

# DIAMS : Détection et Imagerie radar A travers les Murs et traitement de l'information – Conception du Radar et de Traitements associés

Nadia MAAREF<sup>1</sup>, Patrick MILLOT<sup>1</sup>, Laurent CASTANET<sup>1</sup>, Alain GAUGUE<sup>2</sup>, Michel MENARD<sup>2</sup>, Jamal KHAMLI<sup>2</sup>, Jean-Yves DAUVIGNAC<sup>3</sup>, Nicolas FORTINO<sup>3</sup>, Marc SCHORTGEN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ONERA,

2 avenue Edouard Belin, BP 74025, 31055 Toulouse CEDEX 4

[Nadia.Maaref@onera.fr](mailto:Nadia.Maaref@onera.fr), [Patrick.Millot@onera.fr](mailto:Patrick.Millot@onera.fr), [Laurent.Castanet@onera.fr](mailto:Laurent.Castanet@onera.fr)

<sup>2</sup>Laboratoire Informatique Image Interaction, Université de La Rochelle,  
Pôle Sciences & Technologies, Avenue M. Crépeau, 17042 La Rochelle cedex 01

[agaugue@univ-lr.fr](mailto:agaugue@univ-lr.fr), [michel.menard@univ-lr.fr](mailto:michel.menard@univ-lr.fr), [jamal.khamli@univ-lr.fr](mailto:jamal.khamli@univ-lr.fr)

<sup>3</sup>LEAT, UMR6071,

250 rue Albert Einstein, Bâtiment 4, Sophia Antipolis, 06560 Valbonne

[Jean-Yves.Dauvignac@unice.fr](mailto:Jean-Yves.Dauvignac@unice.fr), [Nicolas.Fortino@unice.fr](mailto:Nicolas.Fortino@unice.fr)

<sup>4</sup>TRONICO,

SAS, 26 rue du bocage , 85660 St Philibert de Bouaine

[mschortgen@tronico-alcen.com](mailto:mschortgen@tronico-alcen.com)

## Résumé

Qu'il s'agisse de POM : prises d'otages de masse en des lieux multiples ou de POC : prises d'otages complexes comme à Bombay en 2008, Moscou en 2002 ou encore dans le gymnase de Beslan en 2004, ce type d'attaque constitue pour les autorités un vrai casse-tête. Pour les aider dans leur mission, les forces de l'ordre et les forces armées tireraient un avantage opérationnel considérable d'un radar qui « voit » à travers les murs : il permettrait de mieux protéger la vie des intervenants en apportant des éléments de décision très importants (dans les cas de prise d'otages : où se trouvent les ravisseurs et les otages) avant l'entrée dans un bâtiment, tâche qui s'avère parmi les plus risquées lorsqu'on ne sait pas prévoir les dangers potentiellement présents à l'intérieur. C'est donc un élément clé pour augmenter le taux de succès de la mission tout en diminuant les risques associés.

Il existe à l'heure actuelle un tout petit nombre de radars à travers les murs qui sont commercialisés. Cependant, de l'avis même des utilisateurs, ces dispositifs ne donnent pas entière satisfaction par rapport au besoin et même restent pour la plupart inexploitable.

L'objectif du projet DIAMS, de type Recherche Industrielle, est de définir un démonstrateur de vision radar à travers les murs, proche du besoin opérationnel, pouvant détecter et dénombrer de façon fiable des personnes en mouvement et suivre leur évolution au cours du temps grâce à l'utilisation couplée de radar doppler - radar imageur, alliée à la diversité d'antenne, et à des traitements temps réel innovants (traitement d'image, polarimétrie, vision 3D,...).

## Abstract

Whether mass hostage-taking or complex hostage taking in multiple locations as in Bombay in 2008, or in a Moscow theater in 2002 or in the gymnasium of Beslan in 2004, this type of attack is really for the authorities a headache. To help them in their mission, police and armed forces can take benefit from a number of means. However, a radar that "sees" through walls would bring a considerable operational advantage. Indeed, it would better protect life of present people by providing very important decision elements (in cases of hostage taking: where are the kidnappers and the hostages) before entering a building, one of the most risky task when potential dangers on the other side of the wall is not known. It is therefore a key element for increasing mission success while reducing risk.

Only a very small number of through walls radars are currently marketed. However, following the opinion of end users, these devices do not comply actual needs and are not sufficiently reliable. The first need concerns vision within the buildings to have an overview of the topology of locations to facilitate subsequent intervention. Then, the next crucial question deals with the human presence in the building. Currently, there is no reliable device with low error detection. It is then important in the case of moving people to be able to detect, to count and to track their movements over time.

