

# Problèmes en fusion amont pour la détection de sources ponctuelles

## Problems Related to Upstream Data Fusion in Pointwise Source Detection

par André AYOUN, Michel PRENAT

Thomson-CSF Applications radar  
Centre de Compétences de Fusion Multisenseur  
6, rue Nieupoit, BP 86 78143 Vélizy-Villacoublay Cedex, France

### *résumé et mots clés*

Il est communément admis que la fusion amont, c'est-à-dire des signaux, doit donner de meilleurs résultats que la fusion aval. Cette proposition est correcte en théorie puisque chaque étage de traitement peut faire perdre de l'information utile. En pratique, le résultat obtenu sans précaution peut être de plus mauvaise qualité que celui que l'on pourrait obtenir facilement par une fusion aval.

Ce problème se pose dans le domaine de la détection de cibles a) ponctuelles, b) résolues (i.e. étendues sur plusieurs cellules de résolution). On montre qu'il est important de prendre en compte le contexte spatial si l'on dispose de modèles des fonctions de transfert des capteurs et/ou des corrélations entre les signaux. Le cas a) est abordé comme un problème de déconvolution conditionnelle à des hypothèses d'association. On le rencontre dans différentes applications, par exemple, en détection d'aéronefs à longue distance par un radar et une vieille infrarouge. Le cas b) relève plutôt de la segmentation d'images multisources et n'est pas traité ici. Enfin, les aspects dynamiques sont mentionnés et en particulier les approches de *poursuite avant détection*.

Ces questions soulevées par un groupe de travail du Collège Scientifique et Technique de Thomson-CSF, nous ont paru suffisamment fondamentales pour être rapportées ici.

Détection, fusion, déconvolution.

### *abstract and key words*

It is a commonly accepted idea that upstream data fusion, i.e. at signal level, is more performant than downstream fusion, i.e. at decision level. This statement is correct in theory : any information loss in the first decision stages decreases the potential performance level. Practically, upstream data fusion may be difficult and the resulting quality may be worse than in the case of a simpler downstream data fusion scheme.

The problem is addressed in the domains of a) pointwise target detection, b) extended target detection. It is shown that spatial context must be taken into account, through the use of transfer functions and noise sensor models and of signal correlation models. Case a) is approached as a conditional deconvolution problem. For example, it is encountered in remote airplane detection, using a multisensor suite composed of a radar and an Infrared Search and Track sensor (IRST). case b) is relevant of multisource image segmentation and is not dealt here. At last, dynamic aspects are mentioned and especially multisensor *track-before-detect* approaches.

These questions, raised by a working group of the Scientific and Technical College of Thomson-CSF, appeared to be of sufficient fundamental interest to be quoted here.

Detection, Sensor Fusion, Deconvolution

# 1. Introduction

## 1.1. motivation

Dans la plupart des problèmes de détection, en particulier dans les applications de défense, une grande portée de détection est souhaitée. Or à grande distance, les cibles sont de faible diamètre apparent, bien inférieur à la cellule de résolution des instruments (d'où l'appellation; de cibles ponctuelles). En même temps, le signal reçu est faible et les rapports signal/bruit et signal/fond sont faibles. Ces conditions limitent fortement la détection monosenseur.

L'utilisation de systèmes multisenseurs est une solution attractive.

La fusion des détections -ou fusion aval- consiste à utiliser une logique de combinaison des détections élémentaires faites par chaque senseur pour décider de la présence ou l'absence d'une alarme. Cette logique peut être un ET, un OU, ou une décision pondérée par les *qualités* des détections. L'augmentation de portée résulte du gain en Probabilité de Détection (Pd) à Taux de Fausses Alarmes (TFA) donné. Un tel gain n'est possible que si les fausses alarmes des deux senseurs sont bien *décorrélées*. L'intérêt majeur de la fusion aval est de conserver les senseurs existants et de simplifier leurs interfaces avec le centre de décision.

L'accroissement des capacités de calculs offertes par les moyens actuels permet d'envisager plus facilement la fusion amont, c'est-à-dire des signaux, dont on peut attendre un gain en performances. Néanmoins, la fusion amont présente des difficultés qui peuvent compromettre cette approche :

- alignement des signaux : une mise en correspondance précise (meilleure que la cellule de résolution élémentaire) est nécessaire pour générer un signal composite (ou vectoriel). En effet, un alignement imprécis peut conduire en fusion amont à des détections dédoublées alors qu'en fusion aval seul se pose le problème de l'association des détections.
- qualité des modèles : de mauvais modèles, ou une prise en compte insuffisante de bons modèles peuvent conduire à des performances moins bonnes en fusion amont qu'en fusion aval.

