

Fusion de données

Fusion de données : exemples Défense et axes de recherche

Data Fusion : Some Examples in Defence Area and Themas for Research

par C. ROUCHOUZE

DRET-STRDT-G1, 26 bd Victor, 00460 ARMEES

Résumé

La fusion de données, réduite à la fusion de capteurs pour certains, est à l'évidence un point intéressant la Défense. Cet article vise à en définir les grandes lignes pour en déduire des axes de recherche. Outre différents thèmes d'application (imagerie spatiale, surveillance,...) et leurs sources d'information (images, radar, bases de données,...) seront abordées ici les grandes directions que devrait suivre la recherche pour tenter de couvrir tout le spectre, très large, de la fusion de données. Seront donc investigués les points durs spécifiques au traitement numérique des données, à l'exploitation symbolique qui peut en être faite, à la définition puis la gestion d'un système à sources multiples, ou aux problèmes posés par la visualisation de données multi sources.

Mots clés : Fusion de données, Recherche, Fusion numérique, Fusion symbolique, Ingénierie, Gestion de système, Ergonomie

Abstract

Data fusion, restricted to sensor fusion for some people, concerns obviously Defence. This paper tries to define the major axes and to infer different themes of research. Beside some applications (space, surveillance, ...) and its sources of data (images, radar, data bases, ..), will be drawn here the main ways that research should follow in order that all the spectrum of data fusion can be covered. Will then be depicted the difficulties related to numerical processing, the symbolic analysis that can be done, the design and management of a multiple sources system, or the problem asked by the visualisation of multi sources data.

Key words : Data fusion, Research, Numerical fusion, Symbolic fusion, System design and management, Ergonomy

1. Introduction et définitions

La fusion de données est un domaine scientifique encore jeune. En effet, même si on peut répertorier quelques travaux plus anciens, la prise de conscience réelle des potentialités de la fusion peut être estimée au milieu des années 80 environ. Comme il s'agissait d'un domaine quasiment vierge, des premiers résultats sont très vite apparus. Devant la diversité et l'étendue des problèmes à résoudre, certains choix pragmatiques ont dû être effectués. La fusion IR - mm a en particulier été privilégiée, d'une part pour des raisons de commodité mais également parce que cela correspond à un besoin crucial pour le militaire : la vision tout temps / toutes conditions que ne peut décentement pas offrir le visible. Dans ce même esprit, les travaux ont initialement porté sur une fusion que l'on peut qualifier de haut niveau, à base d'outils d'intelligence artificielle. Cette fusion envisageait de répondre à un besoin d'information des strates décisionnelles tout en bénéficiant de la dynamique existant autour de l'IA. Toutefois, cette approche a eu comme

effet pervers celui de simplifier le thème, conduisant parfois à un certain flou, si ce n'est des confusions. C'est ainsi, par exemple, que l'amalgame est souvent fait entre fusion de données et fusion de capteurs, en considérant que seuls les capteurs fournissent des données. La distinction entre fusion de capteurs (ou de senseurs) et fusion de données peut, et doit, cependant être faite :

- la fusion de capteurs traite de la combinaison d'informations issues de différents capteurs tels que radar, caméra IR ou visible, mais également laser (télémètre ou imageur), capteur ultra violet, ultrasons, sismique,...
- la fusion de données se veut plus générale, puisque s'intéressant à toute source d'information, qu'elle soit issue de capteurs, comme précédemment, ou de systèmes de navigation (gyromètre, centrale d'attitude,... on parle alors plus volontiers d'hybridation), de bases de données diverses (données cartographiques, documentaires, modèles numériques de terrain, règles de savoir-faire,...) voire d'analyses ou de fusions précédentes.

Poussées à l'extrême, ces simplifications conduisent à des aberrations (réelles) du type :

- l'imagerie couleur est de la fusion puisque traitant conjointement les 3 canaux rouge-vert-bleu,
- le fait de choisir de manière exclusive un capteur visible de jour et infrarouge de nuit relève de la fusion puisqu'il y a combinaison « optimale » des deux sources. Or l'infrarouge fournit des informations pertinentes même de jour!

Ceci traduit en fait une certaine jeunesse du domaine au sein de la communauté scientifique, prise au sens large (universitaire et industrielle). Après analyse, il ressort que la relative absence de bases théoriques solides semble être le point faible de la fusion de données.

