

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

EVALUATION D'UNE CHAÎNE DE DETECTION AUTOMATIQUE ADAPTEE A UN SYSTEME
DE VEILLE INFRAROUGE BISPECTRAL

MM. J.F. COUTRIS
G. GAUSSORGUES

M. J.C. MENUT
Me C. LABROSSE

SINTRA/ALCATEL - 26, Rue Malakoff 92600 ASNIERES

RESUME

Après une description succincte du senseur infrarouge bispectral "VAMPIR" et de la chaîne d'acquisition numérique temps réel associée, on donne les principaux résultats d'une évaluation des algorithmes de détection.

Une analyse statistique du signal représentatif de la cible recherchée et des fonds de rayonnement a permis de définir les caractéristiques du filtrage spatio-temporel adapté à la détection de la cible d'une part et à l'évaluation des fonds de rayonnement d'autre part. On peut ainsi générer une carte bispectrale des fonds remise à jour tour d'antenne après tour d'antenne, normaliser les signaux infrarouges dans les deux bandes passantes spectrales et assurer une prédétection à taux constant de fausses alarmes avec des paramètres optimisés en fonction du fond de rayonnement considéré.

Les caractéristiques d'émissivité dans les deux bandes passantes spectrales permettent de réduire d'une manière très significative le taux final de fausses alarmes et de ne transmettre via un Préprocesseur de Signal (PPS) qu'un nombre limité de pistes au système d'Armes.

SUMMARY

After a brief description of the bispectral infrared "VAMPIR" sensor and the connected digital real-time data processing system, the main results concerning the evaluation of detection algorithms are given.

A statistical analysis of the signal representative of the studied target and of diverse backgrounds has enabled to define the characteristics of spatio-temporal adaptive filtering ; this filtering matches target detection on one hand, and background evaluation on the other hand. Thus can one generate a bispectral background "map", updated at each scan, normalize infrared signals in both spectral passbands and ensure a constant false alarm rate predetection, the parameters being optimized according to the considered background.

The emissivity characteristics in both spectral passbands enable the reduction of the final false alarm rate in a very significant way and the transmission of only a limited number of tracks to the weapon system, via a signal pre-processor (PPS).



EVALUATION D'UNE CHAÎNE DE DÉTECTION AUTOMATIQUE ADAPTÉE A UN SYSTÈME
DE VEILLE INFRAROUGE BISPECTRAL

1 - INTRODUCTION

L'objectif opérationnel du système "VAMPIR" est la détection panoramique des cibles basse altitude à forte vitesse radiale. La réalisation de l'ensemble du système est effectuée sous la maîtrise d'oeuvre de la Société Anonyme des Télécommunications (SAT) pour le compte du Service Technique des Constructions et Armes Navales, Groupe Lutte Sous Marine, section Optronique.

La SINTRA est chargée de l'analyse statistique des signaux et de l'étude d'un extracteur automatique temps réel permettant de transmettre un nombre limité de pistes initialisées au Système d'Armes.

En raison de la rapidité de la cible, il est nécessaire d'assurer de manière automatique sa détection et son identification sur un nombre minimum de tours avec une probabilité de fausse alarme constante, ce but est atteint :

- par une normalisation adaptative des signaux par rapport au fond de rayonnement,
- par l'exploitation des niveaux relatifs des signaux détectés dans deux bandes passantes spectrales,
- par une analyse tour à tour, permettant l'élimination des échos fixes ou lentement mobiles et la création de pistes.

2 - DESCRIPTION DE LA MAQUETTE DE FAISABILITE VAMPIR

2.1 - TÊTE VAMPIR

Les informations infrarouges proviennent de deux barrettes verticales de détecteurs du type TCM (Tellurure de Cadmium Mercure) et INSB (Antimoniure d'indium) refroidis à l'azote liquide. Les bandes passantes spectrales sont de 3.5 microns - 5.5 microns pour la voie INSB et de 8 microns - 12 microns pour la voie TCM. Le balayage en gisement est assuré par la rotation de l'ensemble de la tête (optique et détecteurs) avec une période de rotation de l'ordre de la seconde. La stabilisation de visée des deux axes optiques simbleautés est effectuée par miroir, la résolution élémentaire est de l'ordre de 0.15 mrd en gisement et de 0.25 mrd en site.