Comme la fusion amont nécessite une refonte des traitements des senseurs, (voire une « ouverture » des senseurs pour délivrer des signaux bruts à un processeur de fusion plus conséquent), l'enjeu est important. L'objet de cette communication est de montrer que la fusion amont doit être effectuée avec de bons modèles et demande des traitements complexes (en particulier spatiaux) faute de quoi il serait faux de conclure que « la fusion amont est meilleure que la fusion aval ». Cette discussion ouvre des pistes de recherche qui devraient intéresser la communauté du traitement du signal et des images.

On présente ici une approche théorique simplifiée, en introduisant progressivement des hypothèses qui rendent le problème plus réaliste.

## 1.2. gain potentiel apporté par la fusion amont

De façon évidente, la prise de décision sur les signaux bruts - fusion amont- doit se traduire par un gain en performances par rapport à une fusion aval, dans laquelle de l'information est perdue lors des étapes de traitement sur les senseurs séparés. Dans le cas de la détection, ce gain s'exprime par une amélioration de la courbe « COR » (Caractéristique Opérationnelle de Réception) : en particulier, on améliore la Probabilité de Détection à Taux de Fausses Alarmes donné.

Pour illustrer ce gain, considérons tout d'abord le cas d'un couple de senseurs observant un objet unique dans des directions orthogonales. Cet exemple représente de façon très simplifiée la combinaison d'un signal infrarouge  $s_1$  selon une dimension angulaire  $x$  et d'un signal radar  $s_2$  selon une dimension radiale  $y$ . La détection est la décision de choix entre deux hypothèses :  $H_0$  : absence d'objet et  $H_1$  : présence de l'objet.

En pratique, le domaine d'observation est discrétisé par chaque capteur en cellules de résolution. On dispose donc de cellules de résolution dans l'espace produit, intersections des cellules des capteurs. Une approche naturelle consiste à prendre une décision sur chaque cellule de résolution indépendamment des autres (et en particulier des voisines).

Comparons les courbes COR (caractéristiques opérationnelles de réception) calculées pour les différentes logiques de décision :

- fusion aval par OU et par ET (fusion de décisions),
- fusion amont = seuillage du rapport de vraisemblance.

La performance en fusion aval se calcule simplement à partir de la connaissance de  $Pd$  et  $Pfa$  de chaque senseur :

- ET :  $Pd = Pd_1 \cdot Pd_2$  et  $Pfa = Pfa_1 \cdot Pfa_2$   
(cas de fausses alarmes indépendantes),
- OU :  $Pd = Pd_1 + Pd_2 - Pd_1 \cdot Pd_2$  et  
 $Pfa = Pfa_1 + Pfa_2 - Pfa_1 \cdot Pfa_2$

Pour calculer la performance en fusion amont, il faut calculer le rapport de vraisemblance. Dans le cas particulier de bruits gaussiens indépendants, seuiller le rapport de vraisemblance revient à seuiller une combinaison linéaire des signaux (figure 1).

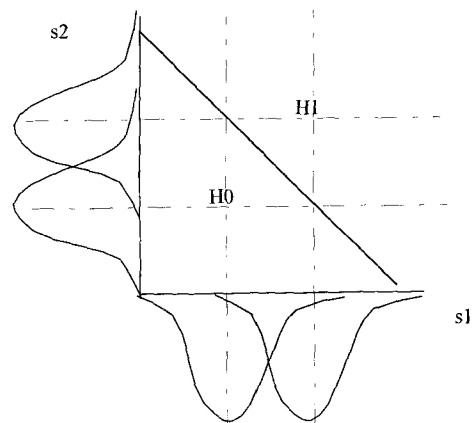


Figure 1. -  $p(s_1, s_2|H_0)$  et  $P(s_1, s_2|H_1)$ . Les courbes d'iso-rapport de vraisemblance sont  $s_1+s_2=k$  on a représenté ici celle correspondant à  $R(s_1, s_2) = 1$ .

Il suffit en effet d'écrire les densités de probabilité des variables conjointes  $s_1$  et  $s_2$  conditionnellement aux hypothèses  $H_0$  et  $H_1$ . Sans perte de généralité, on peut remettre les signaux à la même échelle de sorte que les variances soient égales à 1; les rapports signal / bruit sont alors les moyennes et  $\mu_1$  et  $\mu_2$  et le rapport de vraisemblance peut s'écrire :

$$R(s_1, s_2) = \frac{p(s_1, s_2|H_1)}{p(s_1, s_2|H_0)} = \exp \left[ -\mu_1 \cdot s_1 - \mu_2 \cdot s_2 + \frac{\mu_1^2 + \mu_2^2}{2} \right]$$

Seuiller le rapport de vraisemblance équivaut alors à seuiller la combinaison linéaire des signaux  $\mu_1 \cdot s_1 + \mu_2 \cdot s_2$ . Dans le cas de bruits non gaussiens, le test optimal n'est pas linéaire ([11]).

