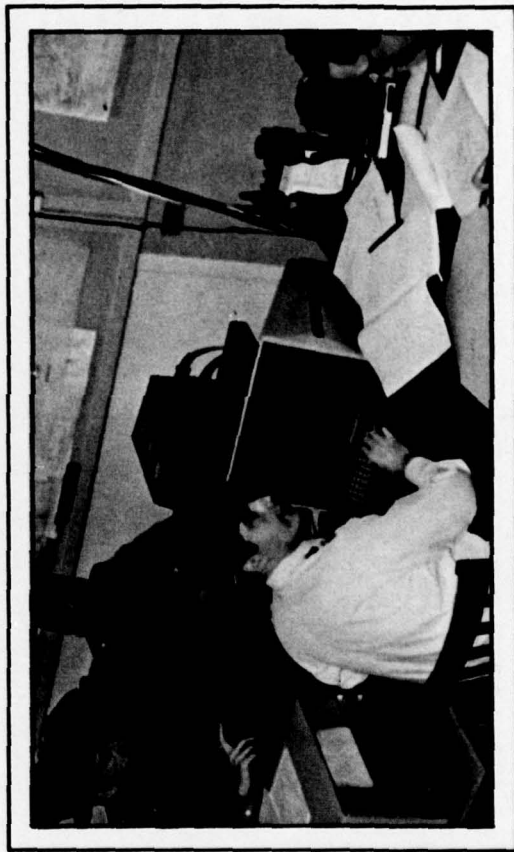
Through the acquisition and upkeep of expertise in these technologies, DREV has continued to adapt

and apply them to specific actual needs of the Canadian Forces as well as to anticipated ones. The two main current projects, the development of a computerized facility for land tactical data manipulation and the development of a computer simulation system adapted to deal with antisubmarine warfare, stem from this program.

### TACTICAL DATA SYSTEMS

Appreciable effort has been devoted to the development of computerized test-bed facilities for the testing and evaluation of proposed automated staff functions concerned with command and control of Land Forces in tactical environments. Commercial computing equipment was used wherever possible whereas the software was produced locally. The concept or application was evaluated with the assistance of military operators, who used realistic mock-ups of the HQ staff cell vehicles and appropriate tactical scenarios.

The first test-bed facility to become operational was concerned



tion du traitement des messages tactiques d'un QG de brigade, avec des appareils d'introduction de données représentant des bataillons et des divisions. Le système permettait de classer, de stocker et d'extraire des messages tactiques à l'aide de mots-clés déterminés par les officiers des différentes cellules. Les possibilités qu'offre ce système de classer et d'extraire les messages en font un outil particulièrement approprié à certaines fonctions de QG.

Des essais d'évaluation désignés "EXERCISE TALFOS" (Système tactique opérationnel et automatisé des Forces terrestres), ont été effectués au CRDV. Ces exercices avaient pour but principal de connaître les réactions des utilisateurs militaires au traitement automatisé des messages, les besoins d'instruction et les problèmes humains inhérents.

L'étape suivante de ce projet, une étude de faisabilité de la conception d'un banc d'essai mobile à être utilisé par une brigade pour évaluer les fonctions automatisées du commandement et du contrôle sur le terrain, a également été complétée.

#### **SIMULATION DE MANOEUVRES ANTI-SOUS-MARINES**

Le CRDV a mis au point un programme informatique de simulations complexes, qui s'est amplifié au cours des dernières années, afin d'étudier la guerre ASM; ce programme est enco-



handling, to evaluate training requirements and to identify human factor problems.

The next step in this project, a feasibility study of the design of a mobile test-bed for a brigade formation to allow evaluation of automated command and control functions in a field environment, was also completed.

#### **ANTISUBMARINE WARFARE SIMULATION**

An elaborate computer simulation program was developed, and gradually augmented over the past few years, to study antisubmarine warfare (ASW); this program is still used extensively to evaluate and compare ASW equipment and tactics. It has recently been adapted to a new investigation into the tactical performance of passive acoustic towed array systems. This study should determine the usefulness of such systems to destroyers for detecting submarines in various situations and for directing a helicopter to achieve localization and attack.

The evaluation of the relative performance of directional and omnidirectional sonobuoys in tracking submarines in transit has been

with the mechanization of tactical message handling for a brigade headquarters, with data input devices representing battalions and divisions. The system was capable of classifying, storing and retrieving tactical messages from keywords defined by the officers staffing the various cells. The filing and retrieval capabilities of the system made it particularly useful to the headquarters staff.

User evaluation trials entitled Exercise TALFOS (Tactical Automated Land Forces Operational System) were held at DREV. The main objectives of these trials were to obtain the reactions of the military users to automated message

re utilisé de façon intensive pour évaluer et comparer l'équipement et les tactiques de guerre ASM. On l'a récemment adapté à une nouvelle recherche sur le rendement tactique des réseaux acoustiques remorqués. Cette étude devrait déterminer l'utilité de tels systèmes pour les destroyers appelés à détecter des sous-marins dans différentes situations et à diriger un hélicoptère devant effectuer un repérage et une attaque.

On a terminé l'évaluation du rendement relatif des bouées acoustiques directionnelles et omnidirectionnelles dans la poursuite de sous-marins en transit. Cette évaluation était la dernière d'une série de

simulations en situation tactique pour la bouée acoustique TANDEM et les projets concernant l'avion de patrouille à long rayon d'action (APLRA).