Un codeur optique assure un recouvrement en gisement d'un tour à l'autre meilleur que 0.2 mrd.

Les informations après un filtrage passe bande de 40 Hz à 12 KHz sont compressées et numérisées sur 8 bits puis transmises sur deux lignes parallèles avec une fréquence horloge de 5 MHz.

2.2 - CHAÎNE D'ACQUISITION NUMÉRIQUE

La chaîne d'acquisition numérique réalisée par la SINTRA, décrite sur la figure 1, se compose :

- d'un interface numérique avec la tête VAMPIR,
- d'une mémoire de points,
- d'un minicalculateur et de ses périphériques,
- d'un préprocesseur de signal (PPS).

L'interface permet la sélection de la fenêtre d'analyse et le chargement de la mémoire suivant un format compatible d'une représentation type TV.

La mémoire de points permet trois types de fonctionnement :

- 1) - La visualisation des informations video sur un secteur programmable de 5° à 60° en gisement avec rafraîchissement TV. Grâce à un processeur de tables couleur indépendant, la visualisation peut être faite en pseudo couleur sur un moniteur trichrome haute définition.
- 2) - L'adaptation de débit permettant le transfert des informations numériques sur disque ou sur bande numérique 1600 BPI, 75 ips.
- 3) - La mise au point des traitements en temps différé en tant que mémoire de masse de 256 K octets du PPS et du minicalculateur.

Le minicalculateur permet, en phase d'enregistrement des fonds, la gestion des informations mises sur bande numérique ; durant la phase de mise au point et de validation des algorithmes, il permet, grâce à un langage évolué (FORTRAN), de faire appel à tous les sous programmes implantés sur PPS (Normalisation, FFT, Filtrage). Les temps de transfert des informations MEMOIRE ↔ PPS ↔ MINICALCULATEUR sont réduits par le traitement de tableaux de données et par le processeur d'adressage de la mémoire de point.

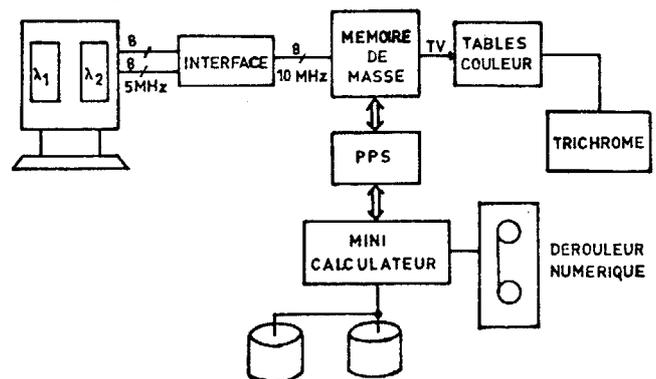


FIGURE: 1

EVALUATION D'UNE CHAÎNE DE DÉTECTION AUTOMATIQUE ADAPTÉE A UN SYSTÈME DE VEILLE INFRAROUGE BISPECTRAL

3 - EXPLOITATION DES CARACTÉRISTIQUES D'ÉMISSIVITÉ

Le but recherché est de caractériser une source d'émission radioélectrique par rapport à son environnement par ses propriétés d'émission dans deux bandes passantes spectrales discontinues.

Soit un corps d'émissivité ϵ_C à la température T_C , et un fond uniforme à la température T_F d'émissivité ϵ_F , le contraste de la source recherchée est donné par :

$$C = \frac{WC - WF}{WF}$$

où WC est la puissance rayonnée par la cible dans le champ du détecteur d'analyse et où WF est celle relative au fond de rayonnement.

