

Figure 9

Les images et la guerre, ou vidi vici.

Philippe Queau.

*«La guerre s'organise par des
symboles et des signes.»*

Berdiaev.

LES images électroniques et informatiques jouent un rôle de premier plan dans la conduite de la guerre moderne. Les fonctions militaires de l'image sont intéressantes à relever, tant du point de vue de la transformation des pratiques guerrières que de leurs éventuelles applications civiles. Saisis par le sentiment de l'urgence ou de la menace, les militaires ont su affecter des rôles nouveaux et essentiels aux images. Ce faisant, ils ouvrent des pistes inédites à l'art de la représentation. Les recherches menées dans l'agencement subtil des écrans cathodiques des cockpits d'avions de chasse préparent peut-être l'avènement de nouvelles dramaturgies et de nouveaux types de spectacles...

L'image a toujours joué un important rôle dans la conduite de la guerre. Selon Berellus qui a publié à La Haye en 1655 un livre sur l'invention du télescope, le prince Moritz comprit immédiatement la valeur militaire de l'engin et ordonna que cette invention, que Berellus attribue à Zacharie Janssen et non à Galilée, fût tenue secrète¹. Il semble donc que le télescope ait

commencé par être « *confidentiel défense* » et qu'il ne devînt un instrument astronomique que plus tard. Ce décalage entre la société civile et la recherche militaire est aujourd'hui encore valable, naturellement.

Si Galilée ne peut être assuré de conserver la seule paternité du télescope, on doit cependant noter chez lui des préoccupations délibérément militaires qui renforcent l'idée d'une configuration homogène d'intérêts chez lui. Ainsi a-t-il étudié le « *vray moyen de mesurer la force ou l'impétuosité des missiles* ». Ce dernier terme étant ainsi défini : « *J'appelle missile ce qui est jeté par force, soit avec la main, la fronde, l'arc, l'arquebuse².* » Il a réalisé des « *tables qui déterminent la longueur des volées des missiles* », en observant que « *les empêchements de l'air rompent la figure parabolique* » et que « *les missiles ne font pas des paraboles parfaites².* »

Avec l'image d'observation à distance et le graphique théorique prédictif, nous avons là, dès le début du XVII^e siècle, deux types précurseurs d'usage militaire de l'imagerie. On en trouve de nombreux autres de nos jours.

L'OBSERVATION PANOPTIQUE.

Il faut tout d'abord se détacher de l'idée qu'il n'y a d'images que de la réalité visible.

Mais définissons tout d'abord ce qu'on entend par « *image* ».

Plusieurs niveaux de généralisation du concept d'image sont en effet envisageables. Ses modalités de production, la gamme de ses fonctions, la matérialité de ses supports de visualisation et de ses modes d'accès ont considérablement évolué.

Les modalités de production, d'abord. La photographie part nécessairement d'une réalité matérielle visible. C'est le soleil qui travaille, qui vient impressionner des supports photosensibles. Désormais, avec le développement général des modes de « *saisie* », des informations jusqu'alors invisibles sont visualisables. L'image n'a plus partie liée avec la seule lumière. Plus généralement, le progrès des techniques de manipulation symbolique (essentiellement informatique) permet de visualiser sous forme d'image, c'est-à-dire sous forme de représentations bidimensionnelles, des informations cognitives ou abstraites. Tous les affichages symboliques de type schéma, carte, tableau, courbe, diagramme, graphe doivent être considérés comme des images, tant par leur qualité de présentation que par la manière de les appréhender. Les images ne se définissent plus comme les simulacres d'une réalité visible, mais comme des moyens de visualisation symbolique. Le niveau de « *réalisme* » de cette visualisation dépend des fonctions recherchées, comme nous allons le voir par la suite.

La gamme des fonctions de l'image s'est également enrichie. L'image n'est plus seulement la trace passive et figée d'un phénomène observé et mémorisé photochimiquement. Elle permet, grâce à des représentations « *numériques* » (l'image est transformée en tableau de nombres), d'effectuer des opérations de traitement : restauration et analyse d'image, reconnaissance des formes, vision par ordinateur.

D'autre part, les techniques de simulation nous habituent à la notion d'images produites de façon tota-

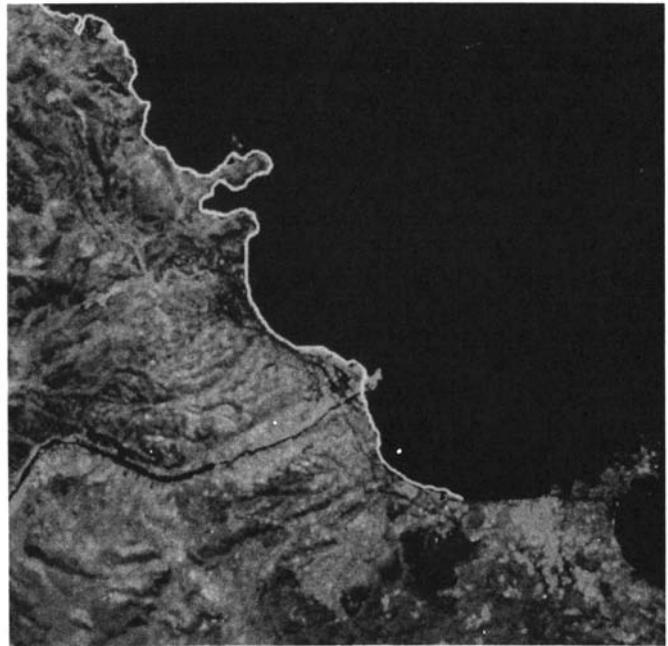


Figure 2

lement abstraite. Des algorithmes mathématiques peuvent automatiquement produire des images. L'image trouve alors son fondement dans des structures langagières (informatique ou mathématique).

Enfin, les supports de visualisation et les modes d'accès et d'interaction avec l'image ont eux aussi évolué. L'image est en fait indépendante de son support. Elle est virtuellement présente, sous forme de modèle, dans une mémoire d'ordinateur par exemple. La matérialisation proprement dite de l'image peut emprunter diverses formes : 2D, 3D, holographie... D'autre part, il est possible d'interagir avec l'image de très nombreuses façons, symboliques ou corporelles.

Les militaires ont mis à profit ces diverses modalités de généralisation du concept d'image. Notre thèse est qu'ils ont, ce faisant, tracé des voies d'innovation spectaculaire.

Toute la gamme des ondes électromagnétiques (ondes radio, radar, infrarouges, rayons X...) est observable. Dans le visible aussi, les performances augmentent sans cesse. Les satellites orbitaux ou géostationnaires à usage militaire dépassent tant par leur nombre que par leur capacités leurs équivalents civils. On prétend que les satellites militaires américains sont capables de lire les plaques minéralogiques des voitures. Les performances exactes sont « *classifiées défense* ».

Le satellite-espion Big Bird évolue entre 200 et 250 km d'altitude et peut descendre jusqu'à 160 km pour les photos les plus précises. Il travaille dans le domaine visible avec un scanner électronique retransmettant les images à des stations terrestres. Pour les photos « *haute résolution* » (détails de 15 cm), on utilise le support film.