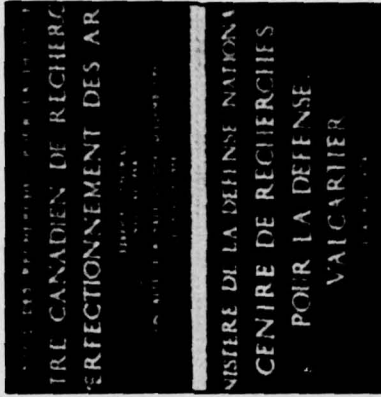
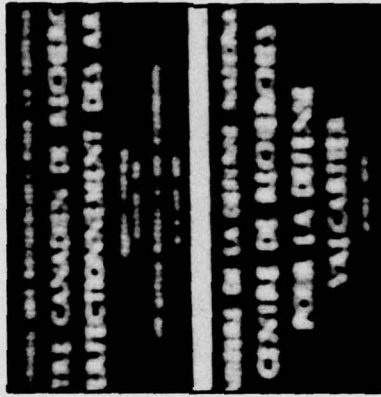
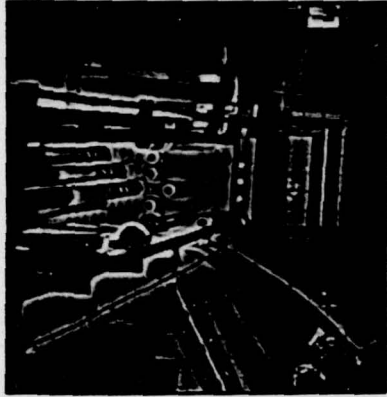
**TRAVAUX CONNEXES**

A la demande du Centre d'interprétation photographique de la Défense, on a fait une étude pour démontrer les façons d'utiliser les techniques de l'ordinateur dans le traitement des images, habituellement des photographies, de manière à améliorer certains détails ou à réduire les effets d'une détérioration accidentelle ou inévitable, telle une mauvaise focalisation ou un flou dû au mouvement. Les installations du CRDV se sont avérées adéquates pour la simulation et la démonstration d'un bon nombre de ces techniques.

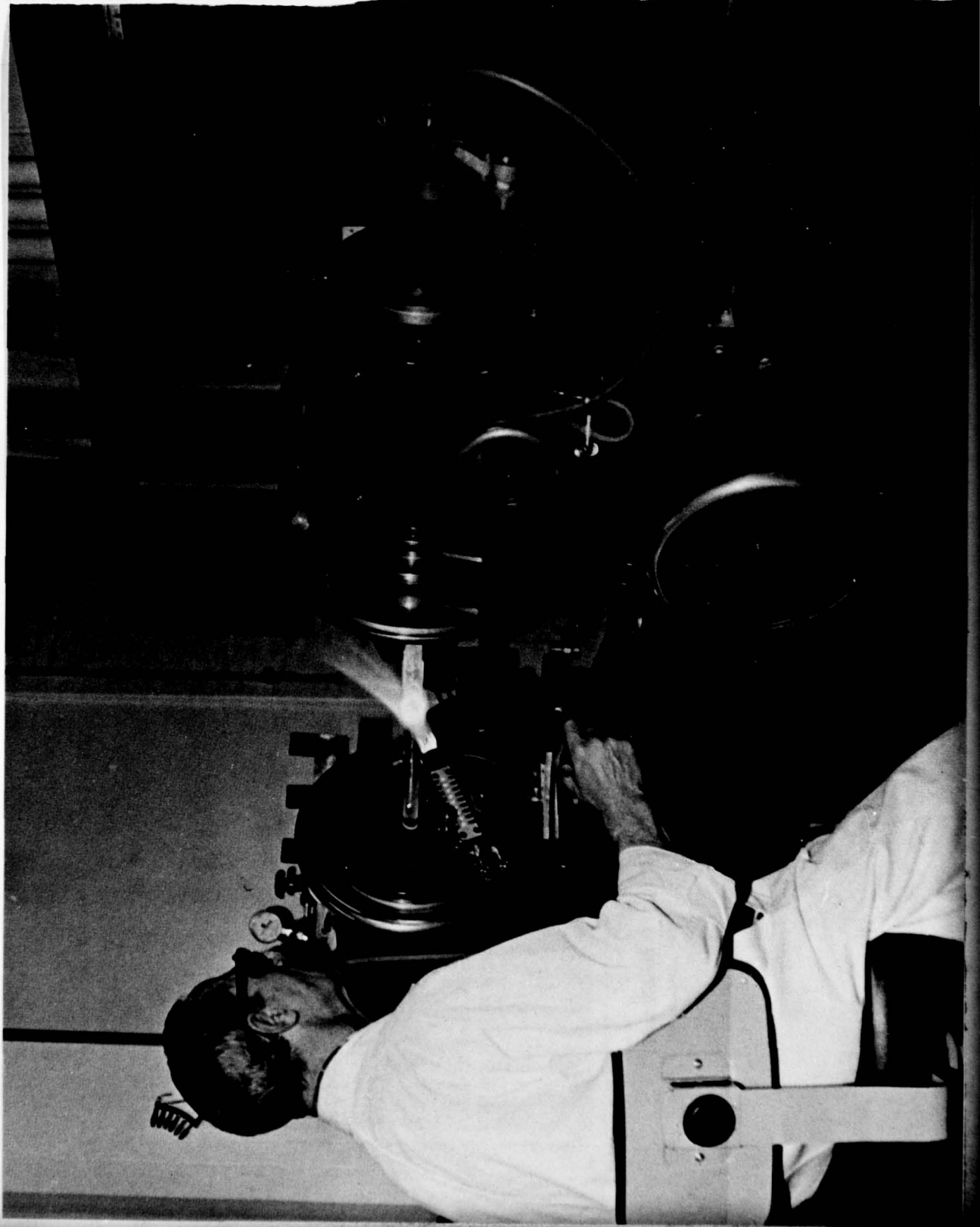
completed. This evaluation was the last in a series of simulations of tactics for the TANDEM sonobuoy and the long-range patrol aircraft projects (LRPA).

**OTHER ACTIVITIES**

At the request of the Photographic Interpretation Unit of the CF, a study was undertaken to demonstrate ways in which digital computer techniques can be used to process images, usually photographs, so as to enhance certain of their features, or to reduce the effects of accidental or unavoidable degradation such as poor focus or motion blur. DREV facilities have proved suitable to simulate and demonstrate a wide variety of such techniques.