Le contraste dans deux bandes passantes disjointes est directement fonction de l'émissivité spectrale et de la bande passante par :

$$WC_i = k \int_{\Delta\lambda_i} \epsilon_C(\lambda) \frac{dR(\lambda, T_C)}{d\lambda} d\lambda$$

$$WF_i = k \int_{\Delta\lambda_i} \epsilon_F(\lambda) \frac{dR(\lambda, T_F)}{d\lambda} d\lambda$$

Suivant les températures T_C et T_F , les niveaux infrarouges reçus sont proportionnels aux zones hachurées de la figure 2.

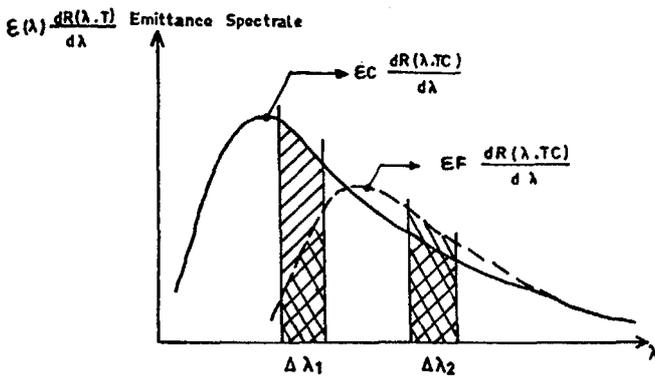


FIGURE: 2

Pour une température T_C , comme à priori, il est donc possible, en fonction des fonds et à condition de tenir compte de la propagation, de caractériser la cible par le test des contrastes dans les deux bandes passantes spectrales.

Par extension il est possible de tenir compte des conditions d'éclairage de la scène et du cas

particulier des réflexions solaires "glint". Cf figure 3.

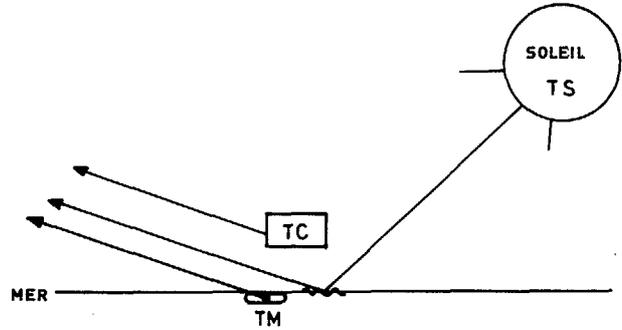


FIGURE: 3

Dans ce dernier cas, les échos de réflexion du soleil présentent une émissivité spectrale très proche de celle du soleil. La puissance rayonnée dans la bande 3.5 - 5.5 μ de ces échos l'emporte très largement par rapport à celle de l'émission propre de la mer et l'objectif apparaît en contraste négatif. Dans la bande 8 - 12 μ par contre, c'est la puissance rayonnée qui l'emporte et l'objectif apparaît en contraste positif.

Les paramètres générateurs des différentes configurations possibles sont très nombreux :

- position relative du soleil, de l'objectif et de l'observateur,
- température et dimensions de l'objectif,
- condition de propagation,
- résolution angulaire et hauteur sur l'eau du système de détection.

Pour faire une étude expérimentale de ces configurations, le CEPCA a réalisé un système de simulation constitué d'une plaque chauffante thermostatée portée par un bateau de la Marine Nationale.

Ce système a permis entre autre de déterminer le signal équivalent à un point source et d'en faire un modèle mathématique. Il est alors possible, connaissant la fonction de transfert de la chaîne de transmission, de simuler en centre de calcul un certain nombre de configurations types par incrustation de ce signal équivalent dans l'un des fonds enregistré par ailleurs.

4 - TRAITEMENT DES DONNÉES INFRAROUGES

4.1 - TRAITEMENT DE L'IMAGE INFRAROUGE

Compte tenu de la nécessité de traiter l'information en temps réel, le choix des traitements est orienté vers des algorithmes compatibles du débit des données infrarouges.



