

DEMOLOC

Systeme de Radiolocalisation ULB Opportuniste

Norbert DANIELE¹, Christophe VILLIEN¹, Hervé MOKRANI², Pierre LARTIGUE³

¹ CEA-LETI-MINATEC, 17 rue des Martyrs 38054 Grenoble

² EADS Secure Networks, 1 bd Jean Moulin 78996 Elancourt

³ 3D Plus, 641, rue Helene Boucher - Z.I. 78532 Buc Cedex

norbert.daniele@cea.fr, christophe.villien@cea.fr, herve.mokrani@eads.com, plartigues@3d-plus.com

Résumé – Dans le cadre du projet ANR **DEMOLOC** (CSOSG 2006, CEA-LETI, EADS SN, 3D+) débuté en Avril 2007 nous cherchons à démontrer à travers la réalisation d'un démonstrateur fonctionnel, la faisabilité de systèmes mobiles opportunistes permettant d'assurer le suivi et la localisation de personnes ou d'objets dans diverses situations de crise.

Abstract – In the frame of the **DEMOLOC** ANR (CSOSG 2006, CEA-LETI, EADS SN, 3D+) project started in April 2007 and thanks to a functional demonstrator we are looking to demonstrate the feasibility of a locating system for persons and objects. This system will be based on an opportunist approach (no existing infrastructure) specially adapted for crisis situations.

1. Introduction

L'objet des travaux est de démontrer à travers un prototype pré-industriel la capacité du système DEMOLOC de mener à bien un positionnement quasi instantané, bidimensionnel (reconstitution d'une topologie relative bidimensionnelle) et suffisamment précis de dispositifs ULB (Ultra Large Bande), en l'absence d'infrastructures ou de points de référence fixes dotés de module GPS. Pour cela, le dispositif s'appuie d'une part sur un système de communication autonome ULB bas-débit en bande UHF assurant une détection précise de l'instant d'arrivée des impulsions émises, d'autre part sur une technique innovante de synchronisation des dispositifs et enfin sur des techniques classiques de localisation passive pour le positionnement de ces victimes.

L'application principale portée par le projet concerne la localisation de forces d'intervention lors de situations de crise dans des zones difficiles d'accès ou le GPS n'est pas fiable. Pour cette application, le système proposé sera utilisé conjointement avec un terminal de radiocommunication professionnel du type Tetrapol. Les utilisateurs sont équipés de systèmes mobiles et désolidarisables permettant de couvrir une zone sans appel à une infrastructure existante.

Par ailleurs le projet vise à associer à cette approche purement radio, l'exploitation de signaux issus de capteurs bas coûts, basse consommation permettant la détection et l'analyse du mouvement d'objets ou de personnes. Le système global ainsi proposé utilise conjointement le lien radio à la fois pour la fonction localisation dans l'espace et

également pour y faire transiter des données de détection et d'analyse du mouvement des personnes ou des objets équipés. Les solutions proposées pour la mesure de mouvement sont basées sur le traitement de données issues de micro capteurs d'accélération et/ou magnétiques. L'objectif est d'offrir des fonctions d'activité et de restitution digitale du geste à distance pour le monitoring de l'état de santé des équipes d'intervention.

L'autre application considérée dans le projet concerne la recherche des victimes d'avalanche. L'ARVA (Appareil de Recherche de Victime d'Avalanche) est une solution relativement rudimentaire (issu des techniques radio des années soixante-dix) et s'avère surtout très contraignant d'utilisation. Comme chacun le sait, le temps est une donnée précieuse dans le contexte du secours aux victimes. A titre d'exemple, des études ont permis d'estimer que la probabilité de survie d'une victime ensevelie demeurerait supérieure à 93% si les secours interviennent en moins de 15 minutes. Entre 15 et 45 minutes, on constate une décroissance rapide de la probabilité de survie de 93% à 26%. Cette brusque décroissance montre bien que tout se joue pendant les 30 premières minutes et permet d'illustrer l'importance du secours immédiat apporté par les compagnons de randonnée. De toute évidence, pour diminuer le taux de mortalité, les méthodes de secours aux victimes d'avalanche doivent être améliorées et surtout accélérées.