Afin de tenter de renforcer quelque peu ce point, cet article propose de définir quelques directions de recherche qui devraient être investiguées. Il est toutefois clair que n'est exprimée ici que la perception qu'en a l'auteur à travers le filtre, déformant, du besoin défense. Il sera ainsi brièvement décrit deux applications particulières, parmi d'autres, où la fusion de données intervient pour en déduire différents axes possibles. L'objectif à terme est de couvrir tout le spectre, très large, de la chaîne complète d'acquisition et de traitement des informations concourant à une meilleure perception du monde environnant.

2. Exemples d'application

Ce point ne prétend en aucun cas décrire de manière exhaustive la totalité des applications exploitant une fusion des données, ne serait-ce que dans un contexte défense. Outre le fait que tel n'est pas l'objectif ici, cela conduirait à une sorte d'inventaire à la Prévert, sans grand intérêt intrinsèque. Il faut de plus garder à l'esprit que ce qui sera succinctement présenté ici n'a d'autre but qu'illustratif et que nombre d'autres situations auraient pu être décrites (détection sous marine, système de commandement, robotique mobile,...). De même, il ne sera pas évoqué ici les différents travaux effectués sur chacun de ces deux exemples pour se limiter à une seule description de la situation ainsi que de l'expression de besoin associée.

2.1. EXPLOITATION DE L'ESPACE

La nature multi spectrale des données spatiales est une évidence comme une analyse, certes rapide, des différentes sources peut le montrer :

- Landsat 7 canaux
- Spot 4 canaux
- ERS 1 canal mais la nature des données varie énormément en fonction du post - traitement effectué, ce qui peut être considéré comme autant de canaux virtuels.

De plus, la seule visualisation sur un écran des différents canaux du satellite Spot fait ressentir intuitivement que certaines données sont quelque peu redondantes mais d'autres complémentaires. Une exploitation des caractéristiques offertes par le spatial devrait pouvoir avantageusement améliorer les résultats. C'est ainsi, par exemple, que la source radar permet de s'affranchir quelque peu d'une couverture nuageuse éventuelle sur un site donné, situation très préjudiciable à une exploitation en visible. De même, une information de type infra rouge renseigne sur le niveau d'activité effectif d'un site (industriel, portuaire,...). Mais le radar a une résolution assez moyenne et l'IR est victime de son inertie thermique... Enfin, de manière idyllique, toutes les sources devraient être exploitées minutieusement pour en extraire le maximum d'informations. L'opérateur humain se trouve alors confronté à deux problèmes :

- * la multiplication des opérateurs de base ne pouvant suivre la progression du volume des données à exploiter, une certaine automatisation des tâches à faible valeur ajoutée est à rechercher afin de garantir un bon niveau de productivité individuelle,

- * l'exploitation nécessaire de données acquises dans des bandes autres que le visible pose des problèmes d'interprétation même relativement grossière (lisibilité d'une image SAR?, d'une image IR3?).

Ceci milite en faveur d'un prétraitement proposant non plus des images brutes à l'opérateur mais des données plus "travaillées", résultats de prétraitement des sources initiales : recalage géoréférencé des images entre elles, ramenées à une résolution identique sans perte d'information, pré - analyse permettant de limiter le travail fin aux images voire aux zones d'intérêt (détection / localisation de changement, d'activité nouvelle, ...).

Tel que présenté ici, l'analyse d'une scène ne repose que sur l'exploitation des images. Si c'est ce que ferait un néophyte, ce n'est pas du tout la manière de procéder d'un photo-interprète professionnel. Celui-ci exploite au contraire toutes sortes de données externes à l'image mais se rapportant à la scène traitée. On peut citer, entre autres :

- * toute documentation écrite relative au site considéré,
- * cartes et plans des lieux,
- * précédentes analyses faites, éventuellement de manière grossière,
- * règles de l'art, du contexte observé : un port se trouve en bord de mer ou de fleuve, se caractérise par ses digues qui ont telle ou telle forme en fonction du tonnage des bateaux attendus, possède des moyens de transfert des marchandises (routes, voies ferrées,...) dimensionnés pour le volume de marchandises prévues,...