EVALUATION D'UNE CHAÎNE DE DÉTECTION AUTOMATIQUE ADAPTÉE A UN SYSTÈME
DE VEILLE INFRAROUGE BISPECTRAL

Après correction, de gain, de décalage du niveau continu et du décalage temporel des détecteurs, on effectue le remplacement des cellules déficientes par interpolation des signaux relatifs aux cellules juxtaposées.

Un filtrage spatial des signaux permet ensuite d'obtenir une image infrarouge sur laquelle on effectue un certain nombre de traitements dont on donne ci-après les résultats.

Les photographies n° 1 et 2 ci-dessous montrent à titre de comparaison les images vidéo obtenues à partir d'une caméra de télévision. La photographie n° 1 est relative à la rade de TOULON vue de la pointe de Carqueiranne et la photographie n° 2 à un bateau de la Marine Nationale.



PHOTO
①



PHOTO
②

La photographie n° 3 montre le même bâtiment en infrarouge dans la bande 8 - 12 μ .

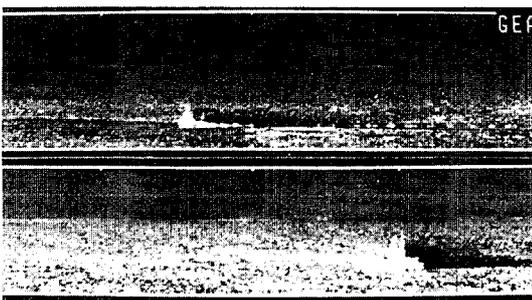


PHOTO
③

La photographie n° 4 montre la rade de TOULON dans la bande 8 - 12 μ après traitement dans les mêmes conditions que la photographie n° 1.

On constate une définition après correction excellente permettant d'identifier les points chauds (Usine d'incinération en particulier à l'extrême gauche), les coffres d'ancrage, l'entrée du port, le toit métallique du hangar de Saint-Mandrier qui regardant le ciel apparaît en noir.



PHOTO
④

PHOTO
⑤

PHOTO
⑥

PHOTO
⑦

- Une amélioration de contraste (image n° 5) de l'image n° 4 est obtenue à partir de l'algorithme de WALLIS [4]. Cet algorithme présente l'avantage d'utiliser la moyenne et l'écart type mis en mémoire dans la carte des fonds générée par ailleurs avec une définition en gisement de 8 unités et en site de 6. La plupart des détails et les différences de température de l'eau sont ainsi mis en évidence.

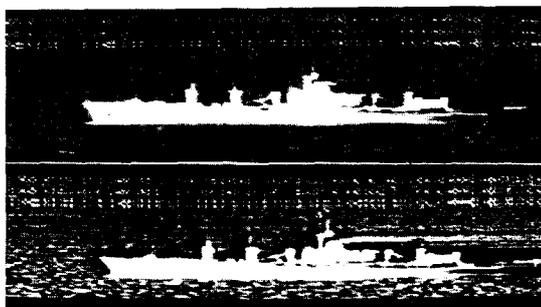
- L'intercorrélation avec le modèle mathématique représentatif d'un point source (cf § 3) est présentée sur la photographie n° 6. L'intercorrélation compense en partie la composante négative due à la non transmission du continu, elle diminue par contre la définition de l'image. Elle est réalisée par transformations de Fourier directe et inverse.

- La correction d'histogramme (image n° 7) permet d'augmenter le contraste mais présente l'inconvénient d'assombrir encore plus les zones sombres. Cette correction présente l'avantage, par contre, de pouvoir être réalisée aisément à partir des tables de couleur de sortie et de mettre en valeur les points chauds.

Les photographies n° 8 et 9 présentent le résultat de l'application du renforcement de contraste par la méthode de WALLIS appliquée à une image de bateau. L'amélioration notable de contraste assure une aide déterminante à la classification de l'objectif. On remarquera en particulier le panache de la cheminée.