Les photos sont éjectées hors du satellite dans des capsules récupérées en vol par des avions F-15. Un autre

1. Cockpit de mirage F1 avec viseur - tête haute - et écran de visualisation - tête basse -. Cliché Thomson.

2. Photo interprétation automatique. Détection de contours par suivi de lignes de contraste. © M. Rebuffet ETCA.

satellite de reconnaissance, le KH-11, travaille dans l'infrarouge à une orbite de 300 km. Il peut détecter, avec une très faible luminosité, des différences de contraste significatives (filet de camouflage/végétation). Il est question d'utiliser des rayonnements lasers comme « flashs » permettant d'illuminer la scène dans les cas difficiles. Le système « **RORSAT** », mis en place par la navette en avril 1983, utilise les ondes radar. Pour être complets, citons l'avion-espion Lockheed SR-71, successeur de l'U 2, volant à 35 000 m et capable de performances optiques environ dix fois supérieures à celles des satellites (1 à 3 cm de résolution). Il existe un projet français de satellite d'observation militaire, le **SAMRO**, encore dans les cartons, et qui pourrait peut-être donner lieu à une réalisation franco-allemande à l'horizon 95. En attendant, seuls les U.S.A. et l'U.R.S.S. disposent de réels moyens d'observation. Les récents événements du Tchad illustrent l'importance politique de ces techniques. Les Français ne disposent actuellement que de stations d'écoute électronique embarquées à bord d'avions Atlantic, ainsi que de stations au sol. Ces équipements sont capables de surveiller automatiquement des gammes de fréquences très étendues et de déterminer la nature des émissions, la « signature » des émetteurs, les destinataires... Certaines parades à l'écoute radio existent comme le changement aléatoire de fréquences d'émissions ou l'étalement du spectre (programme américain SINCGARS). Ces parades ont elles-mêmes suscité des contre-mesures (système COIACS pouvant simultanément écouter et brouiller une émission adverse et répondre en vingt microsecondes à ses éventuels sauts de fréquence). Le général Pascal de Chasse, commandant la défense aérienne française, vient d'affirmer que si le réseau de surveillance radar **STRIDA**³ est très efficace à haute et moyenne altitude, il n'est pas en mesure de faire face à des intrusions à très basse altitude (moins de 150 m).

La seule solution serait d'acquérir les célèbres avions-radars américains E-3A Sentry, mieux connus sous leur sigle **AWACS**⁴. Ces avions peuvent contrôler tous les mouvements aériens ou terrestres avec une portée de plusieurs centaines de kilomètres. Ce sont des Boeing 707 transportant deux radars dans un radome rotatif. Le radar principal peut fonctionner en plusieurs modes (radar pulsé avec ou sans Doppler) et en « temps partagé » : il peut être sectorisé de façon à avoir plusieurs modes activés simultanément selon les directions observées. Le radar secondaire peut identifier les avions amis ou ennemis. Le système de traitement des données à bord permet de corréler les données, de calculer des paramètres de combat (disponibilité de l'armement, priorité des menaces, poursuite et acquisition des cibles), de mettre à jour les bases de données et de communiquer en temps réel les informations à terre.

Les radars, embarqués ou au sol, ont maintenant des fonctionnalités diverses : radar météo, radar d'attaque et de combat aérien, radar de surveillance. Il est possible de surveiller les radars de l'adversaire. Une agence américaine ultrasecrète, la **N.S.A.**⁵, surnommée Non Such Agency, est spécialisée dans la surveillance du trafic radio (COMINT) et radar (ELINT). Des cartes très précises des installations radar soviétiques et de leurs performances ont été relevées, au besoin en

utilisant des lièvres comme le Boeing sud-coréen d'août 1983 qui, en violant les frontières de l'espace aérien soviétique, a provoqué une alerte radar générale, systématiquement enregistrée par des avions d'observations ELINT situés à proximité. On sait que le Boeing 747 fut abattu avec tous ses passagers civils à bord. On sait peut-être moins que des dizaines d'avions militaires américains ont été engagés (et certains abattus) dans des opérations similaires, et notamment dans la zone de la presqu'île de Sakhaline, depuis plus de vingt ans. Il faut enfin noter les capacités étonnantes des satellites d'écoute téléphonique (COMINT) qui peuvent, rapporte-t-on, « enregistrer la conversation d'un membre du Politburo avec sa maîtresse... ». Plus que jamais, l'observation guerrière se veut panoptique : le regard doit rendre possible un diagnostic et porter la promesse d'un pronostic.

LA GRAPHIQUE ET L'AFFICHAGE SYNOPTIQUE.

La « graphique » est un terme récent, forgé pour évoquer l'ensemble des pratiques schématiques et cartographiques, les diagrammes et les courbes, les tableaux et les graphiques statistiques.

L'informatique a considérablement développé les possibilités intrinsèques de la « graphique » avec par exemple dans le domaine civil l'usage de plus en plus général des « graphiques d'affaires » (« business graphics »).

Dans le domaine militaire, nous voudrions évoquer, d'une part, les écrans des « war rooms » ou salles de commandement et, d'autre part, le développement de l'affichage multifonctionnel sur des écrans cathodiques embarqués.

En ce qui concerne les « war rooms », le cinéma de science-fiction nous a familiarisés avec ces salles immenses couvertes d'écrans muraux rassemblant le maximum de données opérationnelles sous des formes graphiques lisibles et aisément manipulables. Non seulement ces cartes peuvent donner une idée précise de la situation d'ensemble ou de la situation sur un théâtre d'opération particulier, mais aussi permettent de visualiser des scénarios alternatifs. Des développements ont été faits pour rendre la manipulation de ces cartes générées par ordinateur particulièrement aisée. Notamment, il est possible, par l'intermédiaire de capteurs vocaux, gestuels et même oculaires (analysant la direction du regard), de faire apparaître ou disparaître des images, de les déplacer ou de les modifier littéralement au doigt et à l'œil. Un geste de la main et l'écran fait apparaître l'information voulue. Un regard et l'ordinateur opère un grossissement sur un détail sélectionné.

Un développement tout aussi significatif quoique moins spectaculaire est le remplacement progressif de toute l'instrumentation électromécanique présente à bord des avions par des tubes cathodiques de haute précision, affichant à la demande du pilote l'information nécessaire à la poursuite du vol. Six écrans cathodiques équipent la cellule de l'Airbus A 310. Les avions militaires possèdent moins d'écrans, mais ceux-ci affichent



Figure 3



Figure 4

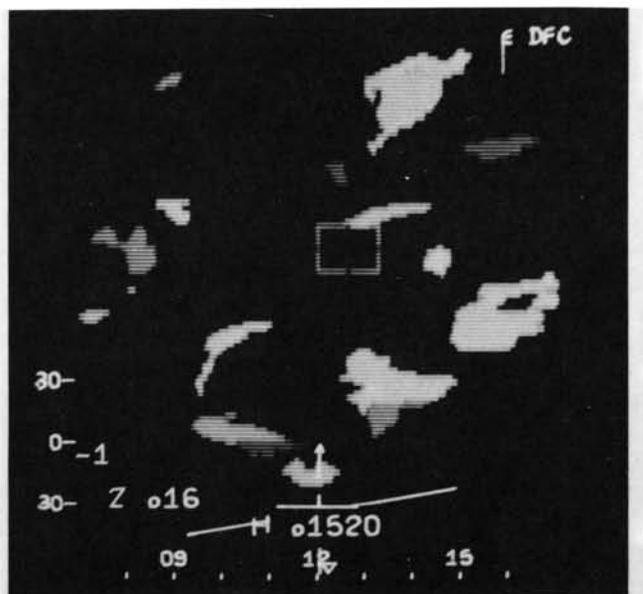


Figure 5

plus de fonctions (systèmes d'armes, radar d'attaque, affichage dynamique des cartes, radar météo...).

Dans les années 60-70, chaque information à afficher ou chaque fonction à remplir nécessitait un cadran, une jauge ou un bouton spécifique. Les premiers essais de simplification furent faits sur le F-111-D avec cinq tubes cathodiques présentant les informations selon le même format que les cadrans électromécaniques. Actuellement, l'accent est mis sur les écrans multifonctionnels.