On a tracé figure 2 ces courbes COR, calculées dans l'hypothèse de rapports signal/bruit identiques de 3. Il apparaît que la décision sur seuillage du rapport de vraisemblance est uniformément meilleure, tandis que les fusions aval par ET et par OU, tout en étant meilleures qu'une décision monosenseur, ont des domaines de supériorité différents.

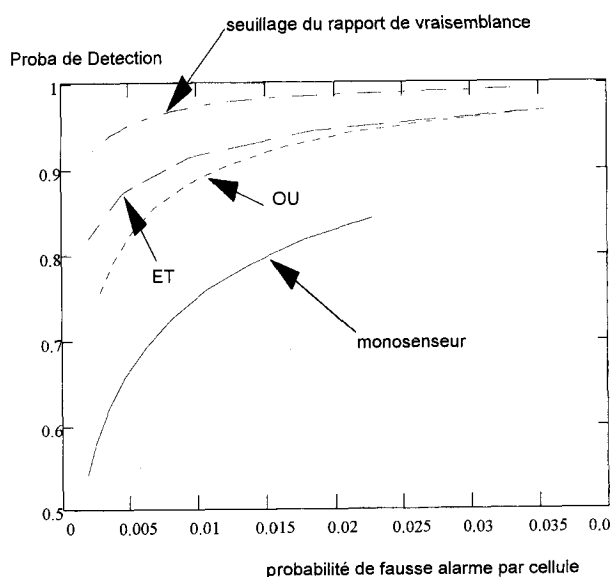


Figure 2. – Performances de fusion (bruits indépendants, senseurs identiques,  $S/B = 3$ ).

### 1.3. un problème : la dilution spatiale du signal

Le problème de la « dilution spatiale du signal » est d'abord présenté du point de vue de l'ingénieur. Reprenons l'exemple de la détection de cibles à partir d'un radar, précis en distance et très imprécis en angle, et d'un capteur optronique très précis angulairement mais qui ne mesure pas la distance. Si la réponse impulsionnelle (à une cible ponctuelle) de chaque capteur est étalée en une dimension, la réponse du signal composite dans l'espace produit est étalée dans toutes les dimensions. De ce fait une décision prise séparément sur chaque cellule de résolution peut entraîner des résultats catastrophiques en nombre de fausses alarmes.

Soit  $s_1(x)$  le signal délivré par le senseur optronique, qui mesure une intensité InfraRouge; la dimension  $x$  représente ici un angle. De la même façon, le senseur radar délivre un signal  $s_2(y)$ , où le niveau du signal représente l'amplitude de l'écho radar et la dimension  $y$  la distance. Les deux senseurs sont caractérisés par leurs réponses impulsionnelles plus ou moins étalées dans l'espace d'observation ( $h_1(x)$  pour l'un et  $h_2(y)$  pour l'autre). En présence de  $K$  sources ponctuelles situées en  $x_k$ , le signal résultant (sur le premier capteur) est :

$$s_1(x) = \sum_{k=1}^K h_1(x - x_k) + \text{bruit } w_1(x)$$

La question est alors de savoir combien il y a de sources et leurs positions précises dans l'espace  $x - y$ .

Considérons tout d'abord le cas où la réponse de chaque capteur est une impulsion. Les cellules de résolution  $(x, y)$  de l'espace produit sont de trois types (fig. 3.a) :

- a) présence de cible en  $(x, y)$ ,
- b) absence de cible sur les projections  $x$  et  $y$ ,
- c) présence de cible sur la projection  $x$  ou  $y$  mais absence en  $(x, y)$ .

L'utilisation des courbes COR précédentes sur chaque cellule de résolution n'est pertinente que dans les cas a) et b). La présence de cellules de type c) affecte la statistique COR : il apparaît un étalement du signal dans l'espace produit.

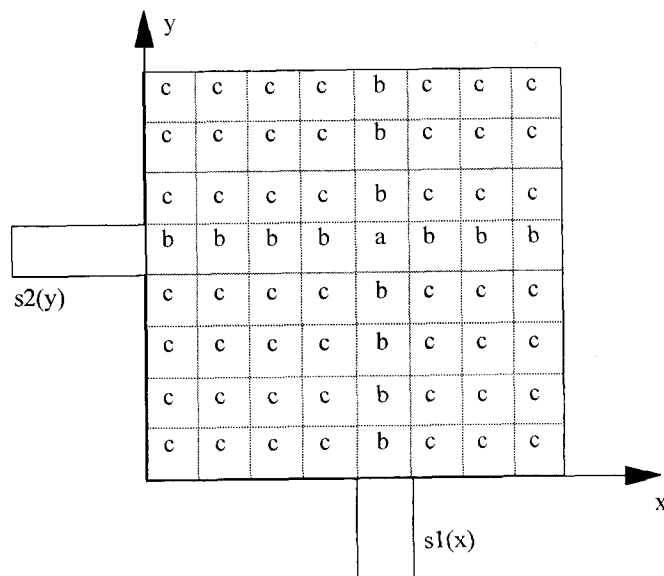


Figure 3a. – Dilution spatiale du signal en monocible.