2. Scénario d'usage pour les pompiers

Principe général : le système est constitué d'au moins trois émetteurs ULB fixes (une balise principale et deux balises secondaires reliées entre elles par voie radio), d'un récepteur ULB et d'un lien radio PMR pour chaque unité mobile.

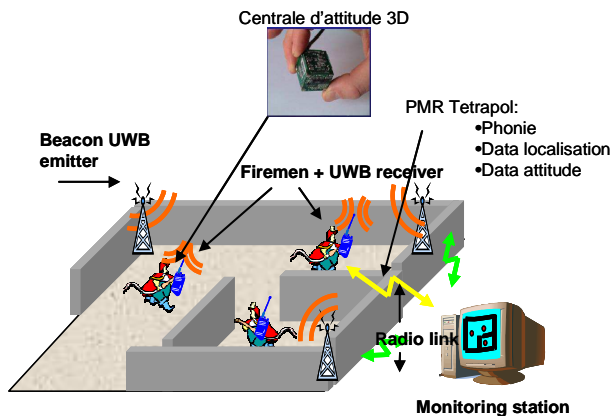


FIG. 1 : exemple de scénario pompier

Les contraintes Système sont :

Un réseau sans infrastructure : sans infrastructure préexistante, détruit suite à une catastrophe naturelle ou un acte terroriste, ou encore en l'absence de couverture radio (parking souterrain, tunnel...). Ceci implique :

- L'absence de lien câblé entre les émetteurs,
- la localisation automatique des émetteurs,
- un positionnement des émetteurs permettant une couverture de la zone d'intérêt.

La portabilité des récepteurs : faible encombrement, faible consommation (autonomie maximale) et faible poids.

Liées à l'environnement opérationnel : atténuation liée aux murs et cloisons, multi-trajet.

La compatibilité avec le lien radio du réseau utilisé.

En collaboration avec des officiers du **SDIS 69** appartenant au bureau des méthodes du GACR (Groupement Analyse et Couverture des Risques) 3 scénarii ont été analysés :

- Intérieur avec infrastructure légère matériaux absorbant peu les ondes E.M. (ex. grange)
- Intérieur avec murs d'enceintes très absorbants et peu d'ouvertures. Peu de cloisons. (ex. parking)
- Intérieur avec murs d'enceintes absorbants, nombreuses ouvertures, cloisons peu absorbantes (ex. habitation domestique)

Le scénario n°2 semble le plus adapté aux besoins du SDIS concernant la localisation des personnels dans les

incendies de parking souterrains. A titre d'exemple, un incident récent de ce type a engendré une opération qui a duré 3 heures, durée dont la moitié a été consacrée à la recherche du foyer de l'incendie.



FIG. 2 : illustration de feu en parking souterrain

Ce type de sinistre, en augmentation constante depuis quelques années (environ 30 feux par an depuis deux années pour le SDIS69), pose aux sapeurs pompiers de graves problèmes pour la localisation des équipes intervenantes. Pour venir à bout de l'incendie les sapeurs pompiers, malgré des conditions de chaleur intense et de visibilité réduite, doivent engager dans des locaux inconnus pour certains, du personnel pour tenter de situer le feu ; ce sont des actions de reconnaissance. Les opérations d'extinction ne peuvent débuter qu'une fois l'incendie localisé. Pendant cette phase des opérations de secours, le personnel en mission de reconnaissance est très exposé (chaleur, fumées, risque d'explosion) et surtout partiellement livré à lui-même, car les binômes destinés à la sécurité des agents engagés sont placés à l'extérieur des locaux. Depuis quelques années, les appareils isolants à circuits fermés et l'utilisation des caméras thermiques rendent des grands services. Il faut noter que les binômes de reconnaissance sont reliés avec l'extérieur par une liaison radio qui pose problème quant à la diffusion incertaine de l'onde à travers les masses de béton armé.

Concernant la capture du mouvement, trois positions sont importantes à décoder :

- la position debout (position de recherche, mode opérationnel nominal),
- la position accroupie (position de travail),
- la position couchée (position accidentelle, fonction « homme mort » avec remontée d'alarme vers le poste de commandement).