Ainsi, le F-15 est équipé de trois tubes cathodiques dont une visualisation tête haute (Head-Up Display). Le F-A 18 Hornet-Navy de Mc Donnell Douglas consacre 40 % de surface utile de moins que le F-15 à la visualisation de l'instrumentation.

Cet avion est affecté à des missions de chasse et de bombardement et le système de visualisation peut être reconfiguré suivant les missions. Ce système, appelé *AIDS* (Advanced Integrated Display System), comporte quatre consoles de visualisation. La visualisation tête haute affiche les paramètres nécessaires au pilotage (vitesse, cap, altitude, attitude), ainsi que des indications pour le tir. Une visualisation multifonctionnelle (tête basse) affiche les images du radar d'attaque ainsi que la carte radar et permet également de surimposer les données de vol et de l'armement à ces images. Une visualisation de la « situation horizontale » permet de surimposer les paramètres de la navigation horizontale avec une carte couleur défilante préalablement mémorisée (support film), ainsi que les informations relatives à la « guerre électronique » et les schémas des divers systèmes de l'appareil (environ 200).

Enfin, une console fonctionnant en mode maître permet d'avoir à tout moment un résumé synoptique des informations prioritaires. Chaque console peut afficher les informations des autres.

Les tendances actuelles de l'affichage électronique embarqué font appel de moins en moins à l'alphanumérique et de plus en plus aux images : graphiques, images de synthèse 2D et même 3D. Le F-18 combine déjà des caractères alphanumériques et des pictogrammes en couleur pour la visualisation de la procédure d'armement.

Le développement des techniques *VHSIC*⁶ appliquées au graphique généralise l'usage de symboles dynamiques de formes complexes, évoluant en temps réel. La forme la plus avancée d'imageries synthétiques embarquées est sans conteste le système *AETMS* (Airborne Electronic Terrain Map System) développé par Avionics Lab. et Hughes. Il génère en temps réel à partir d'une base de données de vrais perspectives tridimensionnelles des terrains survolés, ainsi que des caractéristiques importantes : grille d'altitude, crête, vols. Il souligne les points d'intérêt avec des ajouts de texture et de

3. Ecran de visualisation de navigation. Mode cartographique.

4. Indicateur cartographique. Système Icare. Ecran de visualisation. Cliché Thomson.

5. Image télévisée infrarouge, expansion de contraste effectuée sur une partie d'image. Cliché Thomson.

couleur. A terme, on vise un réalisme « photographique » poussé. Le système AETMS permet les opérations à très basse altitude sans visibilité.

Il est également envisagé d'utiliser ce genre de matériels pour la « mise en scène » d'informations cognitives.

Ainsi, des paramètres de navigation, l'attitude, la position par rapport à la formation du groupe d'avions, les « menaces » pourraient être respectivement visualisés sous forme d'images symboliques, mais graphiquement « réalistes ».

LA VISÉE ET LA VISION PAR ORDINATEUR.

On connaît le geste du tireur d'élite mouillant sa mire d'un doigt humecté de salive. Les systèmes d'arme actuels font appel à des principes radicalement différents, comme nous allons le voir. Tout commence avec la mobilisation appropriée des moyens de contrôle de l'armement. Les systèmes de visualisation évoqués précédemment peuvent en un instant être reconfigurés en fonction des impératifs du combat. La visualisation des différentes phases du combat (sélection de l'arme, acquisitions de la cible et verrouillage automatique, activation des radars de missiles) peut être activée en pressant un bouton situé sur le manche à balai. Le système *HOTAS* permet ainsi de régler un radar (portée, caractéristique d'émission) en moins d'une seconde à l'aide de pressions plus ou moins fortes du doigt.

Pour la visée proprement dite, on peut énumérer les procédés : périscopes stabilisés automatiquement, guidage infrarouge, guidage laser... Depuis la guerre du Vietnam, l'US Air Force a mené différentes recherches sur les lasers : désignation de cible, guidage des missiles, évaluation des distances de tir (programme PAVE).

On peut aussi citer le programme « *guerre des étoiles* » du président Reagan, consistant à mettre sur orbite des satellites équipés de lasers de puissance capables de détruire les missiles intercontinentaux soviétiques (ICBM) quelques instants après leur départ des silos. En effet, avant la phase balistique plus difficilement repérable, les satellites de surveillance infrarouge peuvent détecter les flammes des tuyères lors des premières minutes du vol. Les lasers sont alors dirigés sur les missiles afin de les endommager suffisamment pour interrompre leur vol. A ce niveau de précision, il est nécessaire de faire appel à des algorithmes « intelligents » de poursuite, puisque ce ne sont pas les flammes qui sont visées, mais le missile lui-même situé à quelques mètres en avant... Des contre-mesures subtiles ont d'ailleurs été envisagées, comme de camoufler aléatoirement les flammes avec une grille mobile ou de mettre en marche alternativement des tuyères différentes pour rendre la tâche de repérage plus délicate encore.

L'image est donc loin d'être un moyen passif d'observation : on se bat à coup d'images vraies ou fausses. En fait, le traitement d'image recouvre toute une gamme de fonctions : restauration et amélioration des images radar, TV, infrarouge, analyse et reconnaissance avec des systèmes comme l'Imaging Sensor Autoprocessor

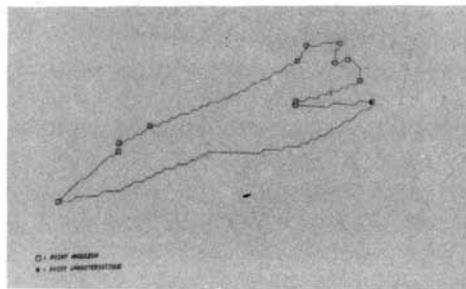


Figure 6

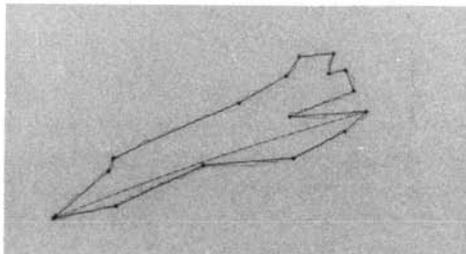


Figure 7

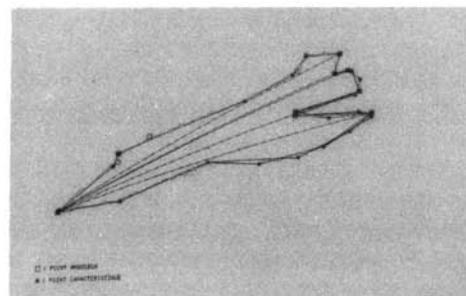


Figure 8

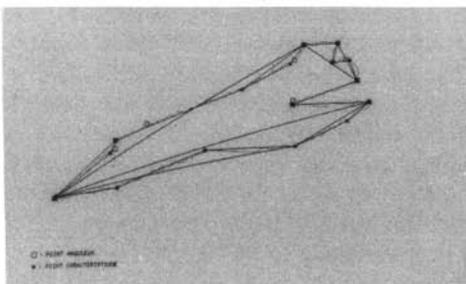


Figure 9

RECONNAISSANCE DES FORMES

6. Extraction de « points anguleux ».

7. Différentes itérations permettent de définir des « points caractéristiques ».

8. et 9. Comparaison de diamètres et extraction des points les plus stables.

© B. Burg, Ph. Missakian ECTA.