The noticeable goal of the DIAMS project, of industrial research type, is to achieve a significant progress in the technology field of through walls radar vision using electromagnetic waves in a frequency range from 500 MHz to 10 GHz. These modulated electromagnetic waves are used as a support of propagation for a radar sensor which uses object or target reflectivity in order to detect, locate and track them. The originality of this DIAMS project rests on the use of a coupling between Doppler radar and radar imaging, combined with antenna diversity, operating in real time, providing innovative signal processing (image processing, wave polarization, 3D vision, ...), which will constitute a path of considerable growth compared to the existing systems. In addition, at the industry level, the development of a demonstrator close to the operational need will be the starting point for a future industrialization.

## 1. Contexte du projet

Les enjeux sociétaux du projet concernent les citoyens vis-à-vis des menaces mettant en jeu leur sécurité. Les radars à travers les murs à long terme devraient faire partie de l'équipement de pointe de personnels impliqués dans le maintien de l'ordre (RAID, GIGN, ...). Il s'agit de personnes assermentées, formées et agréés par les Autorités, qui utiliseront ces systèmes dans le cadre de procédures réglementées.

Tout en restant dans ce contexte, le marché reste porteur. En effet en incluant les soldats, les unités d'élite de la police et de la gendarmerie, mais aussi à terme les pompiers et personnels de secours, on atteindrait potentiellement, avec tous les pays industrialisés, des marchés de plusieurs milliers d'exemplaires. Au-delà, des synergies pourront être recherchées dans les domaines de la géophysique, du BTP, ...

Pour le moment, aucune bande de fréquence n'est allouée à ce type de système, il conviendra donc d'étudier les contraintes liées à la gestion du spectre et notamment identifier les bandes de fréquences déjà protégées afin de proposer des techniques de partage de fréquence appropriées (adaptation de la puissance, saut de fréquence, ...).

Actuellement, l'Europe souffre d'un retard notable dans le développement de dispositifs radars à travers les murs, sauf peut être en Angleterre et en Italie. Aussi, il reste un très large champ pour le développement et l'innovation sur cette thématique.

## 2. Objectifs du projet

L'objectif du projet DIAMS est de développer un démonstrateur innovant et ses traitements associés de radar à travers les murs qui soit proche d'un besoin opérationnel. L'expertise de trois laboratoires académiques et d'un industriel sera utilisée avec le concours d'opérateurs du domaine de la sécurité (au sein du comité de pilotage du projet) afin de développer un prototype et ses traitements associés.

Afin de concevoir un radar à travers les murs, il est nécessaire de choisir une bande de fréquence qui soit compatible avec la pénétration des ondes radar à travers les murs et qui tienne compte de la réglementation sur la gestion du spectre. La bande de fréquence candidate est de 500 MHz à 10 GHz et des essais dans ce type de bande ont déjà été effectués à l'ONERA. Afin d'optimiser les différents critères qui sont : la résolution spatiale, la pénétration dans les murs, la miniaturisation et la maniabilité du radar, il faudra se positionner un peu plus haut en fréquence que certains concepts issus du GPR (« Ground Penetrating Radar »). La technique radar à balayage en fréquence (ou FM-CW), qui constitue un axe d'expertise de l'ONERA et du LEAT, semble actuellement la plus prometteuse pour remplir ces objectifs. En délivrant un signal en fréquence intermédiaire basse fréquence, la technique FM-CW permet aussi le filtrage électronique des échos tels celui du premier mur, ce qui augmente la dynamique de mesure. En positionnant la bande de fréquence FM-CW de façon intelligente, on parvient à définir un système miniaturisé et maniable avec une antenne performante à forte compacité.

Une des ambitions de ce projet est de réaliser une fonction robuste de type détection de présence humaine pour le radar TTW. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de développer un module de détection très sensible par effet Doppler du mouvement de l'être humain, même minime. Ensuite, une analyse du signal Doppler peut être effectuée par des algorithmes de traitement du signal. La détection du micro-Doppler permet de détecter des signes vitaux, comme la respiration ou les tremblements de façon à déceler une présence de quelqu'un qui ne bouge pas ou peu. Le couplage radar Doppler-radar imageur constitue aussi une innovation.