Dans le cas plus général où la réponse à une impulsion s'étale sur plusieurs cellules de résolution, l'ensemble des cellules de type c) est plus important et les courbes COR précédemment calculées doivent être utilisées avec précaution. Ce cas est représenté sur la figure 3.b : le niveau de gris en  $x, y$  est la combinaison linéaire  $s_1(x) + s_2(y)$  que l'on pourrait assimiler au rapport de vraisemblance si les caractéristiques des senseurs et des signaux étaient identiques. Le plus souvent, on ne connaît pas le niveau

de signal  $m$  en présence de cible. On voit ici que si l'on effectue un simple seuillage, on peut obtenir des détections erronées à l'intérieur des « lobes » créés au voisinage de vraies cibles. Il en résulte un accroissement du taux de fausses alarmes non mis en évidence par les modèles précédents. Cela montre que l'on doit impérativement dans ce cas tenir compte du voisinage, c'est-à-dire effectuer un traitement spatial du signal, en l'occurrence une déconvolution.

La déconvolution nécessite un modèle de bruit et un modèle de la fonction de transfert du signal. Il est possible d'injecter de l'information supplémentaire, par exemple un modèle de distribution spatiale de sources. Ainsi, on peut supposer une distribution Poissonnienne des sources et éviter des détections trop rapprochées spatialement peu vraisemblables.

En pratique cela peut conduire à générer des hypothèses, en nombre discret. En détection aval, ces hypothèses sont générées naturellement en associant les détections élémentaires de chaque senseur. Le choix des meilleures associations doit conduire à éliminer les « fantômes ». En détection amont, on peut de la même façon effectuer des déconvolutions conditionnelles à des hypothèses d'association. Cette notion de déconvolution conditionnelle semble un sujet de recherche ouvert.

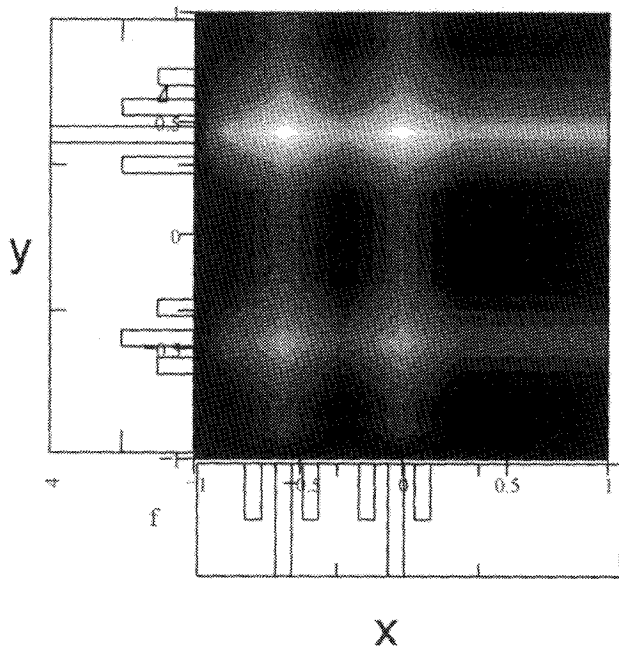


Figure 3b. – Fusion de signaux (sommation).

## 2. cadres de raisonnement

### 2.1. cas de complexité croissante

Dans ce qui suit, nous raisonnons sur quelques cas de complexité croissante :

1. cas monocible (une seule source ponctuelle).
2. cibles multiples, senseurs parfaits (sans bruit, réponse impulsionnelle Dirac). Les niveaux de signal de chaque cible sont indépendants.
3. Idem mais les réponses des senseurs sont corrélées (par exemple, si sur la cible A le senseur 1 a un niveau de signal élevé, il est de même du senseur 2).
4. Idem avec bruits de mesures indépendants sur les senseurs.
5. Comme en 3 mais avec des réponses impulsionnelles étalées.
6. Idem avec bruit additif.

### 2.2. cas continu, cas discret

Avant d'entrer plus avant dans l'analyse des différents cas, rappelons quelques relations entre les cas continu et discret.