EVALUATION D'UNE CHAÎNE DE DÉTECTION AUTOMATIQUE ADAPTÉE A UN SYSTÈME
DE VEILLE INFRAROUGE BISPECTRAL

L'utilisation des "tables couleur" (illustration faite lors de la présentation au colloque) facilite encore cette classification par la mise en évidence et la localisation des points chauds.



PHOTO

8

PHOTO

9

4.2 - DÉTECTION AUTOMATIQUE-NORMALISATION

Compte tenu de la vitesse radiale de la cible, il est nécessaire d'effectuer la détection de manière automatique sur un nombre très limité de tours et avec un nombre de fausses alarmes le plus faible possible.

Cet objectif est obtenu par "normalisation" des signaux dans les deux longueurs d'onde par rapport au fond de rayonnement limitrophe et par l'exploitation des caractéristiques d'émissivité.

Deux tests sont effectués sur les informations brutes simultanément dans les deux longueurs d'onde.

$$\text{Test 1 : } X(i,j)_{\lambda_1} - E(X(i,j)_{\lambda_1} - K_1 \sigma(i,j)_{\lambda_1})$$

$$\text{Test 2 : } X(i,j)_{\lambda_2} - E(X(i,j)_{\lambda_2} - K_2 \sigma(i,j)_{\lambda_2})$$

Les deux premiers moments statistiques $E(X(i,j)_{\lambda_k})$ et $\sigma(i,j)_{\lambda_k}$ sont évalués sur l'environnement proche à partir d'une interpolation bilinéaire d'une carte des fonds générée tour après tour de manière récursive.

Le but de ces deux premiers tests est d'assurer une prédétection permettant de rendre le débit moyen compatible de la vitesse de traitement du préprocesseur de signal (PPS). Ce dernier assure le test final en exploitant :

- la connaissance que l'on a à priori de la cible (éloignement, rapprochement, température et caractéristiques des sources chaudes émissives),
- les conditions météorologiques à partir desquelles on peut déterminer le facteur de propagation,
- les caractéristiques des fonds de rayonnement limitrophes.

En raison du très grand nombre de paramètres qui régit la détection finale, une évaluation précise de la puissance de l'algorithme de détection nécessite un grand nombre d'essais en vraie grandeur.

Dans ce but la chaîne d'acquisition décrite ci-dessus a été réalisée et a permis de faire un certain nombre d'expérimentation traité en temps différé en centre de calcul dont on donne ci-après un premier résultat.

5 - ÉVALUATION DES PERFORMANCES SUR ESSAI D'HELICOPTÈRE

5.1 - ESSAI D'ÉLOIGNEMENT

Les essais d'évaluation dont on présente ci-après les premiers résultats ont été effectués au Centre d'Essai de Méditerranée (CEFCA).

La cible est une Alouette III à vitesse réduite dont on analyse la détection en éloignement (rayonnement important de la tuyère) et en rapprochement (effet de masquage de la tuyère, température faible de la partie avant de l'hélicoptère).

La photographie n°10 ci-dessous résume les différentes étapes de la détection de l'objectif qui est ici l'hélicoptère vue par l'arrière.