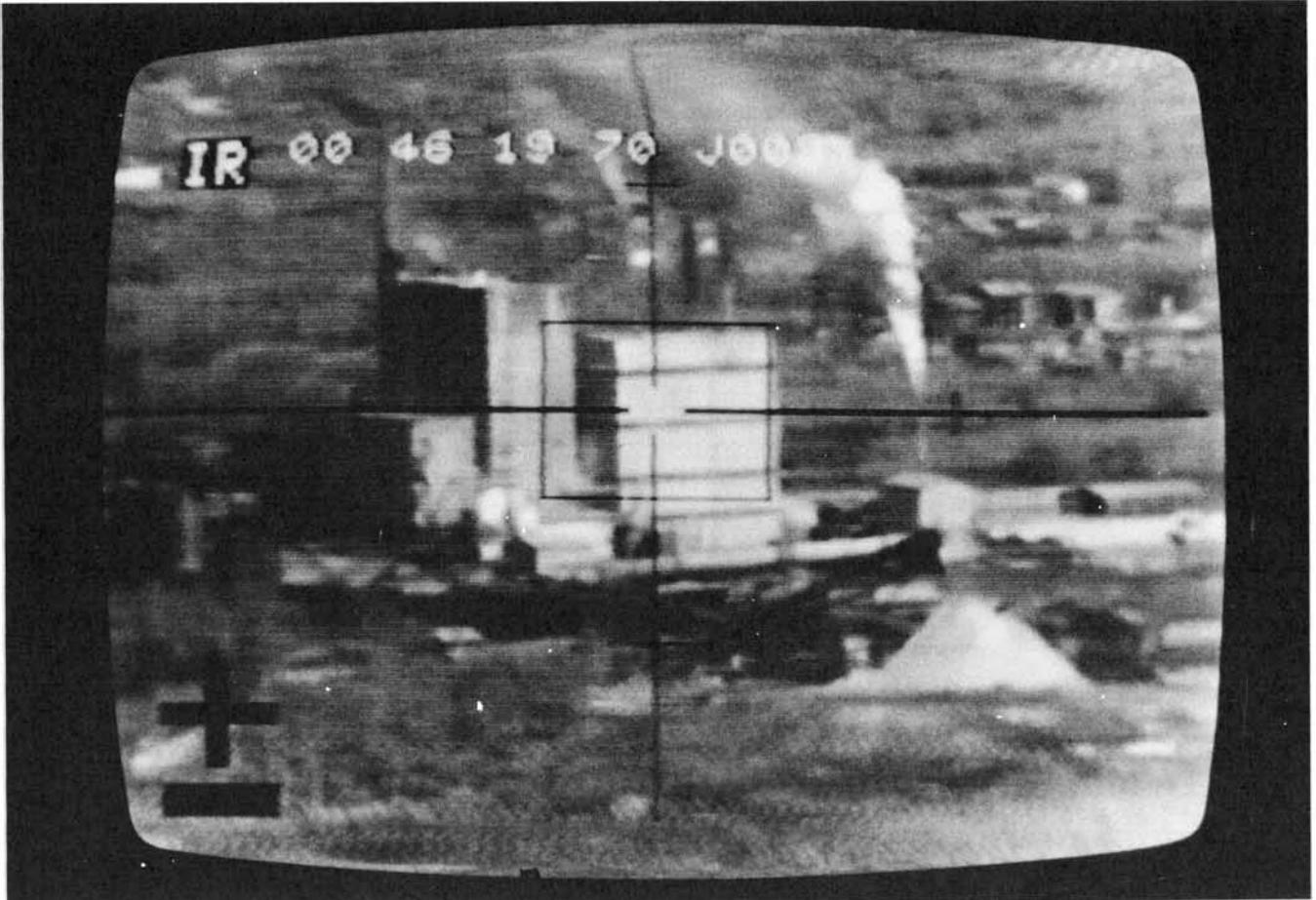


Figure 10



Figure 11

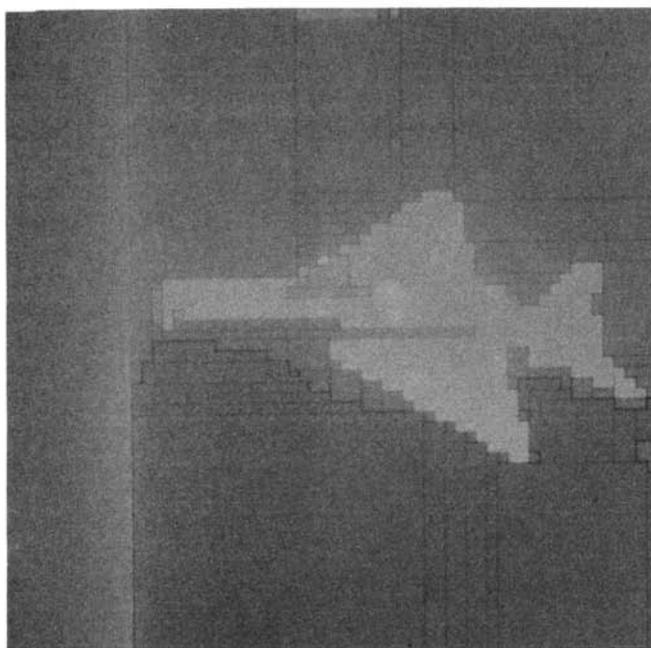


Figure 12

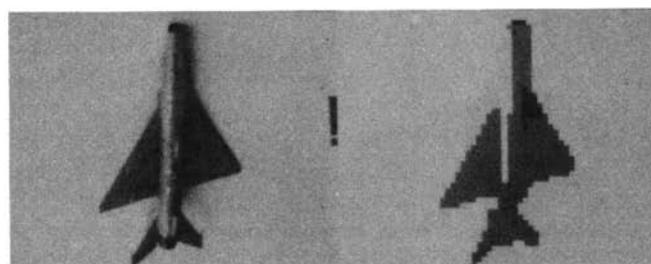
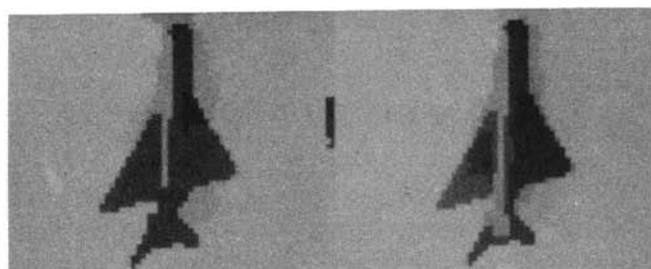


Figure 13

capables de reconnaître 90 % des cibles ou tout au moins de déterminer les zones intéressantes et, enfin, compréhension des scènes, technique complètement automatique faisant appel à la « vision » par ordinateur : détermination de primitives caractéristiques (textures, segments), description symbolique (frontières fermées, lignes parallèles) puis, interprétation sémantique à partir de modèles visuels et de techniques d'intelligence artificielle. On couvre ainsi tout le champ des fonctions, depuis l'acquisition et l'identification des cibles jusqu'à la photographie de reconnaissance. Mais, surtout, on décharge de plus en plus le pilote de tâches jusqu'alors réputées inaccessibles à l'automatisation. On parle même de « Pilot augmentation », c'est-à-dire d'assistance éclairée au pilote, d'aide à la décision en cas de panne ou de situation d'urgence...

Enfin, il faut parler des systèmes déléguant complètement au projectile lui-même la responsabilité de l'atteinte de la cible. Ainsi, le fameux missile EXOCET fait partie de ces systèmes surnommés « fire and forget » qu'on pourrait traduire librement par « tire et tire-toi »...