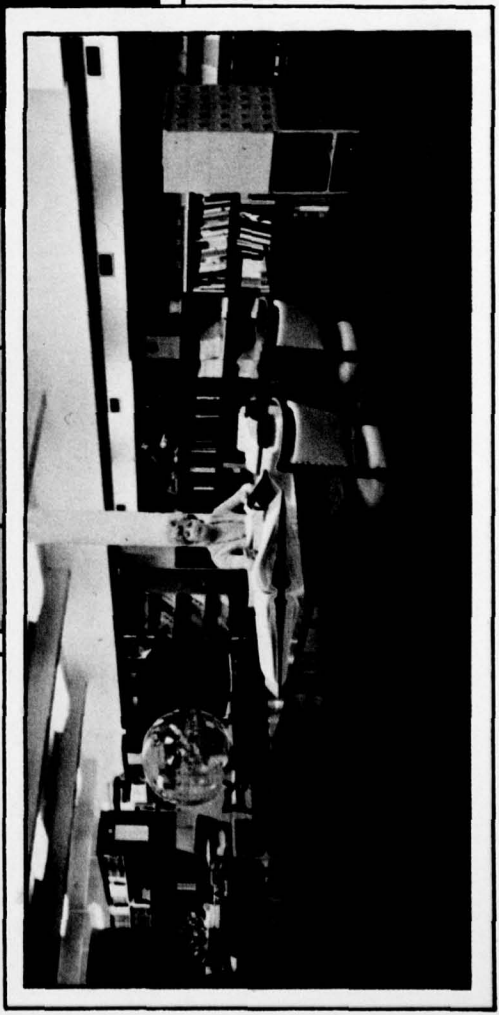
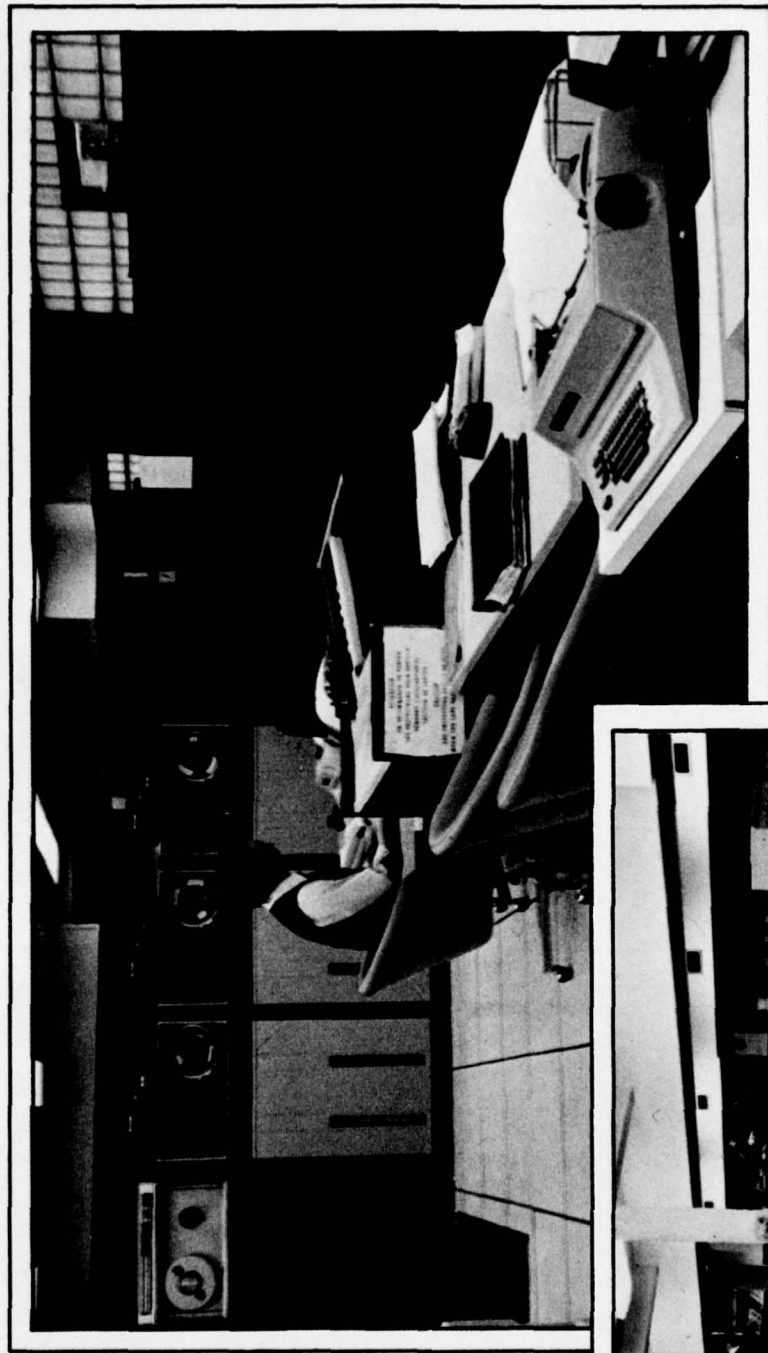
**THIS PAGE IS BEST QUALITY REPRODUCTION  
FROM A COPY FURNISHED TO BDC**