Implicitement, l'opérateur combine (ou fusionne) toutes ces données avec celles contenues dans l'image pour renforcer son analyse. Il s'agit d'une tâche délicate nécessitant souvent plusieurs mois de formation spécifique. Mais une fois encore, l'adéquation

entre volume de données et capacités humaines ne pourra rapidement plus être assurée. La nécessité absolue de garantir l'exploitation quasi intégrale de ces données impose l'emploi d'outils d'assistance à l'opérateur.

De surcroît, les informations qui en seront issues ne subiront pas le même traitement suivant l'objectif à atteindre : un opérateur recherchant les changements intervenus entre deux vues d'un même casernement n'aura pas du tout les mêmes préoccupations qu'un chef d'Etat Major réclamant une vue synthétique du théâtre d'opération sur lequel il aura à évoluer. Se pose en fait ici la question du niveau de dissémination des données, ainsi que du degré d'abstraction de l'information qui en sera retirée.

2.2. SURVEILLANCE DU CHAMP DE BATAILLE

En première approximation et du fait de sa latence propre, on peut considérer que le domaine spatial observe des phénomènes à dynamique (très) lente, correspondant à une analyse stratégique de la situation. Pour sa part, la surveillance du champ de bataille, qu'il soit terrestre, aéroterrestre, naval ou aéronaval, relève plutôt du domaine tactique en s'intéressant aux processus à dynamique beaucoup plus rapide. On peut y distinguer plusieurs fonctions de base, à chacune étant associée un ou plusieurs capteurs qui, dans ce cas, devront être combinés :

2.2.1. Veille et détection

Plus la détection est lointaine, plus on aura le temps de réagir. Cette recherche d'allonge milite en faveur de radars à très longue portée (plusieurs centaines de kilomètres), éventuellement couplés à des systèmes d'écoute électromagnétique. Ces moyens étant actifs, et donc détectables, ils peuvent parfois être complétés, sinon remplacés, par des voies passives (IR, vidéo) dont la portée est toutefois bien moindre mais la résolution meilleure.

2.2.2. Classification

La classification (char/jeep/avion/missile) nécessitant une information plus riche, des senseurs de même nature mais oeuvrant à des portées plus courtes (de l'ordre de la dizaine de kilomètres au grand maximum) pourront être utilisés. Le dilemme ici est l'équilibre, à trouver, entre une portée toujours plus grande, synonyme de temps de réaction, et une précision dans les informations recueillies, garante d'une qualité de détection.

2.2.3. Identification

Pour pouvoir identifier une cible (Mirage 2000/Mirage F1), une bonne définition est requise. Ceci conduit à des systèmes à résolution fine et donc courte portée. A l'évidence tous les types de capteurs pourront être utilisés, depuis le radar jusqu'à l'optique, en passant par le thermique, le laser, l'UV, ... Chacun a son intérêt,

lié à sa spécificité : le radar donne le 3D, le visible, la forme, l'infra-rouge, le type et le nombre de moteurs... Mais cette caractéristique étant connue, en particulier en IR, des techniques de leurrage sont vite apparues (paillettes IR par exemple). Le leurrage mono capteur étant à peu près bien maîtrisé par différentes techniques (formes, paillettes, type de vol,...), une capacité d'anti leurrage peut être atteinte par combinaison de plusieurs capteurs : des paillettes IR pourront tromper un capteur IR mais pas/peu un radar.

En fonction de la situation, ces capteurs, qui travailleront ensemble au même objectif, pourront être colocalisés ou non. On peut ainsi en trouver

– au sol, par exemple au pied d'un système de conduite de tir. Se pose alors la question de la fusion des informations issues de capteurs de nature différente (données 3D issues du radar ou d'un télémètre laser, image de température issue d'une caméra thermique) pour assurer le pistage de la cible en vue d'une riposte éventuelle. Dans le cas de cibles multiples (situation de leurrage ou de saturation) apparaît de plus le problème de l'allocation dynamique optimale des ressources capteurs sur des cibles différentes pour permettre, si possible, une bonne analyse de la situation globale et une réplique adaptée.

– aéroportés, ou plus généralement, dans des lieux géographiques différents. Dans ce cas, il est primordial de pouvoir localiser précisément les sites observés mais aussi les lieux de prise de vue, sous peine de non exploitation des résultats. Une donnée est en effet sans intérêt si on ne sait pas d'où elle vient ni d'où elle a été prise. Ceci se traduit par différents points à régler en parallèle :

* combiner ces images avec des informations issues de la centrale de navigation pour garantir une localisation exacte et donc un bon référencement des données,

* combiner le résultat avec une cartographie des lieux pour le situer,

* exploiter une base de données pour repérer un point caractéristique (amer) ou reconnaître la cible potentielle.