Lâché à 30 km de la cible, le missile EXOCET peut remplir sa mission sans que le pilote l'assiste. Le « Cruise Missile » (missile de croisière) est équipé d'un système automatique de reconnaissance des paysages survolés, ce qui lui permet de voler au ras du sol, hors de portée des radars adverses (sauf s'il s'agit d'AWACS!).

LES « LEURRES ÉLECTRONIQUES » OU LA GUERRE DES SIMULACRES.

Les progrès des techniques militaires électroniques se sont bien entendu accompagnés presque immédiatement d'un progrès parallèle des contre-mesures électroniques. Cette escalade a conduit à la création d'une forme originale de guerre, la « guerre électronique ». Pour n'être pas directement sanglante, elle conditionne cependant dans son abstraction les capacités plus ou moins mortifères des armements qu'elle protège ou qu'elle détourne.

Nous avons déjà évoqué l'écoute et l'analyse des émissions radios ou radars par des systèmes ELINT, COMINT (Electronic Intelligence, Communication Intelligence) ou SIGINT (Signal Intelligence).

Il s'agissait de surveiller et d'identifier toutes les formes d'émissions électromagnétiques de l'adversaire.

La plupart des matériels et des méthodes concernant la « guerre électronique » sont classés « confidentiel défense ». Il est difficile d'avoir des informations précises. On peut distinguer principalement trois catégories de matériels. Tout d'abord, les systèmes passifs qui peuvent déterminer la direction approximative et l'intensité des émissions dans les bandes radar et radio du spectre, mais parfois aussi dans les bandes visibles, infrarouge et laser du spectre électromagnétique. Ensuite, il y a les systèmes de brouillage qui produisent des contre-mesures actives utilisant l'information collectée à partir des émissions adverses. Il y a de nombreux types de brouilleurs. Les plus simples produisent du « bruit » capable de masquer n'importe quelle radiation électromagnétique dans la

10. Ecran télévision pilote au cours d'un tir missile guidé par laser. Système Atlas. Cliché Thomson.

11. Viseur V.E. 120. Visualisation avec téléviseur. Cliché Thomson.

12. Algorithme d'extraction de régions. Résultat. © B. Burg, Ph. Missakian ECTA.

13. Algorithme d'extraction de régions. Original. © B. Burg, Ph. Missakian ECTA.

bande de fréquence considérée. Les systèmes les plus perfectionnés peuvent imiter les échos radar ou générer de fausses communications. On peut, par exemple, synthétiser en temps réel de fausses images radar à partir des signaux radar de l'ennemi et les renvoyer vers la station hostile de façon à occulter les signaux normalement révélateurs.

Enfin, il existe toute une gamme de « leurres électromagnétiques » capables de renvoyer de faux échos infrarouges ou radar en fonction de menaces perçues par un avion équipé de récepteurs appropriés.

En France, les bombardiers stratégiques Mirage IV ont reçu divers systèmes de contre-mesures électroniques : AGIRIC, AGOSOL, BECOME et AGACETTE. Une nouvelle génération est en cours de développement pour le Mirage 2000. On peut aussi citer les Bréguet Atlantic équipés de systèmes ELINT de type ARAR-AXAX.

Les Israéliens ont équipé les avions Kfir de systèmes de protection antiradar pouvant être reprogrammés en cours de mission. Au Japon, la firme Tokyo Keiki, leader dans ce domaine, a développé toute une gamme de systèmes de surveillance électronique et de brouillage, notamment antimissiles. En Grande-Bretagne, les Tornado de la Royal Air Force sont équipés de systèmes de contre-mesures capables de contrer plusieurs menaces simultanées, tant de la part de radars au sol (surveillance, missile sol-air) qu'embarqués (radars de combat).

Une bibliothèque programmable des types de menaces permet l'identification rapide et sans ambiguïté. Ce sont les U.S.A. qui sont les plus avancés dans ce domaine avec un arsenal varié de matériels de guerre électronique.

Ainsi, le bombardier stratégique B-1B de Rockwell est équipé d'un système de contre-mesures couvrant toutes les gammes de fréquences utilisées par les radars soviétiques d'alerte, d'interception et de missiles sol-air.

Environ 700 millions de dollars ont été investis dans le développement de ce seul système. Un avion spécialement conçu pour la guerre électronique et l'interception est en cours de production. Dérivé du EF-111 de General Dynamics, il fait appel à toute une série de fonctions : brouillage des communications, brouillage radar, brouillage des systèmes adverses de poursuite automatique... Le tout est contrôlé par un ordinateur 4 PI d'IBM. Enfin, on peut évoquer le système TEWS⁷ de Loral pour équiper les F-15. Il offre en particulier la caractéristique d'avoir un tube cathodique réservé dans la cellule. Sont ainsi affichées une évaluation tous azimuts des menaces ainsi que leur identification par des symboles alphanumériques. La lecture du tube peut se faire en plein soleil. Les améliorations attendues visent à quintupler la mémoire du processeur de signaux et à réduire sa taille du tiers. Une extension vers la gamme des ondes radar millimétriques est envisagée.

Ce qu'il faut retenir de cette énumération, c'est que la guerre électronique est une guerre des simulacres. Il s'agit de synthétiser le plus vite possible des pseudo-images de soi suffisamment crédibles, grâce aux informations que véhiculent les signaux ennemis. La sûreté est naturellement de mise et, en fait, absolument

vitale ; le brouillage célèbre de la BBC pendant la Seconde Guerre mondiale laisserait plutôt la place, de nos jours, à la saturation du spectre électromagnétique par des signaux apparemment fiables mais complètement truqués. La tendance est à la finesse et à la synthèse des apparences...

Cette guerre particulière s'appuie avant tout sur le dynamisme de la recherche universitaire (algorithmes mathématiques, architectures originales de traitement des signaux) ainsi que sur un fort tissu industriel en informatique. La supériorité écrasante des U.S.A. sur l'U.R.S.S. en la matière ne fait pas de doute. Elle est d'ailleurs un des éléments stratégiques de la Défense nationale américaine.

Il se pourrait cependant que de tels perfectionnements soient réduits à néant dans certains scénarios de guerre nucléaire. L'effet EMP (Electromagnetic Pulse) grillerait complètement la fragile circuiterie électronique là où les Soviétiques, moins avancés, continuent d'utiliser de bons vieux tubes à vide...

LA VISUALISATION : LE REGARD ASSISTÉ.

Un pilote de chasse est censé parcourir du regard l'ensemble de ses instruments toutes les quinze secondes. C'est une charge très astreignante. L'œil humain a une spécificité remarquable. Il est capable d'absorber des quantités énormes d'informations pour peu qu'elles soient présentées sous forme d'images. On a déjà vu, à propos de l'évolution des systèmes d'affichage, que la tendance actuelle était à la concentration de toutes les informations sur quelques écrans multifonctionnels et même un seul. Ainsi, le F-16 de l'US Air Force est désormais équipé d'un seul écran multifonctionnel, qui affiche toutes les informations de navigation, les diverses imageries radar, les imageries de visée, du contrôle de l'armement et du tir. C'est un écran à balayage vidéo de haute résolution, de 10 cm de côté, doté de 24 touches sur les bords pour le contrôle des fonctions et l'entrée des données. Le générateur graphique utilise des techniques sophistiquées de programmation en temps partagé permettant une très haute qualité d'affichage en temps réel. Etant reprogrammable, il peut disposer de différentes bibliothèques symboliques. Il peut afficher jusqu'à neuf sources vidéo (de diverses origines comme par exemple les capteurs électro-optiques de certains armements). Enfin, il est compatible avec le système LANTIRN (Low Altitude Navigation and Targeting Infra-Red for Night).