L'ambition du projet DIAMS est de développer en outre du traitement du signal innovant permettant d'accroître les possibilités d'identification des cibles. Le traitement du signal sera testé sur des données simulées avec des simulateurs électromagnétiques de l'ONERA. Le traitement du signal innovant comprendra :

- la vision 3D : c'est un concept fortement innovant qui doit fonctionner à partir d'une disposition intelligente de capteurs sur une surface dont la disposition est à définir (il s'agit ici de réaliser une antenne réseau 2D avec un nombre d'éléments optimisés donc à moindre coût et à forte compacité).
- l'étude de l'apport de la polarimétrie radar de l'onde radar pour l'identification des cibles : les cibles radar ont une réponse différente en polarisation (par exemple homme debout, assis, couché...) et la polarimétrie peut répondre à un besoin de classification et de réduction des fausses alarmes. De plus la polarisation croisée permettrait d'éliminer certains échos symétriques comme les murs. La polarisation circulaire est également à considérer pour la réduction des échos fixes.
- l'influence de la diversité d'antenne en émission pour pallier la composante aléatoire du signal en milieu complexe (murs irréguliers par exemple). Dans ce cas autant la combinaison par sommation que par fusion sont également à étudier.
- la mise au point d'un traitement d'image avancé et du traitement de l'information nécessaire à l'extraction et au suivi des personnes.

### 3. Structuration du projet

Le projet DIAMS est ainsi structuré en six tâches, chacune étant structurée en sous-tâches : Analyse Préliminaire, Conception, Réalisation, Validation, Campagnes d'Essais et Synthèse de l'Etude.

#### Tâche 1 : Analyse préliminaire

Une analyse préliminaire très poussée sera établie sur le besoin de détection radar à travers les murs, avec les opérationnels et les services étatiques (RAID, CTSI, DGA) et sur la réglementation en termes de gestion du spectre. Une analyse critique des systèmes existants ainsi qu'un état de l'art complet seront également effectués.

#### Tâche 2 : Conception du démonstrateur DIAMS

La conception des chaînes RF et FI (hors antennes) du démonstrateur DIAMS se fera sous la responsabilité de l'ONERA. La conception des antennes et du réseau d'antennes du démonstrateur DIAMS sera effectuée par le LEAT. TRONICO assurera la définition de la structure mécanique soutenant l'antenne et du radome associé.

La phase de conception du logiciel, intégrant l'IHM et des algorithmes de traitements à implanter dans le démonstrateur DIAMS, se fera sous la responsabilité globale du L3I : d'une part le traitement du signal radar et d'autre part le traitement de l'information, c'est-à-dire une fois l'image radar formée.

Une définition des scénarios de mesure sera effectuée en collaboration avec le RAID, le CTSI et la DGA.

#### Tâche 3 : Réalisation du démonstrateur DIAMS

La réalisation matérielle du démonstrateur se fera par TRONICO. La réalisation du réseau d'antennes du

démonstrateur DIAMS se fera au LEAT. La commande et le pilotage du démonstrateur DIAMS seront ensuite effectués par l'ONERA avec l'aide de TRONICO.

Le développement des algorithmes sera effectué par l'ONERA et le L3I. L'objectif sera de disposer d'un ensemble d'outils logiciels intégrés permettant de détecter, localiser et suivre des êtres humains mobiles ou quasi-immobiles derrière un mur et d'appréhender la scène dans laquelle ils évoluent. Une IHM de haut niveau sera développée à même de représenter des images 2D et 3D interprétées avec les cibles mobiles reconnues.

#### Tâche 4 : Validation des algorithmes de traitement

Une méthode de validation des algorithmes de traitement du signal à implanter dans le démonstrateur DIAMS sera définie. Ensuite des tests seront réalisés entre le L3I et l'ONERA sur des données simulées puis sur des données issues du moyen de mesure ONERA.

#### Tâche 5 : Campagnes d'essais

Deux types de campagnes d'essais seront menés :

1. d'une part en laboratoire : test des algorithmes de traitement (ONERA, L3I) puis recette du dispositif à partir de murs bien connus, (ONERA, TRONICO).
2. d'autre part sur le terrain avec la contribution d'utilisateurs potentiels. Cette campagne sera menée sur un site du Ministère de l'Intérieur qui sera précisé par le comité de pilotage (RAID, Ecole de Police,...), en présence du CTSI et de la DGA.

#### Tâche 6 : Synthèse de l'étude

La synthèse relative à l'étude sera ensuite effectuée. Un document décrivant les recommandations et les spécifications d'un futur radar TTW opérationnel sera rédigé, prenant en compte l'ensemble du retour d'expérience. Les publications et les brevets relatifs à cette étude seront également produits au cours de cette synthèse.

## 4. Rappel de l'état de l'art

Le radar de détection de personnes (« Through The Wall Radar ») ou « radar TTW » est apparu il y a environ 15 ans aux Etats-Unis.

Ce type de dispositif a pour but la localisation de personnes, considérées comme des cibles mobiles dans un bâtiment, avec le capteur situé à l'extérieur.

Le radar TTW le plus connu est le « Radar Vision », qui est destiné en premier lieu à l'équipement de l'armée américaine.

Peu d'informations sur les systèmes (et même sur certains projets de recherche) sont disponibles en raison du caractère confidentiel lié aux enjeux sécuritaires et commerciaux de la technologie TTW. En effet, il est aisé de saisir l'intérêt pour des forces armées ou des agences de sécurité civile, que peut représenter ce genre d'appareils.