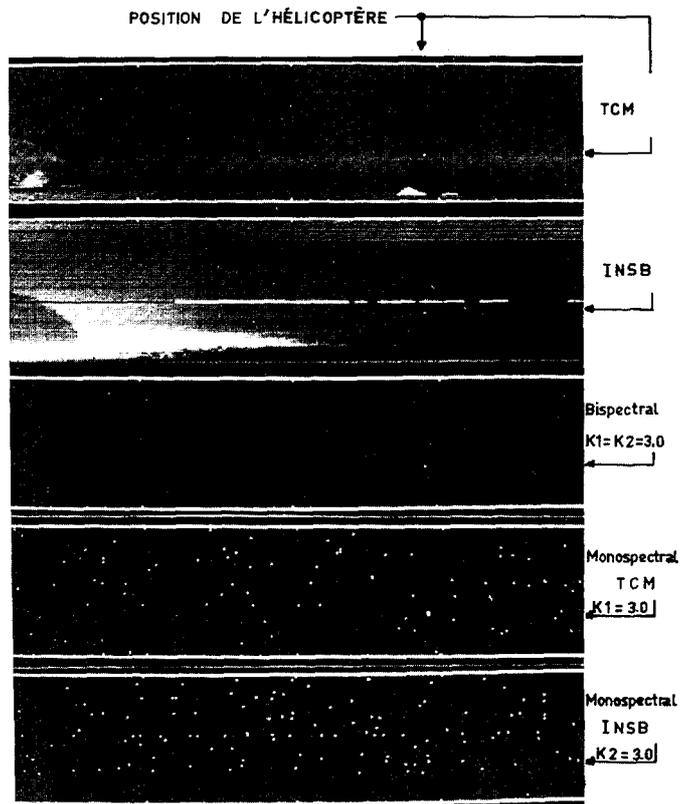


PHOTO 10



EVALUATION D'UNE CHAÎNE DE DÉTECTION AUTOMATIQUE ADAPTÉE A UN SYSTÈME
DE VEILLE INFRAROUGE BISPECTRAL

En zone 1 est reproduite l'image dans la bande 8 - 12 μ avec un champ de 10° en gisement.

En zone 2 l'image dans la bande 3.5 - 5.5 μ avec mise en évidence des réflexions solaires.

En zones 4 et 5 le résultat des détections pour des coefficients K1 et K2 égaux à 3.0 permettant de constater le nombre important de détections (129 en TCM ; 97 en INSB).

En zone 3 se trouve le résultat du test final de détection pour les mêmes coefficients K1 et K2 de 3.0.

Le résultat dans ce cas est particulièrement efficace du fait du contraste de signe opposé dans les deux bandes passantes des différentes zones peu émissives (Iles Fourmigués, Presqu'île de Gien).

5.2 - ESSAI DE RAPPROCHEMENT SUR FOND DE CIEL

La photographie n° 11 présente sous la même forme que ci-dessus les résultats de détection en rapprochement.

L'exploitation du signe du contraste permet de réduire le nombre de détections de 156 en TCM et 87 en INSB pour K1 = K2 = 3.0 à seulement 1 détection en bispectral. Cet essai est particulièrement significatif du fait que l'hélicoptère est en rapprochement avec effet de masquage de la tuyère et que la distance est supérieure à 10 km. D'autre part, on constate bien l'intérêt de la détection après normalisation en TCM (zone 4) et en INSB (zone 5). L'exploitation en bispectral ne fait ressortir que l'hélicoptère alors que la détection à seuil fixe des signaux relatifs aux zones 1 (TCM) et 2 (INSB) en limite de détection donnerait un nombre très élevé d'alarmes.

De plus, pour limiter le plus possible la probabilité de non détection dans l'une ou l'autre des bandes passantes spectrales, la détection finale utilise un seuillage multiniveaux.

L'utilisation de la pseudo-couleur (présentée lors de la conférence) permet en effet de mettre en évidence (rouge) les détections communes aux deux longueurs d'onde et en bleu et vert les détections relatives à chacune des deux longueurs d'onde.