Le système LANTIRN mérite bien son nom. C'est une véritable lanterne magique. Développé par la société britannique Marconi Avionics, il permet de voler à très basse altitude, la nuit, par n'importe quel temps. La plupart des viseurs tête haute actuels ont un champ

14. Visualisation et regard assisté. Ferranti Helmet Mounted. Pointing and Display System.

15. « Cat's Eyes » permet la vision de nuit à l'extérieur du cockpit et de lire normalement les instruments. GEC-AVIONICS.

16. Caméra thermique (système modulaire thermique) cliché SAT.



Figure 14

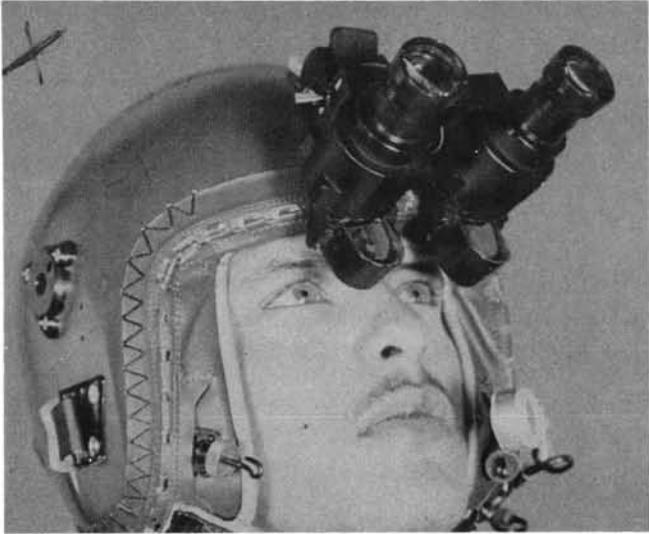


Figure 15

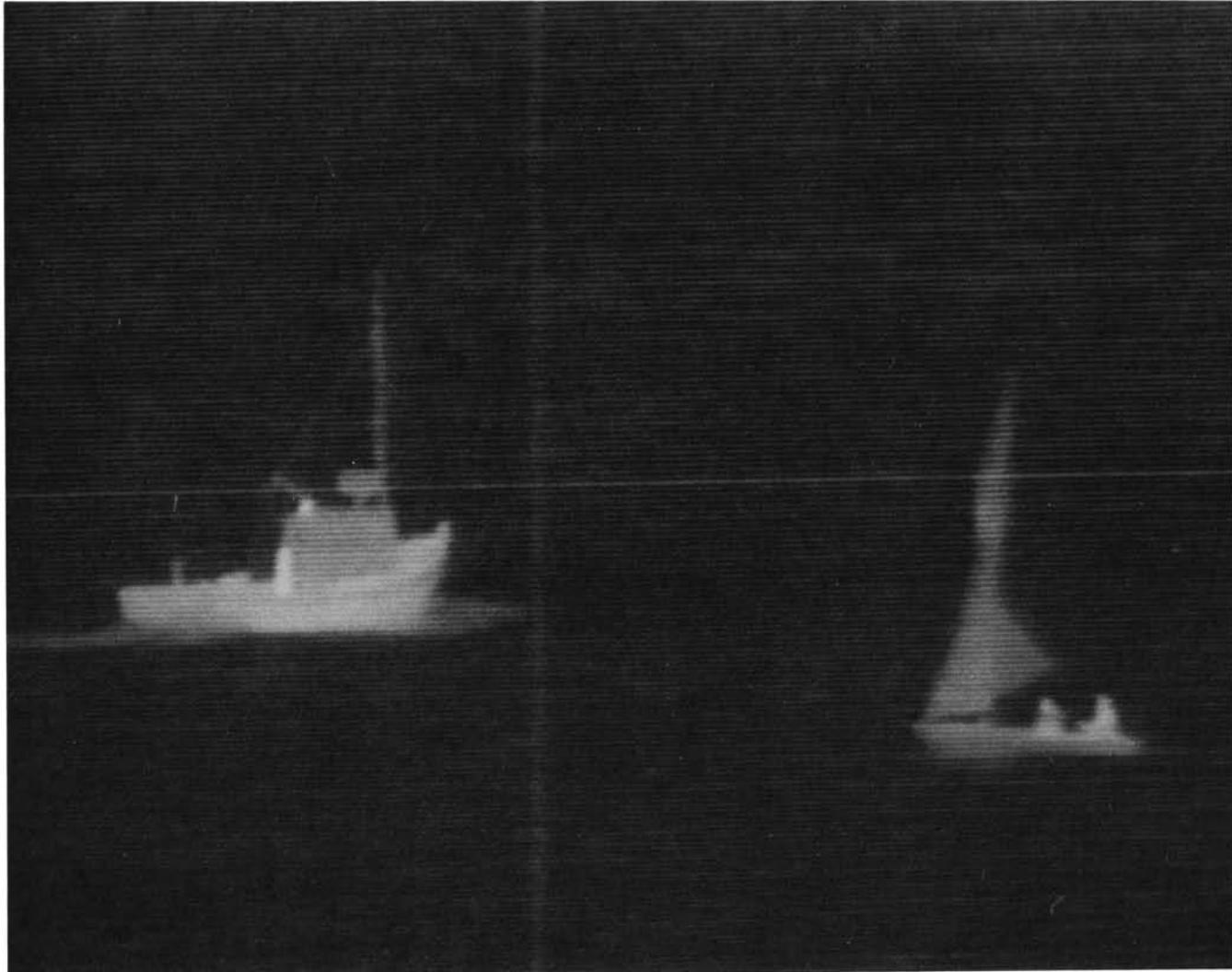


Figure 16

de vision restreint : 26 degrés d'azimut latéral et 18 degrés d'élévation verticale ce qui est notoirement insuffisant quand on vole à 50 pieds par un fort brouillard. Marconi a donc développé un nouveau viseur basé sur des techniques holographiques utilisant les principes de la diffraction optique.

Ce projet a nécessité un budget de 103 millions de dollars pour l'équipement par General Dynamics du F-16 et de l'avion antichar A-10 de l'US Air Force. Le champ de vision obtenu est de 60 degrés et 36 degrés d'élévation verticale. Des recherches comparables sont en cours en France. Une méthode différente a été utilisée par la firme allemande Teldix. Un tube cathodique sphérique projette une image sur un miroir concave qui la renvoie ensuite sur un viseur hémisphérique de grandes dimensions. On peut noter que ce genre de développement n'est pas destiné à des fins exclusivement militaires. En effet, un viseur holographique est désormais disponible pour les avions de transport commerciaux. Son prix est d'environ 200 000 dollars. L'hologramme se forme sur une couche de gélatine de un millimètre d'épaisseur prise en sandwich entre deux lentilles de verre. La production commerciale de ces matériels a commencé en 1984 après plusieurs centaines de tests entièrement effectués sur simulateur par Flight Dynamics.

Dans le cadre du programme britannique de l'Avion de combat agile (ACA), un nouveau type de viseur a fait son apparition. Il est particulièrement adapté au combat aérien avec la nouvelle génération de missiles air-air. Le système comporte un générateur de champ magnétique triaxial, un petit capteur magnétique monté sur le casque même du pilote pour détecter la direction de son regard, et enfin une source de lumière qui visualise celle-ci. On peut adapter un tube cathodique miniature sur le casque pour présenter des images symboliques ou réalistes aidant la veille ou la discrimination des cibles détectées. Les images ainsi projetées sur la visière sont stabilisées en fonction de tous les paramètres (mouvements de la tête, attitude de l'avion). Elles sont rafraîchies rapidement de façon à autoriser des mouvements brusques de la tête. D'autres systèmes de repérage de la direction du regard existent : ils font appel à des réseaux de diodes dont la lumière (visible ou infrarouge) est envoyée au fond des yeux du pilote. Des caméras CCD à défilement de fente (Vertical Slit Camera) repèrent alors la direction du regard. Les applications de ce genre de systèmes sont innombrables : gestion des paramètres de la navigation, surveillance des menaces, armement des missiles et guidage oculaire vers leur cible, désignation de cibles au sol, commande des canons montés sur les tourelles des hélicoptères.