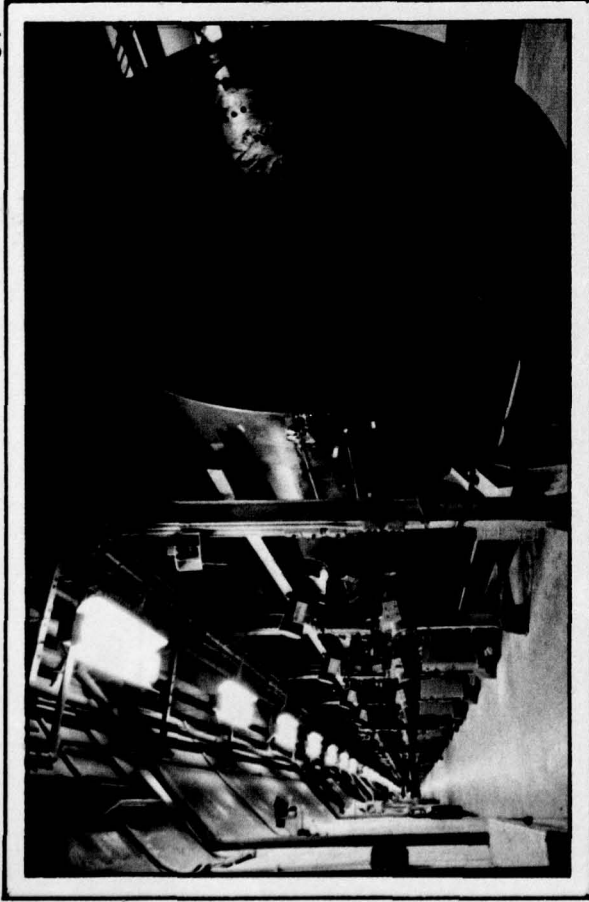
# INSTALLATIONS

# FACILITIES

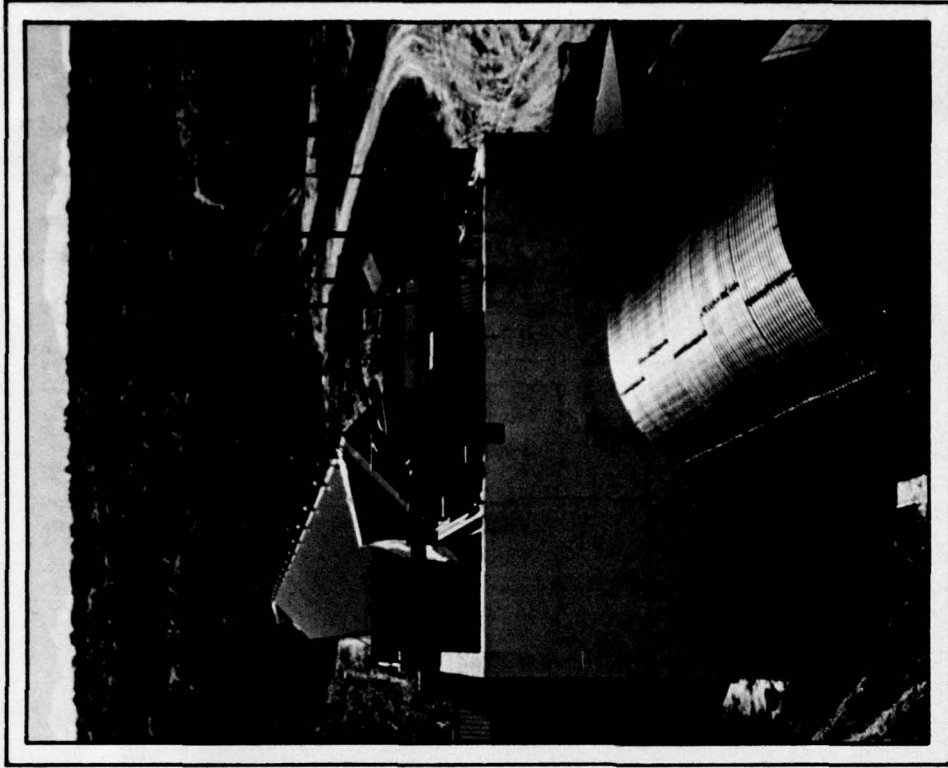
Centre de calculs  
Computer Center



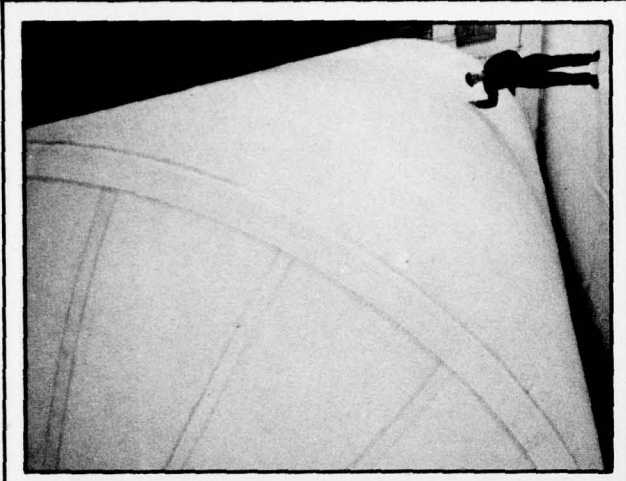
Bibliothèque  
Library



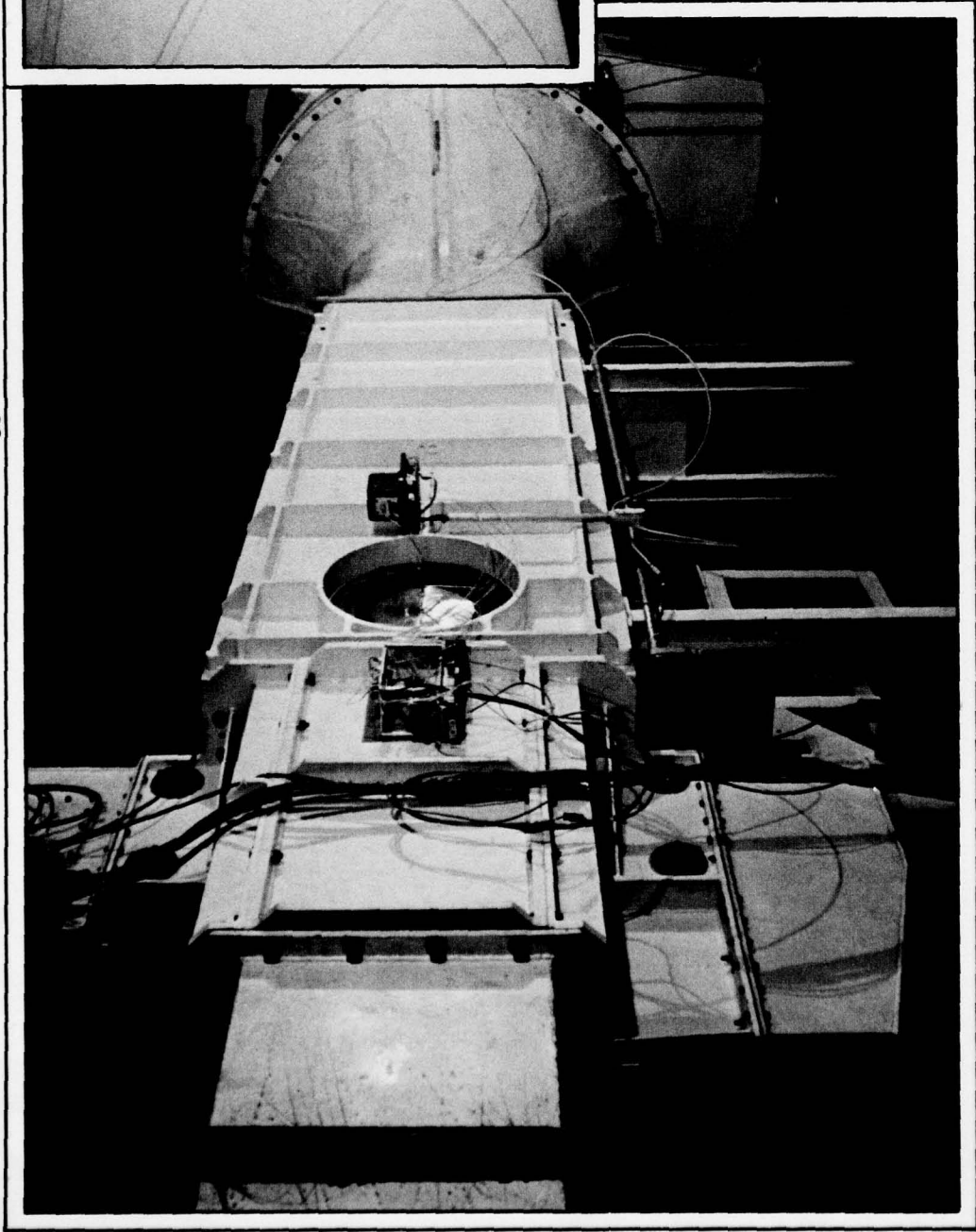
Corridor de tir à atmosphère contrôlable  
Controllable Atmosphere Range