#### Résolution

La terme de « résolution » est employé avec différentes acceptions. Dans le cas continu, deux cibles sont « résolues » si elle sont suffisamment espacées pour être distinguées : cet espacement définit la résolution. Du fait de l'étalement de la réponse impulsionnelle, un espacement minimal est nécessaire, selon le niveau de bruit.

Dans le cas discret, on confond souvent cette résolution avec le pas de discrétisation (on parle de cellule de résolution). En général, on discrétise le signal en respectant la règle de Shannon interprétée : la règle de Shannon stipule que le spectre du signal ne doit contenir aucune énergie au-delà de  $f_e/2$ , en pratique, on exige simplement que le niveau de signal soit faible par rapport à celui du bruit aux fréquences correspondantes.

En ce qui concerne le taux de fausses alarmes, dans le cas discret, si l'on passe d'un signal à 1 dimension à une détection en 2D, il peut être multiplié par le nombre de cellules de résolution de la deuxième dimension.

#### Modèles de distribution des sources

La connaissance d'informations *a priori* est favorable à une bonne déconvolution. Dans le cas de sources ponctuelles, on peut éventuellement disposer d'un modèle de distribution spatiale, temporelle et d'intensités. Ainsi, dans le cas continu, la distribution spatiale peut par exemple être une distribution de Poisson, qui modélise bien l'espacement entre deux sources.

Dans le cas discret, le processus de Poisson peut être remplacé par une loi de Bernoulli, en modélisant indépendamment pour chaque cellule de résolution la probabilité de présence d'une cible. Il s'agit alors de remplir une « grille d'occupation » ([2]) qui respecte les distributions modèles.

#### Règle de Bayes

La règle de Bayes se déduit directement de la définition de la probabilité conditionnelle. Matthies and Elfes ([2]) utilisent la règle de Bayes pour estimer l'état des cellules d'une grille d'occupation à partir d'un ensemble de mesures  $\{m_r\}$ . A chaque

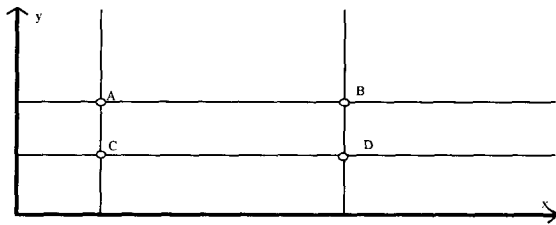


Figure 4. – Association ambiguïtés.

mesure  $m$ , la Probabilité d'Occupation de la cellule  $C_i$  est remise à jour selon :

$$P[s(C_i) = OCC|m] = \frac{p[m/s(C_i) = OCC] \cdot P[s(C_i) = OCC]}{\sum_{s(C_i)} p[m/s(C_i)] \cdot P[s(C_i)]}$$

Notons que la densité conditionnelle  $p[m/s(C_i) = OCC]$  est la loi conjointe des mesures en toutes les cellules de résolution. Elle peut être établie si la fonction de transfert du senseur est connue et si le bruit du senseur est blanc et gaussien.

Bien que la règle de Bayes soit à la base de nombreux algorithmes de restauration (voir Demoment [3]), la manipulation des lois conjointes est souvent délicate. Il est plus aisé d'attribuer à chaque cellule un état estimé - par exemple par un Maximum A Posteriori (MAP)- et donc de perdre une grande partie de l'information contenue dans la densité de probabilité.

Dans ce qui suit, on aborde des cas de complexité croissante depuis le cas d'une seule source observée par des senseurs parfaits, jusqu'au cas multisource.

### 3. cas monosource

Le cas monosource a été décrit au § 1.2 pour introduire la notion de dilution du signal spatial. On considère comme fausse alarme toute détection dans une cellule de résolution de l'espace produit où il n'y a pas de cible. Cela entraîne en particulier la possibilité de fausses alarmes dans les cellules de type c).

Sachant qu'il y a au plus une source, on déduit que la localisation la plus probable de la cible est sur la cellule  $x, y$  telle que  $s_1(x)$  et  $s_2(y)$  soient maximaux. En cette position, la détection par fusion amont se fait par seuillage du rapport de vraisemblance. En fusion aval, on aurait à résoudre le problème de l'association des détections dont beaucoup pourraient être dues à des fausses alarmes.

Les calculs de performances  $P_d - P_{fa}$  doivent tenir compte de l'information « présence d'une cible au plus » exploitée dans le schéma de traitement indiqué. Néanmoins, l'approximation par les courbes COR précédentes reste valable si les réponses impulsives sont peu étalées.