Associé à ces postures, on rajoute un niveau d'activité mesuré par les accéléromètres.

3. Scénario d'usage pour la localisation des victimes d'avalanches

Le dispositif imaginé, appelé ALVA pour Appareil de Localisation des Victimes d'Avalanches (Brevet FR2871241) se présente par défaut sous la forme d'un ensemble de trois modules émetteurs/récepteurs ULB. Si une procédure de recherche est amorcée, les trois modules se désolidarisent pour former un ensemble de trois points de référence nécessaires à un positionnement bidimensionnel des victimes. Le point de référence central, comprenant un écran d'affichage type GPS, est chargé de collecter et centraliser les informations provenant des deux autres modules plus l'ALVA de la victime, ainsi que du calcul des positions. Le module central est porté par le sauveteur pendant la phase de recherche des victimes. Le module principal comprend un émetteur/récepteur ULB bas-débit ainsi qu'un écran LCD destiné à l'affichage en temps réel des coordonnées des victimes pendant la recherche (positions des points de référence et positions des points inconnus à localiser).

Par défaut, l'émetteur de ce module est actif et permet de transmettre une séquence codée d'impulsions, suivant un motif universel, et comprenant des informations propres au porteur dans la charge utile (identifiant, état de santé du porteur...). Les deux autres modules, inactifs par défaut, sont activés si une procédure de recherche est amorcée.

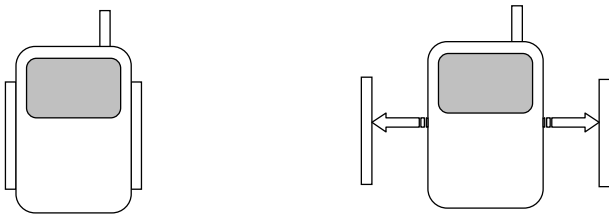


FIG. 3 : schéma du dispositif ALVA

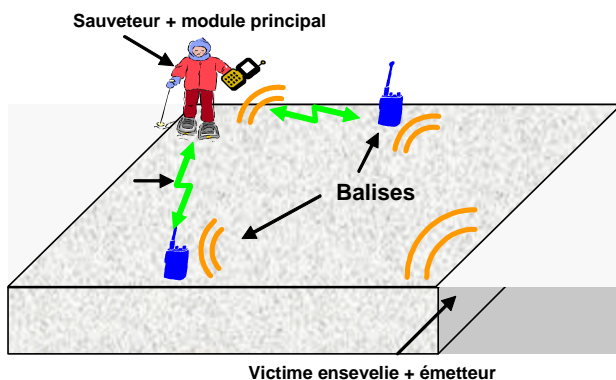


FIG. 4 : exemple de déploiement

Le scénario retenu dans le cadre du projet est celui de la figure 2 ci-dessus avec les limitations suivantes :

- Profondeur d'ensevelissement < 1m
- Positionnement : 2 D
- Affichage victime, sauveteur et balises
- Balises autonomes et sans fils
- Victime en émission permanente
- Résolution < 1m
- Taux de rafraîchissement des données < 1s
- Portée maximale : 50m (sauveteur – victime)
- Autonomie : plusieurs heures
- Puissance d'émission : -41.3 dBm/MHz (norme FCC USA)
- Nombre de victimes (démonstration) : Une seule victime
- Indication de dépose des balises lorsque le niveau reçu est suffisant
- Forme d'onde : Impulsionnelle ULB (500 MHz – 1000 MHz)

4. Lien radio ULB

4.1 Technologie Ultra Large Bande

La technologie ultra large bande repose sur l'émission de signaux dont le rapport entre la largeur de la bande à -10 dB et la fréquence centrale est supérieur à 25%. En particulier, certains systèmes, qualifiés d'impulsionnels, prévoient la transmission de trains codés d'impulsions très brèves. Le fort pouvoir séparateur de tels systèmes, directement lié à la largeur de la bande occupée, autorise une synchronisation fine des dispositifs, une mesure précise du temps d'arrivée des impulsions transmises (TOA pour Time Of Arrival en langue anglaise) ou de différences de temps d'arrivée des impulsions transmises (TDOA pour Time Difference Of Arrival en langue anglaise), et donc une mesure précise des distances relatives, ou des différences de distances relatives entre les différents dispositifs.