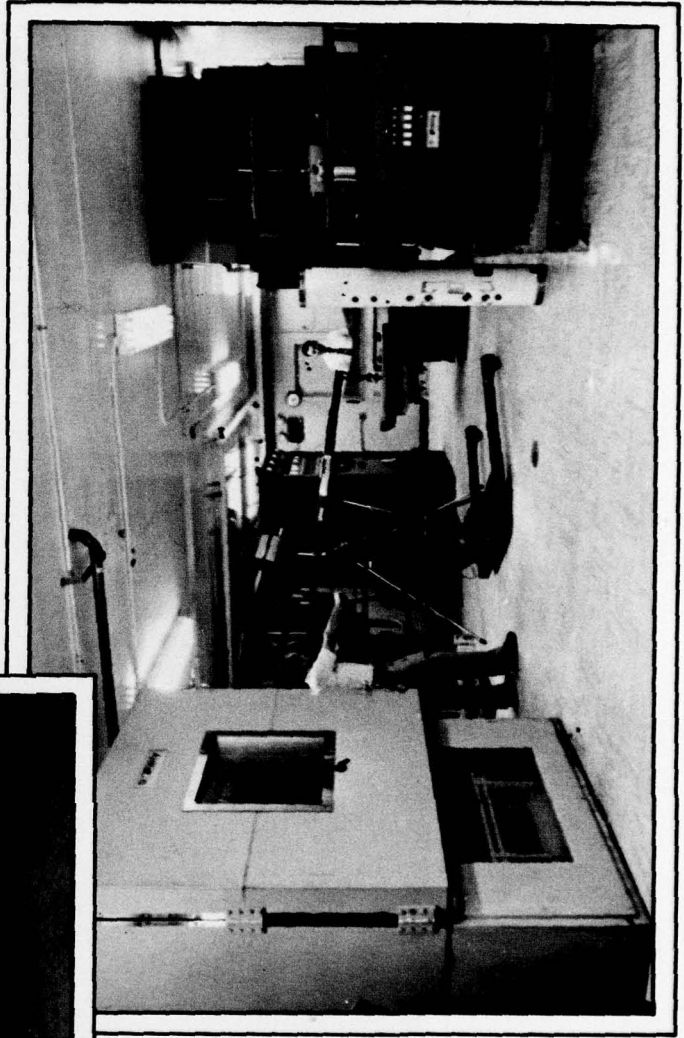
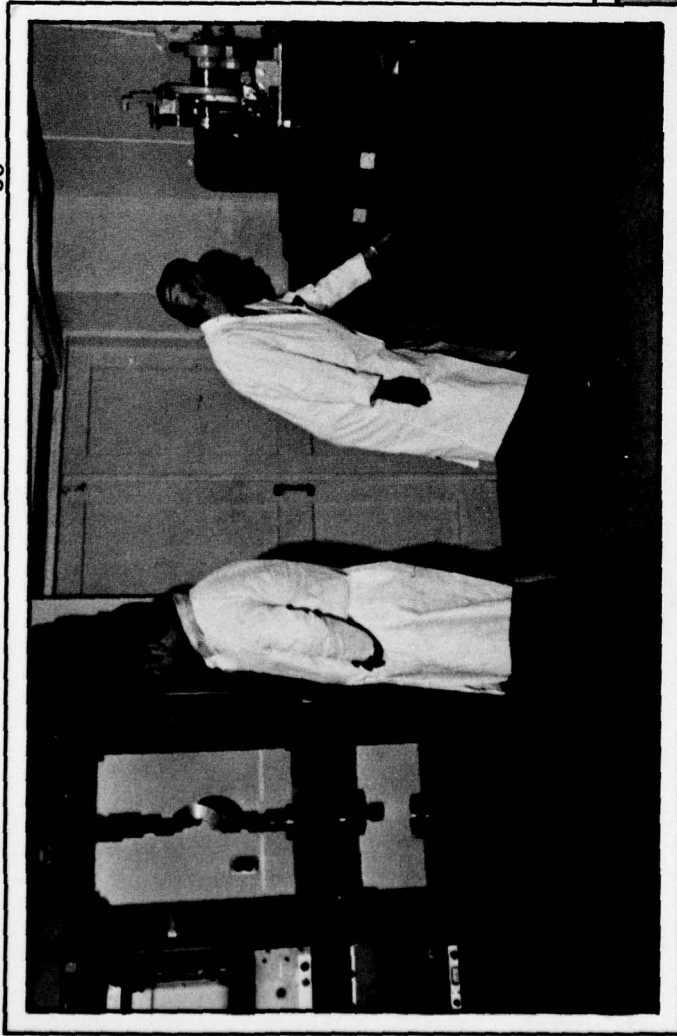
Corridor de tir aérobalistique  
Aeroballistics Range