## 4. cas multisource

### 4.1. senseurs parfaits

*Sans bruit, réponse impulsionnelle Dirac*

Par senseur parfait, nous entendons un senseur dont la réponse impulsionnelle n'est pas étalée (étalement inférieur à la cellule de résolution) et sans bruit.

Dans le cas de senseurs décorrelés - du fait par exemple de l'utilisation de principes physiques différents- les réponses des senseurs sont décorrelées et non nulles uniquement dans les cellules de résolution où il y a une cible. Le problème de l'association est ici assez semblable que l'on l'aborde avant ou après détection. Si le nombre et la distribution des cibles ne sont pas connus, on peut prendre des décisions indépendantes sur les différentes cellules de résolution, par exemple par seuillage du rapport de vraisemblance.

*Réponse Dirac, sorties corrélées*

Le cas où les sorties des senseurs sont corrélées peut se produire, par exemple, quand les principes physiques sont proches : ainsi si le niveau de signal est élevé sur un senseur, il l'est sur l'autre. On peut représenter cette liaison entre réponses par la densité conjointe des niveaux de signal (conditionnellement à l'hypothèse  $H_1$ )  $p(s_1, s_2)$ .

Dans le cas de corrélation « totale », il existe une relation déterministe entre les niveaux de sortie des signaux. Cela peut par exemple se produire lorsqu'on utilise deux senseurs identiques mais en des positions différentes (stéréo). Cette corrélation peut être utilisée dans l'association : deux valeurs élevées sont supposées provenir de la même cible (fig.5).

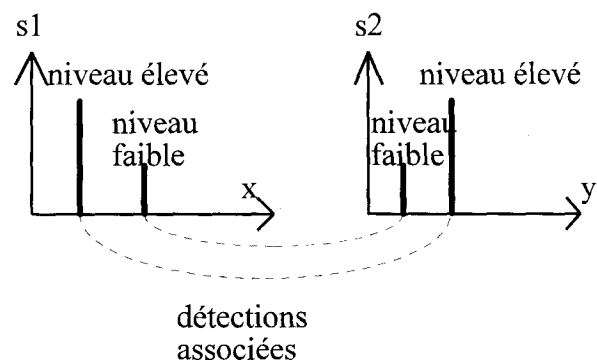


Figure 5. – Association de signaux corrélés.

Le plus souvent, il n'existe pas de fonction unique  $s_2(s_1)$ .

Le niveau de signal dépend d'un ensemble  $a$  de paramètres dépendant de la cible et des conditions d'observation. Comme la configuration de la cible n'est en général pas connue (distance, orientation,...), la relation entre les signaux n'est pas parfaitement prédictible. Cependant, l'ordre peut être utilisé dans le processus d'association. Si l'on sait exprimer la loi conjointe des signaux, on peut alors calculer la vraisemblance de chaque hypothèse d'association et l'utiliser pour la prise de décision.

## 4.2. senseurs imparfaits

### Sorties corrélées et bruitées

Toujours dans le cas de réponses impulsionnelles non étalées, la présence de bruit peut dans certaines cellules créer un niveau de signal élevé. Il n'est pas en général possible d'évaluer toutes les hypothèses d'association. On peut cependant évaluer un petit nombre d'hypothèses d'association, en utilisant une prédétection fondée par exemple sur un seuillage du rapport de vraisemblance tenant compte de la distribution du bruit. Notons qu'il ne faut pas exclure les hypothèses où un signal est détecté sur un senseur et pas sur l'autre, par exemple en cas de masquage.

### Sorties non bruitées, réponse étalée

Dans ce cas, deux cibles peuvent être mélangées. Cependant l'absence de bruit permet une restauration parfaite (filtre inverse). En pratique, une telle restauration parfaite n'est pas réaliste : le filtre inverse n'est pas stable l'on ne peut négliger ne fût-ce que le bruit de quantification. Néanmoins, pour la clarification de l'exposé, on peut considérer que l'absence de bruit équivaut au cas de senseurs parfaits.

### Réponse étalée avec bruit

C'est le cas le plus général. En pratique, on effectue une succession d'opérations de déconvolution, prédétection, création d'hypothèses d'association, évaluation et décision. Cette suite d'opérations n'est pas optimale : il est possible d'effectuer en même temps la déconvolution et l'association au moyen de déconvolutions conditionnelles. Pour illustrer cette idée, considérons le cas d'un radar dont la réponse impulsionnelle est étroite en distance et étalée en angle, et d'un senseur optronique dont la réponse est très précise angulairement mais sans discrimination en distance. En présence de deux cibles, le signal radar est élevé dans certaines

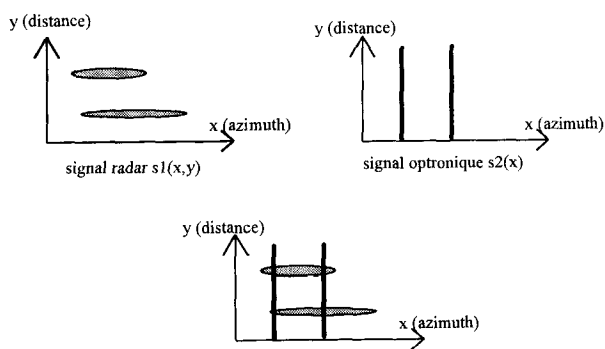


Figure 6. – Radar imparfait, senseur optronique parfait.