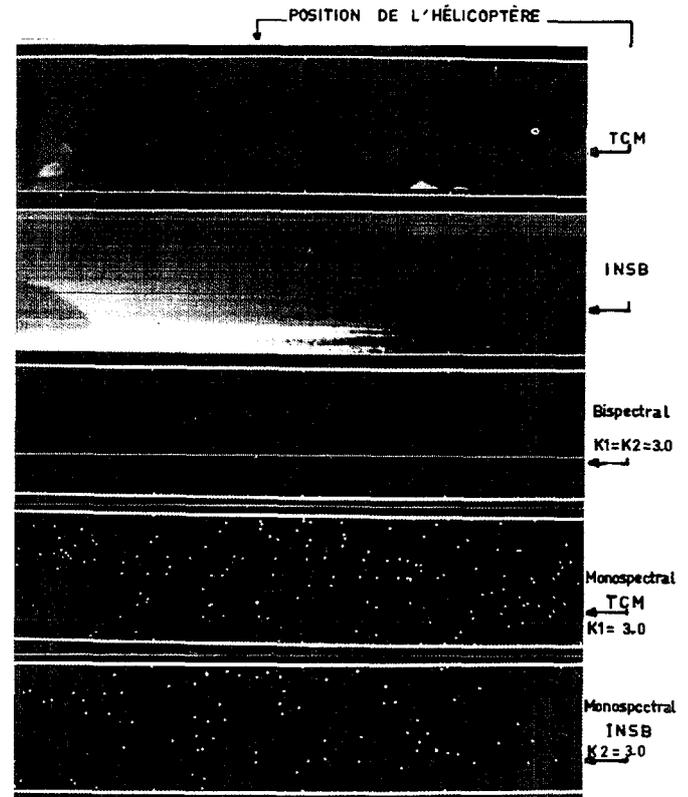


PHOTO (11)

5.3 - ESSAI SUR FOND DE TERRE

Les essais dans ce cas sont présentés pour des coefficients 2.6 en bispectral et 3.0 en monospectral et pour un champ de 5° en gisement.

On détecte aisément, outre l'hélicoptère, plusieurs points émissifs qui par analyse de plusieurs tours successifs ont été identifiés comme des échos fixes.

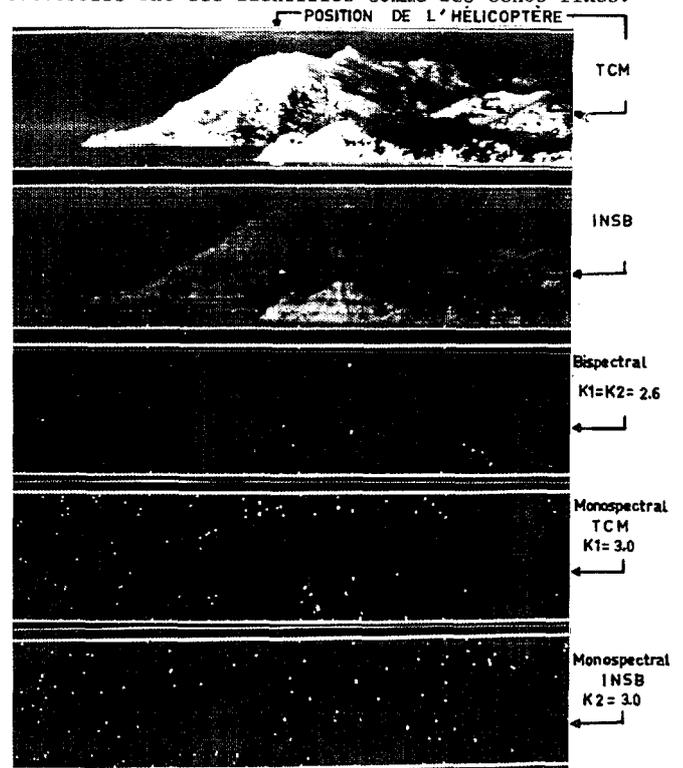


PHOTO (12)



EVALUATION D'UNE CHAÎNE DE DÉTECTION AUTOMATIQUE ADAPTÉE A UN SYSTÈME
DE VEILLE INFRAROUGE BISPECTRAL

On remarque que si la détection est assurée en bispectral et dans les deux longueurs d'onde pour $K = 2.6$, pour $K = 3.0$ seule la bande $3.5 - 5.5 \mu$ (zone 5) permet de détecter l'hélicoptère. Ceci est dû au fait que le rayonnement de la tuyère dans ce cas est largement prépondérant dans la bande $3.5 - 5.5 \mu$ et qu'il est nécessaire d'adapter les coefficients K_1 et K_2 à la connaissance que l'on a à priori de la cible recherchée.