Soufflerie  
Wind Tunnel

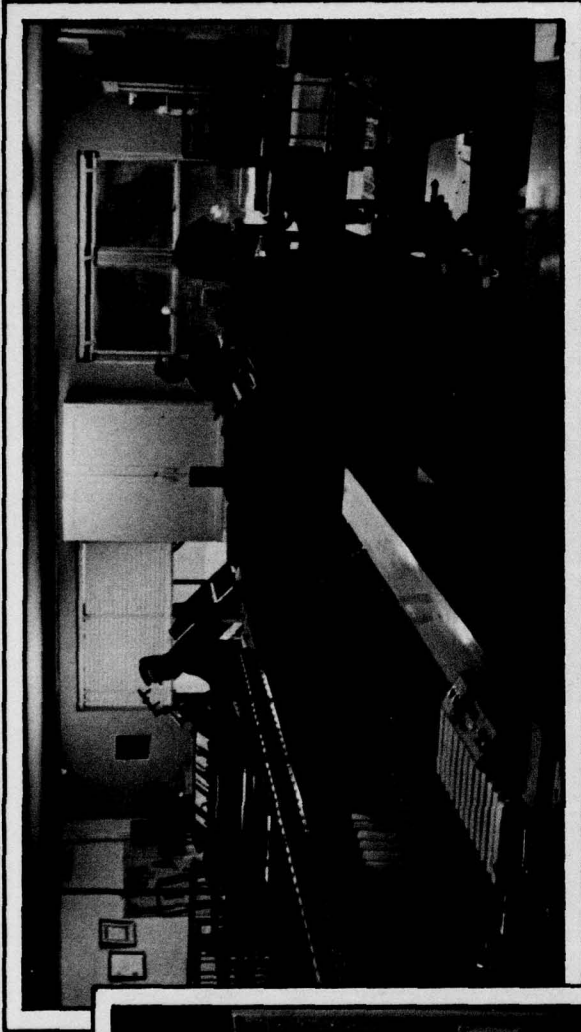


Laboratoire des matériaux  
Materials Laboratory

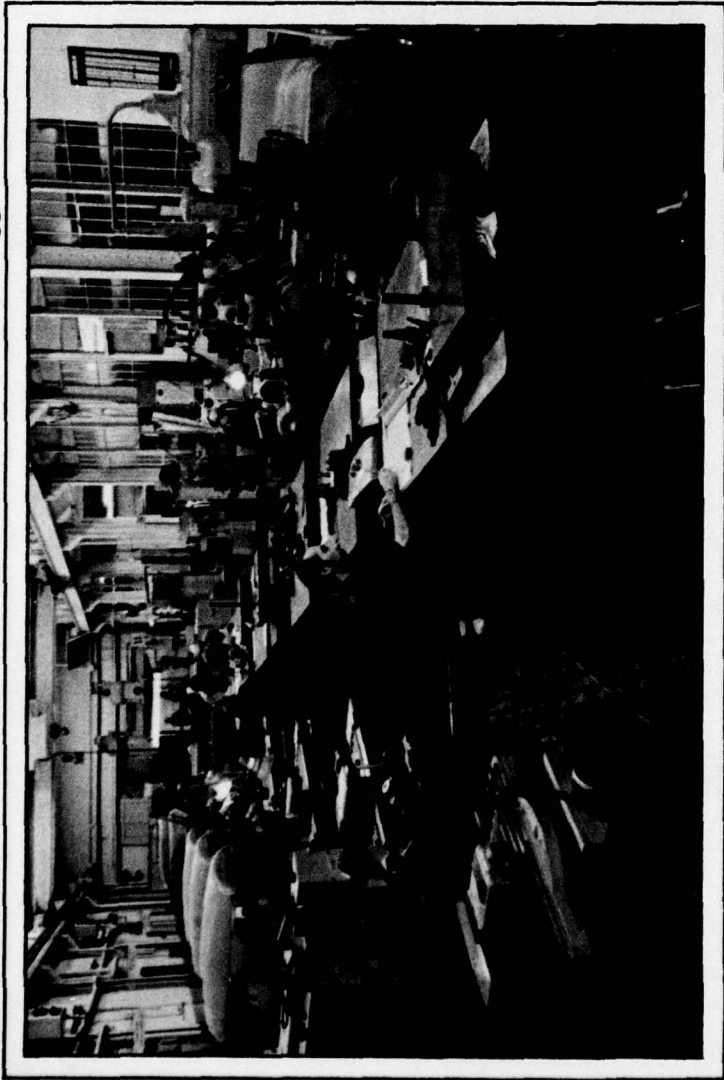


Laboratoire d'ambiance  
Environmental Laboratory

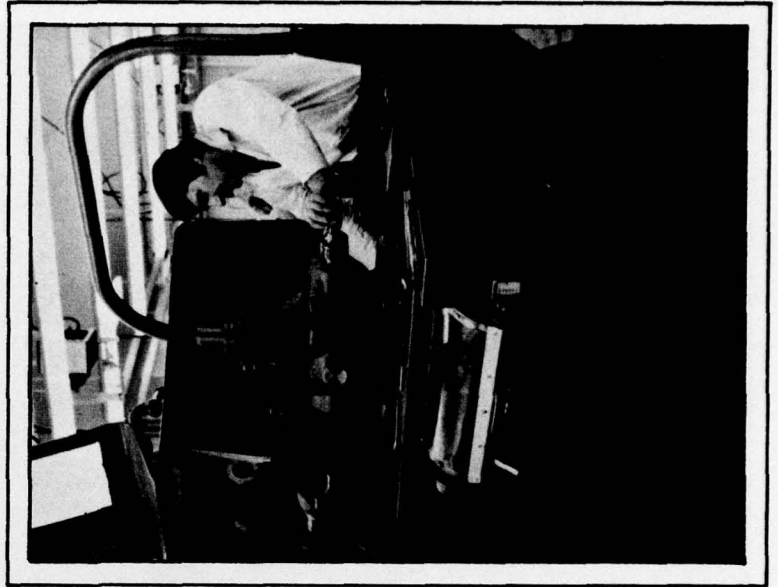
Entretien et étalonnage des instruments  
Instrument Repair and Calibration