De plus, la plupart des systèmes existants ont été développés par des industriels et non par des laboratoires.

Différents produits actuellement commercialisés sont listés dans le Tableau 1.

L'état de l'art du radar TTW montre la prédominance américaine sur les dispositifs radar de détection de personnes dans les bâtiments. Il existe peu de résultats dans la littérature ouverte et les sociétés qui développent ce type de radar gardent secret leur savoir-faire et les technologies utilisées.

**Tableau 1: Dispositifs de détection radar à travers les murs actuellement commercialisés**

Radar	Société	Pays	Principe
Flashlight [1] [2]	GTRI	USA	Doppler
Akela [3]	AKELA	USA	SF-CW
Vision 2i <sup>1</sup>	Time Domain corp	USA	ULB à impulsion courte
Emmrad <sup>2</sup>	Cyterra	USA	FM-CW
Prism 200 <sup>3</sup>	Cambridge Consult. Lab.	UK	ULB à impulsion courte
Xaver 400, 800 <sup>4</sup>	CAMERO	Israël	ULB à impulsions ultra-courtes

En dehors de ces dispositifs disponibles sur le marché, des activités de recherche sont actuellement en cours dans différents pays, notamment par : R&D Defence (Canada), le TNO (Pays-Bas), le FOI (Suède), UWB Russian Group (Russie) [4], l'Université de Villanova (USA) [5]. Parmi les organismes impliqués dans le projet DIAMS, l'université de la Rochelle (L3i) a développé un radar impulsif capable de voir à travers les murs [6] ; ce radar est ULB à impulsions courtes et l'imagerie est obtenue par antenne tournante à fort gain. Enfin, l'ONERA a développé un prototype de radar FMCW rapide 1-4 GHz [7] avec un réseau de 16 antennes ULB développé par l'Université de Nice (LEAT).

Il y a de par le monde beaucoup d'essais de conception et de réalisation mais il n'existe pas vraiment de produit qui donne entière satisfaction. La détection de signes de vie à travers les murs n'est pas assurée, surtout quand les personnes sont immobiles. Les résultats dépendent des caractéristiques diélectriques des murs, des cibles, de l'environnement et de la présence de l'opérateur. Il existe toujours un besoin d'identification plus précise de cibles car l'information délivrée n'est pas assez riche et pas assez interprétée pour l'opérateur. Il est donc nécessaire au niveau français (et européen) de poursuivre des recherches

à finalité appliquée qui aboutiraient à la réalisation d'un démonstrateur ou d'un prototype à caractère opérationnel à même d'intégrer du traitement de l'information très avancé.

## 5. Conception du radar DIAMS

### 5.1.1 Concept radar DIAMS

#### 5.1.1.1 Concept général

Suite à une étude préliminaire et exhaustive très complète sur les différentes possibilités de radar TTW, le concept d'un radar imageur 3D temps réel a été sélectionné.

Le radar TTW sera donc à enregistrement rapide, avec une durée du signal total de quelques dizaines de ms de façon à prendre de vitesse le mouvement propre de la personne. On estime en effet que sur ce temps de quelques dizaines de ms, la personne reste immobile et que la phase de réflexion reste constante, condition nécessaire à l'imagerie radar. Ensuite la détection du mouvement global de la personne se fera en comparant les signaux pris à des instants différents. C'est par cette méthode dite « d'imagerie différentielle » que l'on parviendra à extraire le mouvement du fond statique.

En termes d'identification de cibles, le radar 3D apparaît comme une voie plus prometteuse que le radar polarimétrique, cette dernière demeurant en outre un défi technologique. Le radar polarimétrique restera cependant au programme de l'étude en particulier les configurations verticales (VV) et horizontales (HH).

Le concept global est le suivant pour le démonstrateur radar (**Figure 1**) :

- le dispositif comprend un radar avec une antenne surfacique du type émetteurs/récepteurs,
- l'antenne est séparée du circuit hyperfréquence intégré par un absorbant,
- la troisième couche constitue l'unité de traitement,
- l'unité de commande et d'affichage est déportée,
- l'alimentation électrique est assurée par une batterie régulée externe,
- l'ensemble est portable à bout de bras ou bien peut être déposé sur un trépied