Les prochains développements sont encore plus étonnants. Le tableau de bord des prochaines générations d'avion sera entièrement vide. Toute l'information sera projetée sur la visière du casque. Pour obtenir une information particulière, le pilote aura simplement à regarder une position virtuelle dans l'espace et éventuellement à la confirmer par commande vocale.

La configuration d'écran ainsi virtuellement sélectionnée sera affichée sur la visière. L'étape suivante consistera par exemple à générer des panneaux de commandes tridimensionnelles qui « flotteront » en

relief virtuel devant le regard du pilote. En une fraction de seconde, le pilote pourra alors activer par le regard une dizaine de commandes sans quitter des yeux ses ennemis.

LA SIMULATION : LA SYNTHÈSE DU RÉEL.

Les jeux vidéo ont habitué le grand public, pour peu qu'il hante les salles spécialisées, à la manipulation d'images fictives. Les parties gratuites se gagnent à la force du poignet et avec l'expérience de nombreuses défaites plus ou moins inévitables. Les pilotes militaires ne font pas autrement, comme leurs collègues civils d'ailleurs. Bien entendu, les jeux vidéo militaires sont nettement plus « réalistes ». On peut ainsi tester des conditions « limites » de vol et de combat, imaginer des situations désespérées, engager des combats dans les circonstances les plus variées. On programme le simulateur avec les caractéristiques des avions ennemis, pour autant qu'on les connaisse, bien sûr. Ainsi, lors de la guerre des Malouines, les pilotes britanniques ont pu s'entraîner à combattre des Mirage de l'armée argentine qui étaient parfaitement simulés (performances, caractéristiques aérodynamiques, armement...).

En 1983, Thomson CSF a construit un simulateur de vol à six degrés de liberté et avec une visualisation « de nuit » pour l'Ilyouchine IL-86 de l'Aeroflot. Le gouvernement français a refusé la demande par les Soviétiques d'un simulateur avec visualisation « de jour » sous prétexte d'une éventuelle utilisation militaire. Les simulateurs militaires affichent des images très réalistes des paysages survolés, mais prennent également en charge la visualisation corrélée de l'imagerie radar, des imageries de contrôle des contre-mesures électroniques, de l'ensemble des imageries nécessaires au pilotage et au combat. Le Centre d'expérimentation aérienne de Mont-de-Marsan est équipé de simulateurs permettant à deux pilotes de se combattre l'un l'autre. Le matériel comprend trois cockpits de Mirage F1 ou 2000, installés dans des dômes de plastique de 8 m de diamètre sur l'intérieur desquels sont projetées les différentes images synthétisées en temps réel.

C'est la General Electric Company qui a construit, en 1958, le premier simulateur de vol utilisant des imageries synthétisées par ordinateur (programme *JANIP*¹⁷) pour l'armée américaine. En 1962, General Electric a fourni à la NASA le premier simulateur spatial pour entraîner les astronautes aux rendez-vous spatiaux et aux alunissages. En 1975, les premiers simulateurs civils sont arrivés. Le simulateur Compu-Scene de General Electric permet de visualiser des scènes en couleur de jour, de crépuscule et de nuit. La génération d'objets texturés et le calcul d'ombrage de surfaces gauches sont possibles. Les algorithmes de textures per-

17. *Simulateur de combat aérien. Thomson CSF.*

18. *Cliché Thomson CSF.*



Figure 17

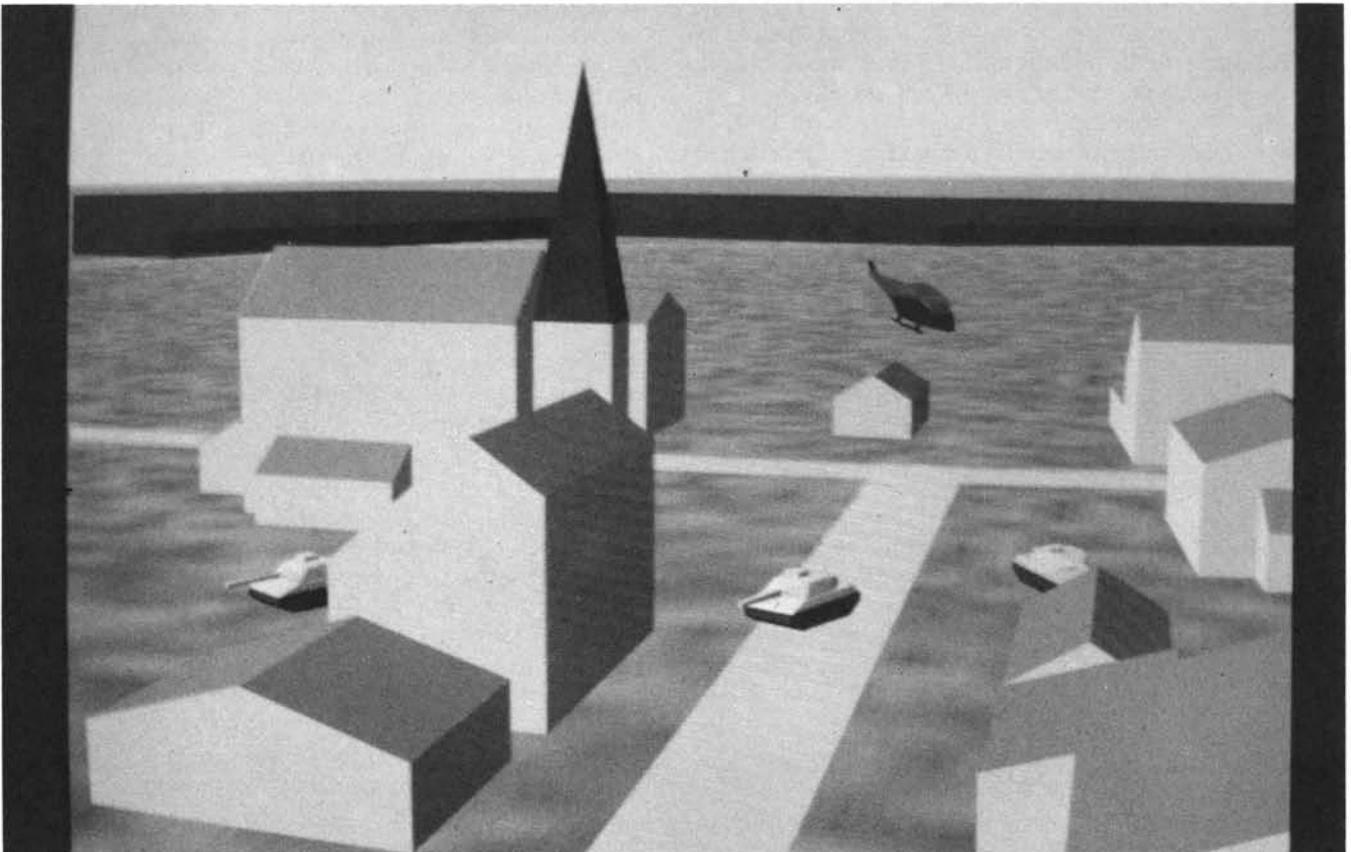


Figure 18

mettent de représenter la mer, les nuages, divers types de terrains et de végétation. On peut sélectionner plusieurs niveaux de résolution. Pour la simulation de combat, on met en mémoire des zones territoriales pouvant couvrir 500 km x 500 km et allant jusqu'à 20 000 m d'altitude. Ces bases de données tridimensionnelles comprennent aussi des détails de texture assez fins pour permettre l'estimation par le pilote de la vitesse, de l'altitude, des distances. Pour la simulation du F-16, on a même pris en compte la nécessité de synthétiser toutes les imageries radar et les imageries de guerre électronique, les « effets spéciaux » dus aux divers leurres électromagnétiques, les imageries infrarouges...