Une fois ces mises en correspondance entre données de même « type » (on travaille peu ou prou toujours sur des images, qu'elles soient visible, IR, radar) traitées par chacun des différents porteurs, reste à fusionner les informations délivrées par tous les porteurs, conduisant à une fusion de sources non colocalisées. Cette délocalisation des prises de vues induit une capacité de discrétion plus importante (il est beaucoup plus difficile de détecter tous les noeuds du réseau) mais impose une capacité d'interprétation plus puissante des données, savoir mettre en correspondance des images représentant le même objet mais vu sous des angles différents (un char vu de trois quart arrière n'a que peu de ressemblance avec une vue de dessus...)

Dans tous les cas, outre le traitement local des ces informations, celles-ci devront être transmises aux échelons supérieurs pour agrégation, synthèse, confrontation avec d'autres en vue d'une analyse globale et une éventuelle décision d'action.

3. Axes de recherche à investiguer

Les deux exemples d'application décrits ci dessus ont tenté de faire ressortir de manière indirecte certains points durs auxquels la fusion de données est confrontée. On peut citer la localisation des données, la combinaison de sources hétérogènes - pas uniquement d'origine image -, la gradation dans le degré d'abstraction des traitements,... Sur le plan plus opérationnel, se pose une question beaucoup plus pragmatique mais dont la réponse est loin d'être évidente. La science a toujours su, certes avec plus ou moins de bonheur, répondre aux besoins du militaire. Ce qui a conduit à des systèmes efficaces mais d'un coût devenu prohibitif. Aussi, plutôt que de poursuivre cette course à la sophistication, la fusion est-elle une alternative plus économique à la satisfaction des besoins? Deux capteurs bas de gamme peuvent - ils remplir le même usage qu'un seul, beaucoup plus sophistiqué mais alors fragile et surtout cher? Une réponse claire à cette question impose une bonne maîtrise de la problématique de fusion, et en particulier, une forte réutilisabilité des résultats acquis. Ce qui sous entend une bonne maîtrise de la théorie sous jacente.

A partir des quelques points évoqués ci dessus, il est possible de dégager des axes plus généraux de recherche, qu'elle soit universitaire ou industrielle. De manière globale, l'objectif visé ici est d'investiguer de façon cohérente, et si possible complète, toute la chaîne d'acquisition et de traitements de l'information issue des capteurs et de leur environnement. Pour cela, il est possible de définir 4 grandes familles, décrites plus en détail par la suite :

- * les traitements numériques,
- * l'exploitation symbolique,
- * l'ingénierie et la gestion des systèmes de fusion de données,
- * l'interaction avec l'opérateur.

lesquelles s'appuient de manière orthogonale sur des techniques de base plus traditionnelles : le multi-échelle, l'incertain et/ou flou, l'analyse incrémentale dans le temps comme l'espace ou la précision, les capacités d'évaluation à tous les niveaux,...

3.1. TRAITEMENTS NUMÉRIQUES

Toute information issue d'une source quelconque doit avant tout subir certaines transformations avant d'être exploitable : rehaussement de contraste pour une image, filtrage anti speckle pour un signal radar, débruitage pour un signal gyromètre, mise en forme pour une information issue d'une base de données... Ceci relève du pré-traitement qui est très spécifique du capteur considéré (type de radar, bande IR ...) et concerne peu la fusion à proprement parler. Toutefois, une adaptation de ce prétraitement peut être envisagée en fonction de ceux qui suivront (modification de certaines caractéristiques pour focaliser l'attention ou revenir à une plus grande signification physique par exemple). Par exemple, un prétraitement conduisant à une sur segmentation ou à un

nombre trop important de détection de cibles potentielles est usuellement à proscrire. Cet effet peut toutefois être recherché s'il est exploité judicieusement par les traitements suivants. Cela peut permettre en particulier de limiter le risque de perte d'information par un filtrage initial trop sévère.