<sup>1</sup> <http://www.uwb.org>

<sup>2</sup> <http://www.cyterra.com/radar/>

<sup>3</sup> <http://www.cambridgeconsultants.com>

<sup>4</sup> <http://www.camero-tech.com>

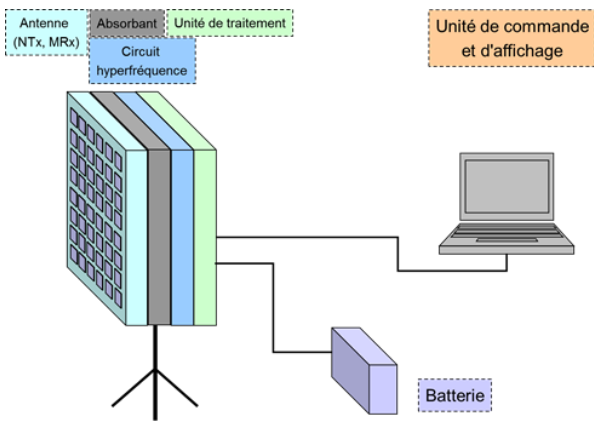


Figure 1 : Schéma de principe radar DIAMS

### 5.1.1.2 Analyse fonctionnelle DIAMS

#### 5.1.1.2.1 Généralités

L'analyse fonctionnelle complète des fonctions radar a été effectuée. La conception du radar repose sur la définition de quatre sous-ensembles interactifs (Figure 2):

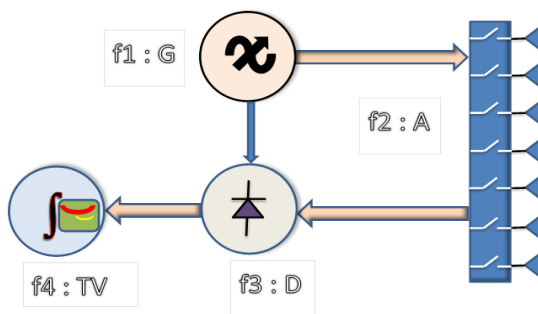


Figure 2 : sous-ensembles radar

**F1 : La fonction génération du signal radar (G)**

**F2 : La fonction antenne (A)**

**F3 : La fonction détection/numérisation (D)**

**F4 : La fonction traitement/visualisation (TV)**

Les connexions entre les fonctions sont les suivantes :

- connexion **F1->F3** synchronisation RF phase et temporelle (top acquisition).
- connexion **F1->F2** tops commutation d'antenne.

De plus, un pilote central (FPGA Xilinx) commandera l'ensemble des fonctionnalités.

#### 5.1.1.2.2 Cahier des charges

La conception du dispositif est basée sur le cahier des charges suivant:

##### *F1 Génération du signal*

- Génération d'un «chirp» ULB en répétition continue, bande de fréquence de plusieurs GHz
- Temps de balayage court de 1 à 2 ms
- Circuit électronique de régulation des bruits d'alimentation
- Amplification de puissance, atténuateur variable (pour la mise en forme du signal)

##### *F2 : Antennes*

- Antennes ULB (gain, ROS) et définition des espacements inter-antennes pour la mise en réseau
- Commutation d'antennes ULB rapide multivoies (temps de commutation quelques dizaines de ns)

##### *F3 : Détecteur*

- Démodulation à forte dynamique (80 dB)
- Sensibilité TSS < -75 dBm
- Amplification à fort gain, gabarit de filtrage en FI
- Numérisation multivoies 14 bits (sur au moins 8 voies)

##### *F4 : Traitement visualisation*

- IHM visualisation
- Cibles fixes et mobiles

#### 5.1.1.2.3 Schéma global détaillé

La Figure 3 présente donc le schéma global détaillé du radar tel qu'il sera construit :

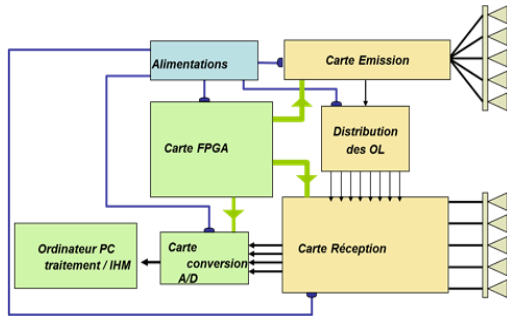


Figure 3 : schéma global détaillé

### 5.1.1.3 Antenne Réseau / Antennes Élémentaire

#### 5.1.1.3.1 Introduction

La topologie des réseaux d'antenne ULB est généralement à pas constant. Dans le cas d'une imagerie 3D, le réseau est généralement carré et plan [11] [12], voire hémisphérique dans le cadre d'applications plus spécifiques [13].

La solution choisie pour le radar DIAMS est celle d'un radar imageur composé d'un réseau d'antennes émettrices et réceptrices. Le réseau plan permet de plaquer l'antenne contre un mur.