La diminution des fausses alarmes est mise en évidence sur la figure 4 ci-après.

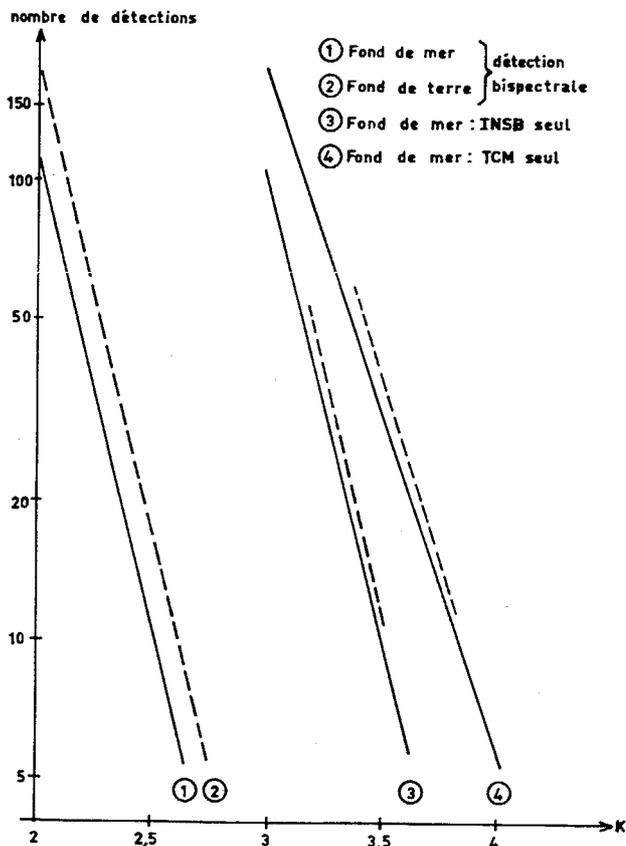


FIGURE: 4

6 - CONCLUSION

L'étude dont on présente ci-dessus quelques résultats a confirmé tout d'abord l'intérêt d'une imagerie infrarouge qui après traitement permet d'assurer en passif de jour et de nuit l'identification et la classification d'objectifs.

Compte tenu de l'évolution permanente des fonds de rayonnement temporellement et spatialement, elle montre l'intérêt d'une normalisation bidimensionnelle des signaux permettant d'assurer une détection à taux constant de fausses alarmes.

Cette normalisation exploite les deux premiers moments statistiques, des fonds de rayonnement sur 360° , stockés dans une "carte des fonds" dont les paramètres d'évaluation en gisement et en site ont été déterminés par une analyse statistique préalable.

Ensuite, l'évaluation en vraie grandeur de l'exploitation simultanée des signaux infrarouges dans deux bandes passantes spectrales et l'utilisation d'un seuillage multiniveaux ont montré une réduction conséquente du taux de fausses alarmes grâce à l'exploitation du contraste relatif dans les deux bandes.

Enfin, l'exploitation tour à tour permet d'éliminer les échos fixes ou lentement mobiles et on montre au global la faisabilité d'un système de détection automatique et d'initialisation de pistes.

7 - BIBLIOGRAPHIE

- ① Handbook of Military Infrared Technology
William L. Wolfe (Office of Naval Research
Department of the Navy, 1965).
- ② Infrared System Engineering
Richard D. Hudson (Wiley Interscience, 1969).
- ③ Theory and Application of Digital Signal Processing
L. Rabiner et B. Gold (Prentice-hall, 1975).
- ④ Digital Image Processing
William K. Pratt (Wiley Interscience, 1978).
- ⑤ Digital Picture Processing
A. Rosenfeld et A. C. Kak (Academic Press, 1976).
- ⑥ La Termographie Infrarouge
Gilbert Gaussorgues (Technique et Documenta-
tion, 1981).
- ⑦ Two-Color Thermal Measurements Techniques
Gilbert Gaussorgues (M.E.D.E., 1979).