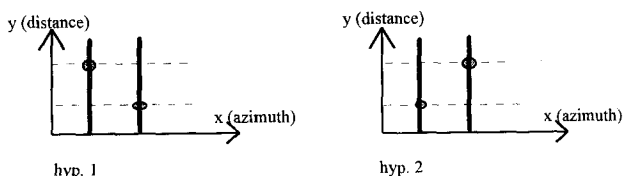


Figure 7. – Déconvolutions conditionnelles.

zones du domaine  $x - y$  (angle-distance). Après association des détections, on peut effectuer une « déconvolution conditionnelle » dont il conviendrait de définir la signification précise et la mise en œuvre.

La déconvolution permet d'estimer une fonction binaire  $f(x, y)$  (à valeur 1 quand une cible est présente dans la cellule de résolution  $(x, y)$ ). Les signaux mesurés étant respectivement sur chaque senseur :

$$s_1(x, y) = h_1(x, y) * f(x, y) + w_1$$

et

$$s_2(x, y) = h_2(x, y) * f(x, y) + w_2$$

où  $h_1(x, y)$  est principalement une fonction de  $y$  et  $h_2(x, y)$  de  $x$ . De même, le bruit  $w_1$  est principalement fonction de  $y$ . Plus généralement, il y a lieu de bien modéliser les corrélations spatiales des bruits de mesure. La déconvolution séparée sur chaque canal serait possible si l'on néglige la connaissance sur la distribution des cibles. En pratique, on peut utiliser des techniques de déconvolution itérative ou de relaxation qui convergent vers une solution possible. Il est préférable d'utiliser autant que possible la distribution conjointe des valeurs du tableau  $f(x, y)$ . De façon simplifiée, cela conduit aux « déconvolutions conditionnelles » à différentes hypothèses probabilisées. Mais la charge de calcul correspondante peut être élevée.

## 5. aspects dynamiques

La cohérence temporelle doit jouer un rôle majeur dans la détection. En effet, la décision de détection (émission d'une alarme) peut être prise après un certain temps d'observation de façon à accumuler suffisamment d'informations. Là encore, on peut comparer les différents schémas de fusion :

- fusion aval : chaque capteur effectue son propre pistage. L'association d'une suite de détections élémentaires (prédétections = plots) permet de constituer une piste tentative. La comparaison de pistes tentatives issues des différents capteurs permet de prendre la décision  $H_1/H_0$ . La fusion des pistes permet alors d'affiner l'estimation de position de l'objet au cours de sa trajectoire.
- fusion de plots : les plots issus des différents capteurs sont associés entre eux ou aux pistes (créées ou tentatives). Différentes techniques de pistage multisenseur existent (Bar-Shalom [7]). La décision  $H_1$  est prise sur un critère de vraisemblance de piste. On peut donc comparer des courbes COR. Mais il est important de noter que la complexité combinatoire croît très vite lorsque l'on baisse les seuils de détection ([10]). Les approches par Pistage Multi-Hypothèse prennent tout leur intérêt dans le contexte multicible et plus particulièrement dans les situations confuses (fonds complexes, cibles proches et manœuvrantes,...)
- fusion amont : il s'agit des méthodes d'intégration des signaux avant détection. Cela nécessite d'estimer en même temps la trajectoire élémentaire d'où le terme de pistage-avant-détection. Le pistage-avant-détection devient particulièrement délicat mais intéressant en multisenseur. Deux types de techniques

existent : les premières élaborent différentes hypothèses de trajectoire selon lesquelles on intègre les signaux, les secondes estiment une densité de probabilité ([8],[9]) pour un continuum d'hypothèses de mouvement.

La prise en compte du temps dans les problèmes de détection a permis dans beaucoup d'applications d'améliorer les performances mais l'on dispose de peu d'évaluations quantitatives du gain permis par la fusion et encore moins par fusion amont. Les techniques de pistage-avant-détection en multisenseur nous paraissent donc être un thème important de recherche.