#### 5.1.1.3.2 Réseau d'antennes DIAMS

La conception du réseau d'antennes du démonstrateur a été effectuée à partir des contraintes données par le cahier des charges du projet. Ceux qui impactent la conception du réseau d'antennes sont les suivants:

- résolution azimutale choisie de 1 m à 10 m,
- possibilité d'information 3D,
- portabilité et aspects opérationnels définis par les utilisateurs finaux : taille inférieure à 80 cm, poids inférieur à 3kg.

Pour rendre le dispositif réalisable, d'autres critères sont à prendre en compte :

- complexité au niveau hardware (par exemple, le nombre de voies simultanées en réception)
- flux de données

Une étude des solutions de **réseau lacunaire** a été effectuée. La conclusion est que cette solution n'est pas satisfaisante pour le projet DIAMS (apparition d'artefacts ou fausses cibles). On s'est orienté vers la réalisation d'un réseau plein.

La résolution selon l'axe azimut du radar est fixée par la largeur du réseau. Ainsi, afin d'avoir une résolution de 1 m

Ainsi, afin d'avoir une résolution de 1 m à 10 m, la largeur du réseau doit être d'au moins 72 cm ( $R = 1.22 \frac{\lambda_c D}{2L}$ ). En ce qui concerne l'écartement entre les antennes, le critère d'échantillonnage spatial à  $\lambda_c/2$ , donne un écartement de 6 cm (à la fréquence médiane :  $f_c=2.5$  GHz).

Les niveaux de couplage inter-éléments doivent être bons (inférieur à -20 dB).

#### 5.1.1.3.3 Antenne élémentaire

L'antenne élémentaire doit d'abord être adaptée sur la bande passante envisagée. Une excellente adaptation (coefficient de réflexion  $< -15$ dB) est désirée.

L'analyse de l'antenne élémentaire porte ensuite sur la recherche d'un compromis entre largeur de bande, encombrement, poids, épaisseur et gain de l'antenne qui sont autant de paramètres antagonistes.

Compte-tenu des besoins exprimés en termes d'encombrement en vue de l'intégrer dans un réseau plein, cette antenne doit posséder un encombrement inférieur ou égal à 6,5 cm de côté. La contrainte en profondeur est fixée par la portabilité du système radar, et une limite de 10 cm est donc imposée (de même qu'un poids limité). En terme de rayonnement, l'antenne doit posséder une ouverture à -3 dB minimale de 120° afin de couvrir efficacement la pièce sondée. Une bonne réponse impulsionnelle est nécessaire. Aucune contrainte spécifique n'est imposée sur la pureté de polarisation, toutefois des niveaux de polarisation croisée « raisonnables » sont attendus. De même, l'efficacité de l'antenne n'est pas un critère décisif ce qui permettra d'envisager éventuellement l'utilisation de charges résistives afin de miniaturiser ou bien d'améliorer la réponse impulsionnelle de l'antenne.

Des études et des simulations d'antennes candidates ont été faites :

- Cavity Backed Slot Antenna (CBSA)
- Antenne Dipôle hexagonale
- Antenne "Volcano Smoke"
- ETSA

Ce dernier type a été retenu. L'antenne présente un assez bon gain (>3dB).

Une antenne ETSA miniaturisée a donc été optimisée en utilisant les méthodes de simulation. Elle possède un encombrement de 6,5 par 6,9 par 3 (cm<sup>3</sup>).

Les études de couplage sur cette antenne ont été effectuées et le couplage a été minimisé. Le blindage arrière de l'antenne a été réduit.

#### 5.1.1.4 Traitement du Signal et de l'Information DIAMS

## 5.1.1.4.1 Traitement du signal radar DIAMS

### 5.1.1.4.1.1 Détection des cibles mobiles

Le filtrage VCM ou MTI («Visualisation des Cibles Mobiles» ou «*Moving Target Indicator*») consiste à opérer des différences entre les signaux bruts acquis à deux ou plusieurs instants différents pour éliminer les cibles fixes et ainsi extraire le mouvement.

Ce type de traitement peut aussi être effectué une fois l'image radar formée (analyse du mouvement dans les images).

### 5.1.1.4.1.2 Imagerie radar

- **Triangulation/ Multilatération**

La triangulation est une méthode connue de localisation d'émetteurs à partir de trois antennes assez espacées. La multilatération utilise plus de trois antennes. Elle permettrait de résoudre plus de deux cibles mais avec quelques artefacts.

La triangulation pour l'application radar TTW a été étudiée dans [14]. Elle a aussi été appliquée sur le radar PRISM de CCL<sup>5</sup>. Le traitement «SAR incohérent» est aussi une méthode d'imagerie basée sur de la sommation de voie incohérente tout comme la triangulation [10, 15]. Il est moins performant que le SAR cohérent.