On peut ainsi entraîner les pilotes à de véritables missions de guerre électronique, avec l'utilisation simulée de tous les moyens de brouillage. Si le pilote échoue dans ses manipulations de contre-mesure, les dommages résultant sont également simulés.

Les simulateurs sont équipés de sièges spéciaux recréant les effets d'accélération, de vibrations... Certains développements visent un réalisme des images encore supérieur. Ainsi, les générateurs d'image laser (LIG) de LINK utilisent des lasers multicolores qui balaient des maquettes très détaillées. Des photomultiplicateurs traitent les signaux ainsi réfléchis et les utilisent pour générer des images en couleur de haute définition. On utilise ce système pour la simulation d'hélicoptères attaquant en rase-mottes.

Un projet similaire a été entrepris par Rediffusion Simulation de Grande-Bretagne. Des images extrêmement détaillées sont générées à l'aide de lasers et projetées sur un écran hémisphérique avec un champ de vision de 180° x 60°. La définition de ces types d'images est vingt fois supérieure à celle des images TV produites par les systèmes classiques de génération synthétique. Les développements se font avec un laser monochrome à argon, mais il est prévu d'utiliser des lasers rouge, vert et bleu pour un rendu plus réaliste des couleurs. Le coût d'exploitation opérationnelle des simulateurs représente environ 10 à 15 % du coût des missions réelles. A cet avantage décisif, ils ajoutent d'intéressantes possibilités qualitatives d'entraînement.

Il existe d'autres types de simulateurs, plus élaborés encore. En effet, on peut simuler la guerre elle-même, la guerre totale. Ce sont les fameux « war-games ». Ces simulateurs font appel à des théories mathématiques complexes, comme la théorie des jeux. Il s'agit d'anticiper les réactions de l'adversaire et des troupes alliées lors de scénarios plus ou moins définis, pouvant comporter des notions de bluff, des éléments aléatoires, etc.

On cherche à entraîner les états-majors à une vision combinatoire de toutes les possibilités de dérive, d'erreur, d'escalade par rapport à des scénarios optimisés. La dissuasion nucléaire actuelle repose d'ailleurs en grande partie sur l'étude simulée par ordinateur de tous les scénarios possibles et imaginables. Il semblerait que les Américains aient vérifié qu'une guerre nucléaire totale ne pouvait avoir de vainqueur quel que soit l'auteur de la première attaque (« First Strike »). Mais, les avis sont partagés. En effet, de façon générale, un très grand « système », comme l'ensemble des forces de

défense américaines, ne peut être absolument prévisible même si on parvient à en formaliser toutes les interdépendances. On sait en effet pertinemment que même de petits systèmes déterministes se comportent parfois de façon « chaotique », si bien qu'il n'y a aucun moyen de prévoir à terme leur évolution. *A fortiori*, un très grand système, comme peut l'être l'ensemble de tous les ordinateurs assurant la coordination et le traitement des informations relatives à la défense du territoire américain, peut avoir un comportement inattendu, ou partiellement incompréhensible, ne serait-ce que parce qu'il est impossible d'assurer une programmation sans erreur de ces ordinateurs. Un exemple peut-être plus probant de non-linéarité du comportement d'un système très sophistiqué de défense est le fameux effet EMP. L'impulsion électromagnétique résultant de l'explosion d'une seule bombe thermonucléaire dans l'atmosphère peut paralyser durablement toutes les communications d'un pays, réduire à néant ses capacités de traitement informatique. Tous les circuits électriques et électroniques, tous les équipements informatiques seraient « grillés » en un instant, notamment ceux équipant les matériels de défense et de riposte nucléaire... Il y a donc là un champ bien particulier d'études stratégiques et de simulation de dynamique des systèmes.

La simulation d'images réalistes comme la simulation de scénarios stratégiques relèvent de la même démarche. Il s'agit de créer de toutes pièces un mode imaginaire dont les comportements sont réglés d'après des modèles préalablement bâtis. Ces modèles peuvent être soit très proches du réel ou au contraire s'en éloigner volontairement, par exemple à des fins d'exploitation heuristique. La simulation n'est donc pas seulement un outil d'entraînement, c'est une méthode fondamentale de mise au point de stratégies globales. Les derniers progrès de l'intelligence artificielle doivent rendre cette dernière affirmation encore plus impérative. La complexité des systèmes américains d'alerte d'attaque atomique nécessite l'usage de véritables « systèmes experts » capables d'assister les décisions les plus graves de riposte nucléaire.

L'AVENIR DE L'ARTIFICIEL.

La guerre moderne passe désormais par une intense manipulation de signes, de symboles et d'images. Les cartes, les graphiques, les images de synthèse tridimensionnelles, les hologrammes, les pseudo-images radar, les systèmes de vision par ordinateur, les simulateurs déplacent les enjeux, modifient la valeur des lignes Maginot dont on continue parfois de se prévaloir. Que réserve l'avenir ? Toujours plus d'intelligence artificielle, couplée à toujours plus d'images panoptiques, synoptiques. Le travail du symbole et la précision du réalisme s'allieront aux générateurs d'inférences logiques pour créer des représentations cognitives complexes. La guerre aura peut-être lieu, mais elle aura d'abord été simulée...

Mais laissons à César ce qui revient à César. Les images guerrières utilisent les mêmes principes que les images pacifiques. Le programme d'intelligence artificielle MYCIN, conçu pour le diagnostic assisté des mala-

dies du sang, a été réutilisé par les militaires pour un programme d'aide au diagnostic des pannes survenant en vol. Les avions « bioniques » sont à l'étude et seraient pilotables à l'aide de « calculateurs neuroniques⁹ » calqués sur le modèle des réseaux de neurones adaptatifs du cerveau. La paix et la guerre ont partie liée.

La seule conclusion que l'on puisse raisonnablement tirer c'est que le progrès des techniques, civiles ou militaires, se fait par l'intermédiaire d'une déréalisation croissante de l'homme, avec ses aspects négatifs et ses avantages décisifs.

L'avenir de l'homme passe aussi par la simulation du réel. La simulation n'est pas le simulacre de la réalité, elle la crée.

REMERCIEMENTS.

M. Zavidovique.

ETCA.

Laboratoire Système de Perception.

Service Optique Physique.

Centre des Techniques et Moyens de Mesure et d'Essais.

Notes

1. Cité par Paul Feyerabend *in* « Contre la méthode ».
2. *Les Nouvelles Pensées de Galilée*, Marin Mersenne, 1639, Paris.
3. STRIDA : Système de traitement et de représentation des informations de défense aérienne.
4. AWACS : Airbone Warning and Control System.
5. N.S.A. : National Security Agency.
6. Very High Scale Integrated Circuits.
7. Tactical Electronic Warfare System.
8. Joint Army Navy Instrumentation Programme.
9. A. Klopff. The Hedonistic Neuron. Air Force Avionics Lab. May 1979.