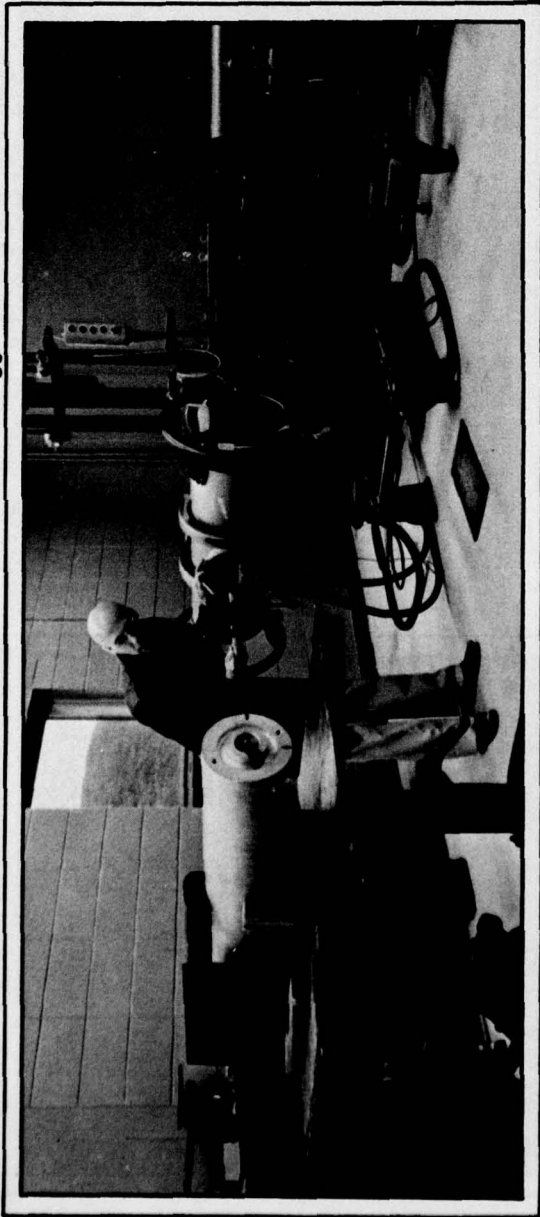


Imprimerie  
Printing

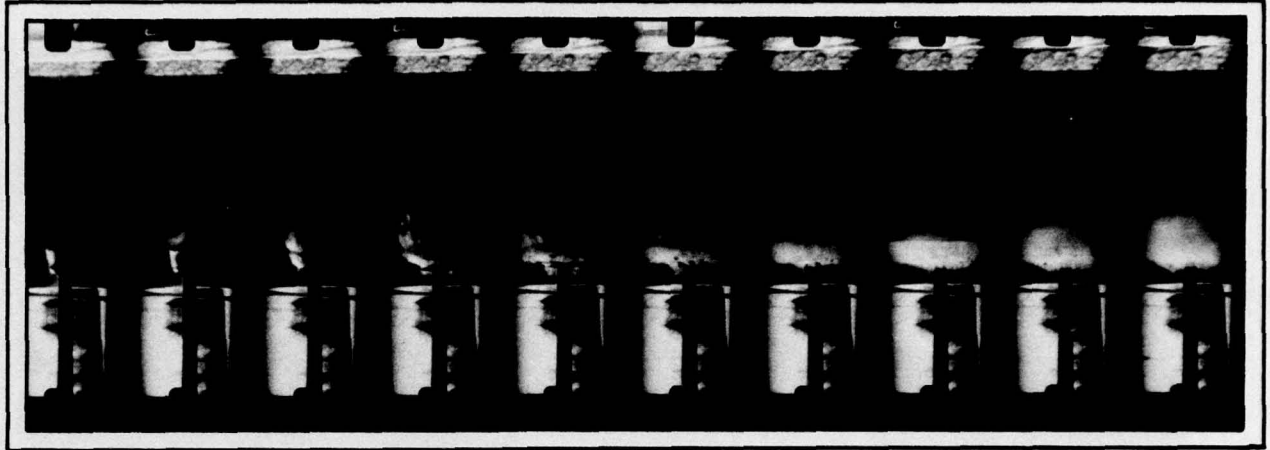


Ateliers  
Workshops

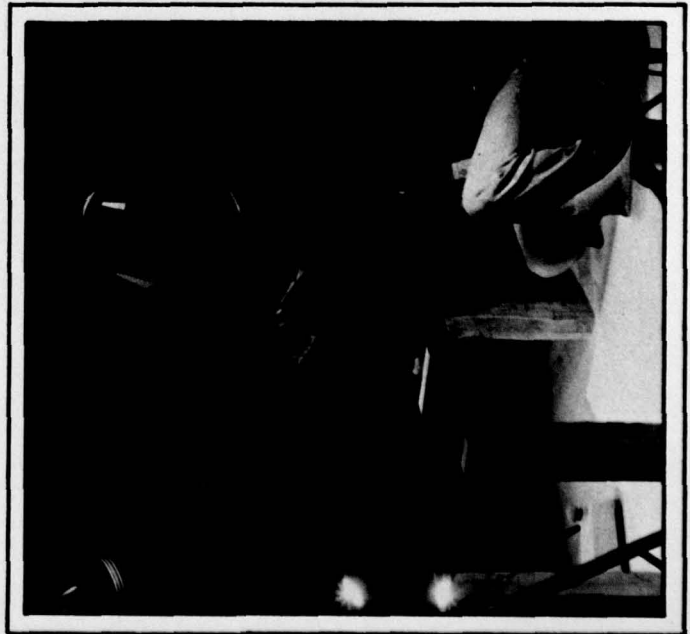




Laboratoire de radiographie  
Radiography Laboratory

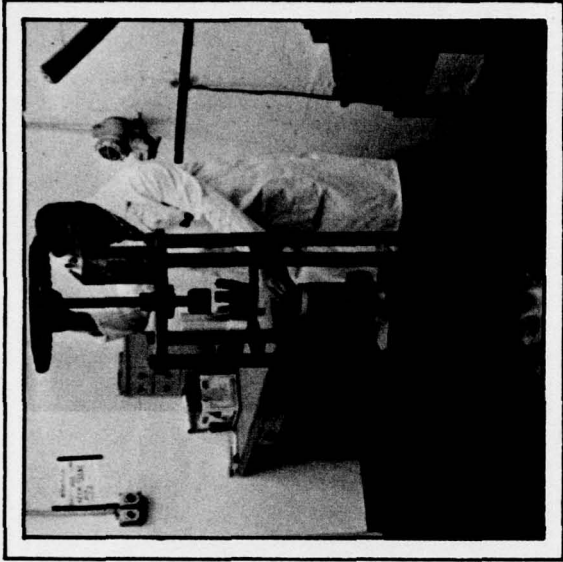
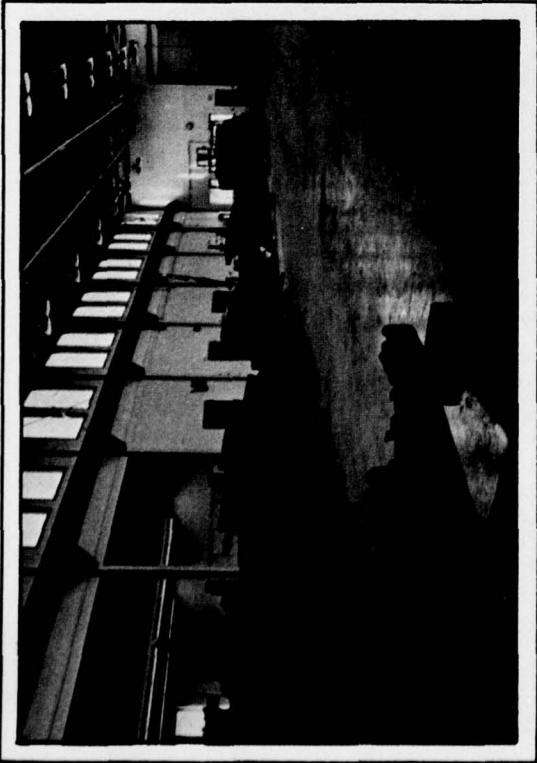


Photographie à haute vitesse  
High-Speed Photography