- **Imagerie radar**

La formation de voie est généralement appliquée au radar SAR. Elle consiste à sommer de façon cohérente les signaux sur les antennes de réception pour former une image radar en tenant compte des temps de vol supposés. La méthode est réputée robuste, elle résiste en partie à l'extinction d'une voie. Les différents points durs suivants ont été résolus au cours du temps, ce qui la rend compatible avec l'application radar TTW [16, 17]:

- FV champ proche
- FV Ultra Large Bande
- FV forme temporelle, fréquentielle
- FV 3D
- FV tenant compte des phénomènes de réfraction d'ondes
- Prise en compte d'une lame à face parallèle (modèle simple de mur dans le traitement)

Des méthodes plus avancées que la formation de voie reposant sur le filtrage adapté en réception sont aussi envisagées. Il s'agit de MUSIC [18], Capon [19], Prony-SVD, ML,...Elles sont applicables pour la compression distance et azimut. Ces méthodes ont généralement pour

finalité l'augmentation de la résolution au prix d'un manque de robustesse et de rapidité.

Par ailleurs, pour le démonstrateur DIAMS, le radar doit être capable d'identifier la posture des personnes détectées en donnant une indication sur leur comportement (assis, debout, couché). Pour ce faire, une imagerie radar 3D est en développement afin d'avoir une information sur la hauteur des cibles détectées.

### 5.1.1.4.2 Traitement de l'information

Le traitement de l'information a pour but dans le projet DIAMS d'améliorer l'image radar, de séparer les objets fixes et mobiles, de détecter et classifier les cibles et de poursuivre les cibles en mouvements. Ainsi plusieurs couches de traitements vont être nécessaires et sont en développement :

- **Prétraitements de l'image radar** : Ce traitement a pour fonction de réduire le taux d'artefacts, d'augmenter la probabilité de détection et de réduire les fluctuations du fond. Plusieurs outils sont en voie de conception, tels que les morpho maths, la différence entre frames moyennées et le filtrage spatio-temporel [20].
- **Segmentation fond/objets mobiles** : Ce traitement a pour objectif la séparation entre le fond immobile de l'image et les objets mobiles. Il permet une analyse spatio-temporelle temps réel (sans apprentissage / sans initialisation). Pour ce faire, une version adaptée de l'algorithme de Yang [21] est étudiée.
- **Détection et classification cibles/clutter** : La détection et classification des objets mobiles sur chaque frame peut se faire grâce à différents outils tels que: TFAC, test de Neyman-Pearson, sail-lance,...
- **Détection de structure** : L'obtention des structures immobiles de la pièce après segmentation de l'image radar peut être obtenue par transformée de Hough par exemple [22, 23, 24].
- **Suivi des cibles mobiles** : Un suivi multi-cibles, multi-hypothèses, robuste et temps réel sera mis en place dans le projet. Plusieurs pistes sont étudiées : filtrage de Kalman étendu [25], filtrage particulière,...

La chaîne complète de traitement de l'information en développement est schématisée en Figure 4.