De manière globale, tout traitement d'une information quelle qu'elle soit vise à réduire le volume de données brutes pour en faire ressortir la connaissance sémantique qu'elle contient. Ce qui risque de se traduire par une certaine perte d'information, jugée superflue. Il apparaît donc judicieux d'examiner les potentialités d'une fusion au niveau le plus bas afin de conduire, le cas échéant, à une fusion numérique des données, que celles-ci soient homogènes (IR2 + IR3) ou hétérogènes (pixel visible + signal radar, plot laser + données MNT) limitant ainsi les pertes. En particulier, une exploitation des caractéristiques physiques des capteurs ou de la scène observée pourrait s'avérer riche d'enseignements. Il en est de même pour les données "secondaires", délaissées bien que possédant un certain potentiel informatif : le speckle radar ne contient pas que du bruit... Cet aspect est à combiner avec un traitement différencié de chacune des différentes sources (segmentation d'image, extraction de plots ou pistes, construction de cartes d'élévation...) afin d'en permettre une exploitation ultérieure par un niveau supérieur ou inférieur. Il semble en particulier qu'une certaine analyse mono canal pourrait permettre de dégrossir un traitement effectué au niveau pixel, lequel serait orienté en fonction de l'analyse de plus haut niveau faite précédemment. Cette approche conduit à n'appliquer un filtre anti - speckle que sur les zones d'intérêt ensuite fusionnées avec une image, ne combiner les informations que dans les régions où il y a un apport réel (fusion d'une zone nuageuse de Spot avec une donnée SAR brute? Il semblerait plus profitable de se limiter aux zones Spot ayant un contenu informatif pour les combiner avec des données SAR redressées).

De plus, un système multi-source a de fortes chances d'être géographiquement réparti. Aussi, une transmission des données sera inévitable. Les moyens de communication étant limités, des outils de compression devront être définis en exploitant la redondance existant entre les diverses sources d'information et conduire à une transmission optimisée de l'information. Ceci suppose une compression globale de toutes les sources, fusionnées, plus efficace que la juxtaposition des différentes sources d'information comprimées individuellement. Un cas trivial est offert par la transmission d'images couleurs où il est de notoriété publique qu'il y a beaucoup mieux à faire que transmettre séparément les composantes rouge, vert et bleue d'une même scène. Il est possible de gagner un facteur de l'ordre de 30 à 40 % par un pré-traitement adapté (transformations plus ou moins subtiles tel que IHS, exploitation des règles d'équilibre des couleurs...) exploité pour la transmission d'images TV. Cette logique devrait pouvoir s'étendre à tout type de données capteur.

3.2. EXPLOITATION SYMBOLIQUE

Le point précédent a permis de prendre une certaine hauteur par rapport aux données en présence, le plus souvent numériques, pour en extraire un contenu sémantique. Ces informations doivent alors être exploitées de concert afin de combiner et confronter les différents messages qu'elles véhiculent. C'est le domaine privilégié de ce qui est communément appelé Intelligence Artificielle, en fait le traitement symbolique de l'information. C'est également à ce niveau que se fait le plus grand nombre de fusions, les données de base étant souvent par trop hétérogènes pour qu'une fusion de type numérique puisse être envisagée.

Sous ce thème générique d'exploitation symbolique se cachent en fait différents types de traitement en fonction de la focalisation, de l'analyse qui en est faite mais également de l'objectif recherché. En effet, l'exploitation de données à des fins de renseignement n'aura que peu de points communs avec celle axée sur une problématique de surveillance du champ de bataille en vue d'anticiper les comportements ou une programmation d'un site de conduite de tir. Dans le premier cas, des rapprochements fonctionnels seront exploités (« si on a une autoroute à voies très larges et sans terre-plein central ni talus, alors il se pourrait que ce soit en fait une piste d'atterrissage de secours ») proche de la gestion de la cohérence des informations alors que le second s'appuiera sur des concordances factuelles (« s'il y a une concentration de forces de part et d'autre de tel point, il y a de grandes chances qu'un encerclement se prépare ») en vue de déduction, d'explication, voire de contrôle. La troisième situation travaillant pour sa part plus sur les données brutes pour en tirer, par corrélations diverses, le maximum d'informations. Enfin, les tâches de classification / reconnaissance / identification des données (« cette région représente une zone froide et devrait correspondre à ce lac sur la carte ») ou des objets détectés (« ce point chaud en IR devrait correspondre aux échos présents sur l'image radar et semble dessiner tel ou tel véhicule / bâtiment... ») sont également à considérer. De plus, le degré de précision ou de synthèse de l'analyse effectuée dépendra du destinataire final de cette dernière. Il est en particulier hors de question de noyer un Chef d'Etat Major avec toutes les hypothèses de stratégies possibles déduites des données brutes, fournies en annexe, alors qu'un pointeur - tireur appréciera qu'on lui fournisse la liste exhaustive des cibles potentielles, fausses alarmes comprises. Ceci ne conduit donc pas à une seule exploitation sémantique des données mais à plusieurs niveaux d'exploitation, et donc d'analyse de plus en plus synthétique au fur et à mesure que l'on s'éloigne des sources d'information. Cette différenciation entre les destinataires implique donc une différenciation entre les traitements. Sur un plan un peu plus méthodologique, cela pose en fait le problème de la définition de techniques de fusion différentes, en particulier des techniques que l'on peut qualifier d'ajustable, voire incrémentale. Cette notion se pose en terme temporel : un premier résultat de fusion peut être complété ou invalidé par une donnée nouvelle; toutefois reprendre tous les