Photographie  
Still Photography

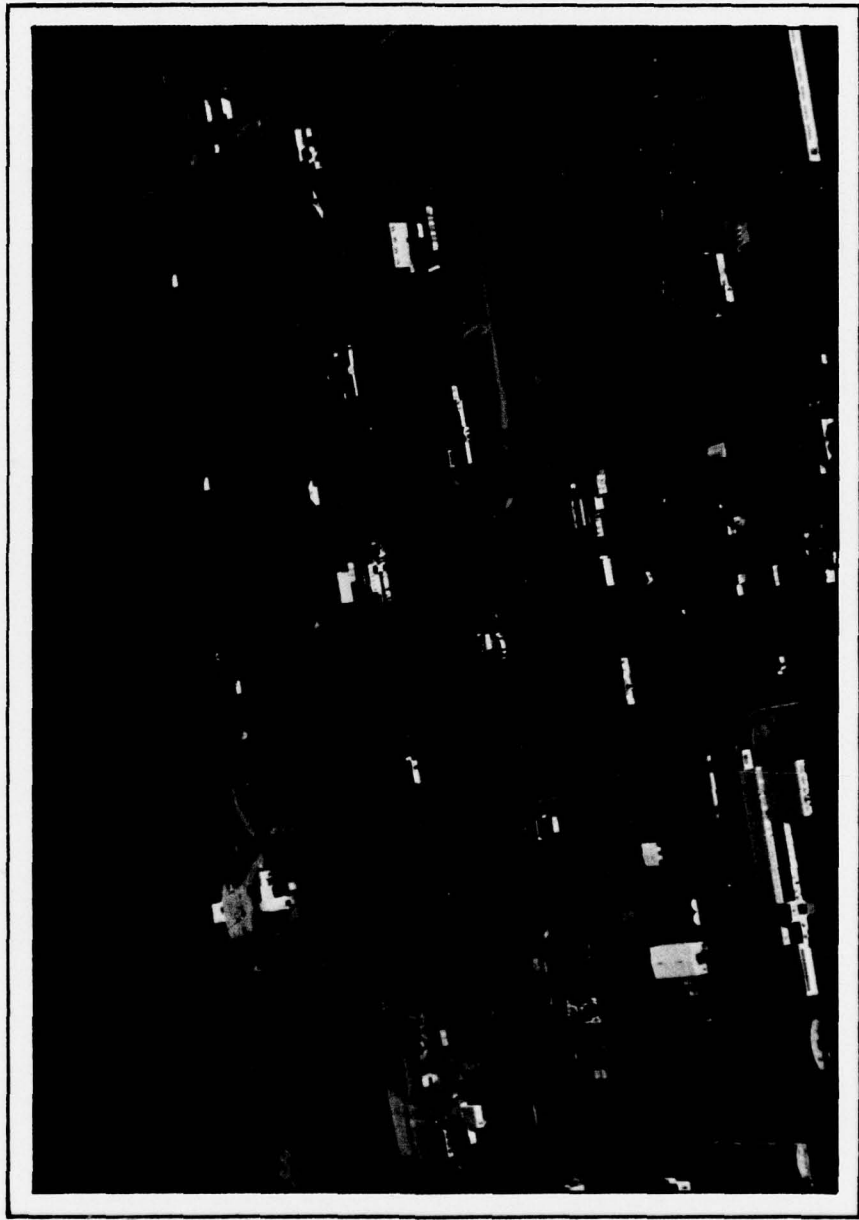
Préparation des munitions  
Ammunition Preparation



Atelier des canons et affûts  
Gun and Carriage Shop



Dessin et illustration  
Drafting and Illustration



Usine pilote (propercrgols et explosifs)  
Pilot Plant (Propellants and Explosives)

ORGANISATION

ORGANIZATION