<sup>5</sup> <http://www.cambridgeconsultants.com>

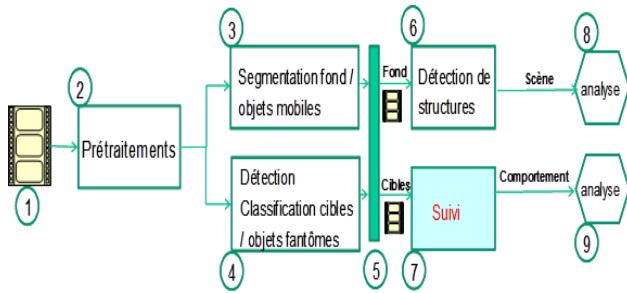


Figure 4 : chaîne de traitement de l'information

## Références

- [1] E. F. Greneker, "Radar Sensing of Heartbeat and Respiration at a Distance with Security Applications," *Proceedings of SPIE, Radar Sensor Technology II*, Volume 3066, Orlando, Florida, avril 1997, pages 22-27.
- [2] L.M. Frazier, Hugues, "Surveillance through walls and other opaque materials", *Proceedings of the IEEE 1996 National Radar Conference*, 13-16 mai 1996, pages 27-30.
- [3] Allant R. Hunt, "Image Formation Through Walls using a Distributed Radar Sensor Array," *Proceedings of the 32nd Applied Imagery Pattern recognition Workshop (AIPR'03)*.
- [4] S.I. Ivashov, V.V. Razevig, A.P.Sheyko, I.A. Vasilyev, "Detection of Human Breathing and Heartbeat by Remote Radar," *Proceedings of the PIERS Symposium*, Pise, Italie, 28-31 mars 2004, pages 663-666.
- [5] Ahmad F., Amin M.G., Kassam S.A., "Synthetic aperture beamformer for imaging through a dielectric wall," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems*, Volume 41, Numéro 1, Janvier 2005, pages 271-283.
- [6] Christophe Lièbe, Alain Gaugue, Jamal Khamlichi, "Radar UWB : « Vision à travers les murs »,» 15<sup>èmes</sup> Journées Nationales Microondes, 23 au 25 mai 2007 Toulouse.
- [7] N. Maaref, P. Millot, C. Pichot and O. Picon, « A Study of UWB FMCW Radar for the Detection of Human Beings in Motion Inside a Building », *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, N°5, Mai 2009.
- [8] F. Ahmad, M. G. Amin, P. Zemaný, «Through-The-Wall Target Localization using Dual-Frequency CW Radars», *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 45, no. 4, Oct. 2009.
- [9] C. Debes, J. Hahn, A. M. Zoubir, and M. G. Amin, «Feature Extraction in Through-The-Wall Radar Imaging», *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing 2010 (ICASSP)*, pp.3562-3565, 14-19 March 2010.
- [10] P. Millot, N. Maaref, G. Autret, C. Pichot, J.-Y. Dauvignac, and O. Picon, "New Concepts for Through the Wall Radar using Multiple UWB Antennas", in *Proc. IASTED International Conference on Antennas, Radar, Wave Propagation (ARP 2007)*, Montreal, QC, CA, May 30-June 1, 2007, pp. 126-131.
- [11] C. Debes, M. G. Amin, A. M. Zoubir, "Target detection in single- and multiple-view Through-The-Wall radar imaging", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, n°5, pp. 1349-1361, May 2009.
- [12] M. G. M. Hussain, A. S. Al-Zayed, "Aperture-sparsity analysis of ultrawideband two-dimensional focused array", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 56, n°7, pp. 1908-1918, July 2008.
- [13] M. Klemm, I. J. Craddock, J. A. Leendertz, A. Preece, R. Benjamin, "Radar-based breast cancer detection using a hemispherical antenna array – experimental results", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 57, n°6, pp. 1692-1704, June 2009.
- [14] F. Ahmad, M. G. Amin, "Noncoherent Approach to Through-the-wall Radar Localization," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 42, No. 4, Oct. 2006.
- [15] X. Zhao, A. Gaugue, C. Lièbe, J. Khamlichi, M. Ménard, "Through wall detection and localization of a moving target with a bistatic UWB radar system", *European Radar Conference 2010*, Paris (2010).
- [16] N. Maaref, "Etude d'un concept de radar de détection de personnes à travers les murs et les obstacles", *Thèse de Doctorat en Sciences mention Electronique, Université de Nice Sophia Antipolis*, 2009.
- [17] N. Maaref, P. Millot, C. Pichot, and O. Picon, "Ultra-wideband Frequency Modulated Continuous Wave Synthetic Aperture radar for Through-The-Wall localization", *European Radar Conference 2009 (EURAD 2009)*, 31 Sept.-2 Oct. 2009, Rome (IT).
- [18] Y. Yeo-Sun, M.G. Amin, "Through-the-Wall Radar Imaging using compressive sensing along temporal frequency domain," *IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2010, pp.2806-2809, 14-19 March 2010.
- [19] F. Ahmad, M.G. Amin, "High-Resolution Imaging using Capon Beamformers for Urban Sensing Applications," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007*, vol.2, pp.II-985-II-988, 15-20 April 2007.
- [20] Yeo-Sun Yoon et de Moeness G. Amin (Spatial Filtering for Wall-Clutter Mitigation in Through-the-Wall Radar Imaging, *IEEE Transactions On Geoscience and remote sensing*, vol.47, No.9, 2009.



[21] T. Yang, Z. Li, Q. Pan and J. Li, "Real-Time and Accurate Segmentation of Moving Objects in Dynamic Scene," *MM'04*, New York, USA, pp. 10-16, 2004.

[22] Aftanas M., Drutarovsky M., "Through wall imaging of the objects scanned by M-sequence UWB radar system", *Radioelektronika, 2008 18th International Conference*, avril 2008.

[23] Ballard D. H., "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes" *Pattern Recognition*, Vol. 13, No. 2, pp.111-122, 1981.

[24] Pao D.C.W., Li H.F., Jayakumar R., "Shapes recognition using the straight line Hough transform: theory and generalization", *IEEE Transactions on PAMI*, Vol., 14 No. 11, pp. 1076-1089, Nov. 1992.

[25] Samuel Blackman, R. P., *Design and Analysis of Modern tracking systems*. Boston: Artech House, (1999).

[26] "ECC decision of December 1st 2006 on the conditions for use of the radio spectrum by Ground- and Wall- Probing Radar (GPR/WPR) imaging systems", December 1<sup>st</sup> 2006.