## 6. conclusion

Nous avons soulevé ici quelques difficultés liées à la fusion en détection au niveau du signal. Il apparaît que la fusion amont n'est avantageuse qu'à condition d'utiliser un modèle correct des capteurs, autant en ce qui concerne les bruits que les niveaux de signal et surtout les corrélations entre les signaux. Des pistes de recherche sont indiquées. L'analyse a été conduite sur l'exemple théorique de deux 2 capteurs observant dans des dimensions orthogonales. Le problème peut se généraliser à  $N$  capteurs en  $n$  dimensions.

L'aspect temporel a été évoqué : La cohérence temporelle doit jouer un rôle majeur dans la détection et le problème du « pistage-avant-détection » devient particulièrement délicat mais intéressant en multisenseur.

L'idée générale de la fusion amont doit être de conserver l'information disponible au niveau du signal aussi longtemps que nécessaire pour effectuer une décision fiable. Au contraire, la fusion aval peut faire apparaître de nombreuses fausses alarmes qui, si elles sont indépendantes peuvent être éliminées au prix d'une complexité combinatoire. Quantifier les avantages respectifs des deux méthodes est un enjeu important aussi bien théorique que pratique puisqu'il conditionne l'architecture des systèmes multisenseurs.

## 7. remerciements

Cette présentation résume les réflexions d'un groupe de travail du Collège Scientifique et Technique de THOMSON-CSF, dont l'objectif est d'appréhender les avantages et inconvénients de la fusion amont (Barbaresco, Bienvenu, Billon, Grandin, Guyvarch, Lemer, Paulet).

### BIBLIOGRAPHIE

[1] H.L. Van Trees. *Detection, Estimation and Modulation theory*, Part I, John Wiley and Sons, 1968.

- [2] Larry Matthies, Alberto Elfes. *Probabilistic Estimation Mechanisms and Tessellated Representations for Sensor Fusion*. SPIE Vol 1003 Sensor Fusion : Spatial Reasoning and Scene Interpretation, 1988.
- [3] G. Demoment. *Image reconstruction and Restoration : Overview of Common Estimation Structures and Problems*. IEEE Transactions on Acoustic Speech and Signal Processing. Vol 37, n° 12, Dec. 1989
- [4] Brain C. Tom, Aggelos K. Katsaggelos. *Multichannel Image Identification and Restoration using the Expectation Maximisation Algorithm*. SPIE Vol 2298, 1994
- [5] P.J. Sementilli, B.R. Hunt and M.S. Nadar. *Analysis of the limit to superresolution in incoherent imaging*. Journal of the Optical Society of America, Vol 10, N°11, Nov 1993.
- [6] Dr. Rama Chellapa, Anil Jain Ed. *Markov Random Fields, Theory and Applications*. Academic Press, 1993
- [7] Y. Bar Shalom, X.R. Li. *Multitarget multisensor tracking : principles and techniques*, YBS Publishing, 1995
- [8] Ziad S. Haddad, Santiago R. Simanca. *Filtering Image Records Using Wavelets and the Zakai Equation*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol 17, n° 11, nov. 1995
- [9] P. del Moral, J.-C. Noyer, G. Rigal, G. Salut. *Résolution particulière : traitement non-linéaire du signal : applications Radar/Sonar*, Traitement du Signal 1995 - volume 12 - n°4
- [10] I. Kadar, S.C.A. Thomopoulos, J. Llinas, M. Alford, M. Liggins. *Predetection fusion for enhanced surveillance*. Proc. International Symposium on substance identification technologies. SPIE Vol 2093, Innsbruck, Austria, oct 4-8, 1993
- [11] Carole Nahum, Hubert Cantalloube, *Improvement of detection rates via data association 1994 SPIE Symposium : guidance and navigation conference*, Orlando, FL (USA) 5-8 avril 1994

Manuscrit reçu le 12 juin 1996

### LES AUTEURS

Michel PRENAT



Michel Prenat, né en 1949 est Directeur du Centre de Compétences de Fusion MultiSenseurs de THOMSON-CSF. Depuis plus de 20 ans dans le groupe THOMSON-CSF, il y a exercé de nombreuses activités en traitement de signal et occupé plusieurs postes de responsabilité. Il a développé de nombreux systèmes multisenseurs, en particulier pour des autodirecteurs de Missiles. Il est également responsable du groupe Fusion du Collège Scientifique et Technique de THOMSON-CSF.

André AYOUN



André Ayoun, né en 1952, est, au sein du Centre de Compétences de Fusion MultiSenseurs de THOMSON-CSF, en charges d'études de fusion. Après avoir développé différents algorithmes de traitement d'images, il s'intéresse maintenant aux techniques de fusion susceptibles d'apporter des gains majeurs aux applications opérationnelles du groupe.