traitements à partir de zéro semble un peu excessif. Elle se conçoit également dans la profondeur : une première fusion peut être effectuée, rapidement, pour avoir une tendance puis raffinée, sous réserve d'un temps d'analyse plus long. De même devra être pris en compte, de manière différenciée, le taux de confiance à accorder aux différentes données afin de ne pas polluer une information par une autre, dont la crédibilité serait relative dans le contexte considéré.

3.3. INGÉNIERIE ET GESTION D'UN SYSTÈME DE FUSION DE DONNÉES

Telle que décrite précédemment, la fusion de données apparaît comme purement séquentielle, de type "bottom up" selon l'anglicisme souvent employé. Poussé à l'extrême, ceci conduit à vouloir à tout prix associer tout avec n'importe quoi, sans autre but que la fusion. Or, un système de fusion de données a pour mission de combiner de manière judicieuse différentes sources, positionnées en des lieux éventuellement différents, pour en extraire une certaine perception du monde. Cette perception s'effectue toujours dans un but bien particulier : acquisition d'une information pertinente au regard de la mission à effectuer par exemple. Un tel système doit donc être pensé et configuré dans ce sens... Suivant les conditions, cela revient à exploiter toutes les caractéristiques des différents outils (logiciel comme matériel) utilisés pour conduire à un optimum. Ce qui revient en particulier à savoir s'il vaut mieux utiliser un capteur sophistiqué mais cher ou la fusion de deux capteurs frustrés pour assurer une mission donnée. Dans le cas de capteurs multiples, déterminer quel est le meilleur emplacement pour chacun. De même, bien qu'à un degré moindre, spécifier quel algorithme employer pour fusionner au mieux les données fournies par les différents capteurs. Ou apprécier quelles sont les données "annexes" (cartes, MNT, bases de données diverses) primordiales, utiles, superflues pour assurer la mission et quel est leur degré de fiabilité / crédibilité. On touche en fait ici au problème de l'ingénierie d'un système de perception, éventuellement réparti. Il s'agit d'un domaine quasiment vierge à l'heure actuelle. Les seuls travaux pouvant relever de cette problématique semblent être ceux effectués en mécanique dans le cadre de l'ingénierie concourante.

De plus, tel qu'envisagé ici, le système de perception peut s'avérer très complexe. Celui-ci doit toutefois être exploité au mieux de ses capacités en fonction des contraintes du moment et des objectifs recherchés. Ceci concerne aussi bien le type de (combinaison de) source(s) d'information à exploiter (le visible de nuit? pourquoi pas si avec intensificateur de lumière) que les (associations de) traitements à mettre en oeuvre (associer deux spécialistes très pointus sur des domaines étroits valant souvent mieux qu'un seul généraliste sachant « tout » faire). Cette fonction doit gérer les différentes ressources d'un système de fusion : les ressources « dures » (capteurs, bases de données associées,...) mais également les ressources « molles » (formalisme de fusion, algorithme

particulier,...). De surcroît, celle-ci ne peut être envisagée ex nihilo mais doit intégrer l'environnement dans lequel elle se situe. Il faudra ainsi prendre en compte le contexte dans lequel la mission doit s'effectuer (disponibilité, et fiabilité, des cartes de la région à couvrir? type d'information recherchée?), les contraintes propres à la mission (utilisation intensive du radar dans une mission de discrétion maximale? rapidité avec laquelle une première analyse est attendue?) ou au porteur (quelle information thermique lorsque l'avion utilisé n'a pas de capteur IR3?). Tout ceci relève de la gestion dynamique d'un système de fusion, laquelle gestion vient interagir sur tous les autres aspects (y compris elle-même) pour conduire à une situation de type boucle fermée. Cet aspect de boucle fermée au niveau du système, auquel vient s'y adjoindre une autre boucle fermée entre fusion, décision et action, est une fois encore un thème de recherche nouveau où beaucoup reste à définir.

3.4. INTERACTION AVEC L'OPÉRATEUR

Un système de fusion de données peut se concevoir suivant deux philosophies d'emploi particulières :

* intégré à un système autonome, par exemple un autodirecteur multimode. Dans ce cas, la fusion de données évolue en autarcie complète et aucune interaction avec l'utilisateur n'est possible. Ce qui implique que toute l'intelligence soit embarquée à bord. Cela concerne en particulier les différents types de données mais également les capacités de reconfiguration en cas de problème.

* dans un système où intervient un opérateur, par exemple une station d'exploitation. Se pose alors le problème de l'interaction entre cet opérateur et les nombreuses données qu'il doit traiter : comment lui présenter, sur un écran ne possédant que trois modalités distinctes (rouge, vert, bleu) les informations issues d'une caméra thermique, un radar, une centrale inertielle, une image satellitaire, un MNT et une bibliographie complète de la zone considérée? L'expérience montre qu'au-delà de quatre sources d'informations, l'être humain n'est plus à même d'intégrer et fusionner toutes ces données de manière efficace. Il s'agit toutefois d'une situation à laquelle une solution devra être trouvée car, dans le cas contraire, une exploitation effective de systèmes à données multiples sera au minimum très sous optimale si ce n'est tout simplement impossible.

Si les trois paragraphes précédents (Traitements numériques, Exploitation symbolique, Ingénierie et gestion) relevaient de sciences de type « ingénieur », ce dernier point relève plutôt de l'ergonomie des systèmes. Et force est de constater que ce dernier point est souvent maltraité, voire occulté, lors de la

conception globale de systèmes complexes. Il s'agit pourtant d'un point qui deviendra essentiel si l'on veut que l'opérateur soit à même d'exploiter au mieux son système. Ceci implique que des solutions alternatives aux traditionnelles approches empiriques soient trouvées, si possible en coordination entre « la science » et « l'ergonomie ».

4. Conclusion

Cet article avait pour objectif de définir quelques lignes directrices potentielles pour la recherche en fusion de données. Pour cela, il a été succinctement décrit deux types d'applications intéressantes la Défense afin d'illustrer certains points et les situer dans leur contexte. Ceci a permis d'en déduire quatre grandes familles de travaux à mener, chacune devant interagir avec les autres. Plutôt que le découpage traditionnel en trois strates plus ou moins étanches (fusion bas/moyen/haut niveau), il est préféré une structuration à deux niveaux de traitement (numérique ou symbolique), lesquels sont rebouclés par une gestion de l'ensemble et interfacés avec un utilisateur. Si certains points sont déjà (bien) abordés par la communauté scientifique, d'autres sont par contre totalement vierges et mériteraient que la communauté s'y intéresse car de nombreux points durs subsistent, que ce soit en traitement du signal, traitement d'images, automatique, pistage, intelligence artificielle, analyse de données, conception de systèmes, ergonomie,... De même, une certaine uniformisation du discours serait souhaitable afin que chacun se retrouve dans les mots de son voisin. Ce qui implique un effort de clarification du vocabulaire employé, pouvant se concrétiser sous la forme d'un glossaire commun.

Article reçu le 18 mai 1994.

L'AUTEUR

C. ROUCHOUZE



De formation universitaire ayant conduit à un DESS en informatique et sciences de l'ingénieur (actuellement reconnu comme diplôme d'école d'ingénieur), doublé d'un Magistère en Automatique et Robotique (1986). Après 4 ans comme adjoint de la Division «Automatique-Robotique» de la DRET, est actuellement chef de la division «Systèmes Perceptuels» à la DRET, division ayant en charge la définition de recherches à moyen/long terme pour les besoins

Défense dans trois domaines privilégiés : Traitement d'images, Fusion de données, Interaction vocale.