4.1.1 Signaux utilisés

Les transmissions ULB sont composées d'une trame contenant N_{int} fois le même motif. Chacun de ces motifs est composé d'une impulsion suivie d'une période de silence comme illustré sur la Figure 5

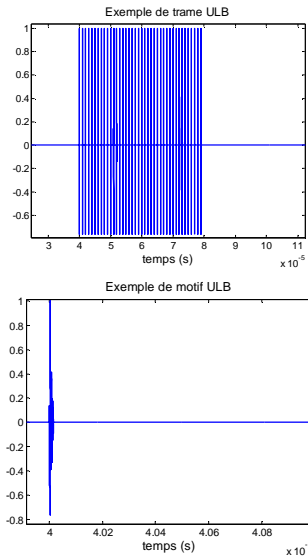


FIG. 5 : exemple de trame et de motif ULB

4.1.2 Portée du système

La répétition du même motif permet d'accumuler l'information dans le but d'augmenter le rapport signal à bruit et donc la portée du lien ULB. Des tests ont montré que le gain de traitement pour un récepteur 1 bit (circuit numériseur spécifique développé au CEA-LETI pour les applications ULB) pouvait être calculé à partir du nombre d'intégration selon la formule suivante :

$$G_{1bit} = 5dB + 10 \log(N_{INT}) - L_{1bit} \quad (1)$$

avec $L_{1bit}=2dB$. Cette formule permet de déterminer le nombre d'intégrations nécessaires selon la portée à couvrir (en champ libre)

TAB. 1 : Portée Vs Intégration

distance	N_{int}
10 m	80
50 m	2000
200 m	40000

Le récepteur a donc été conçu pour émettre et recevoir des trames comportant entre 100 et 65536 motifs afin de couvrir les portées considérées.

Trois durées de motif sont utilisées afin d'obtenir trois canaux de communication. En effet, l'accumulation ou l'intégration d'un train de motif d'une période donnée (durée du motif) ne produit un signal en réception que si le récepteur utilise la même période que l'émetteur. Cette propriété est exploitée en utilisant les durées de canal suivantes

TAB. 2 : Canaux et durée des motifs

	nbr. éch. / motif	Durée du motif
Canal 1	2048	1024 ns
Canal 2	1984	992 ns
Canal 3	1920	960 ns

L'impulsion, illustrée sur la Figure 6, est caractérisée par un pic très bref d'une durée inférieure à 5 ns et d'une amplitude de quelques volts. Les pics qui suivent le pic principal sont dus à des réflexions liées au dispositif de mesure en laboratoire qui ne seront pas présentes sur le signal émis par le dispositif final.

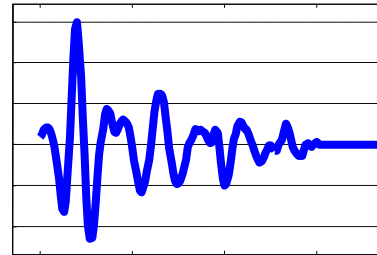


FIG. 6 : exemple d'impulsion ULB

Le tableau ci-dessous résume les performances du système de localisation pour les différents scénarii étudiés :

TAB. 3 : Performances du système selon les scénarii

Scénario	Description	Portée	Précision
Scénario « 0 »	Extérieur en espace libre	50 à 200m	< 50cm
Scénario « 1 »	Intérieur sans absorption avec cloisons (chalet bois)	25 à 50m	< 50cm
Scénario « 2 »	Intérieur métallique (avec absorption forte) sans cloison (parking)	25 à 50m	< 2m
Scénario « 3 »	Intérieur standard avec ouvertures et cloisons fines (immeuble)	10 à 25m	< 2m

La précision de localisation est inférieure à 2m pour tous les scénarios ce qui est pertinente avec l'objectif de localisation de victime humaine.

5. Spécifications matériels

Afin d'optimiser les développements matériels l'approche choisie consiste à réaliser différents modules pouvant être associés pour satisfaire les besoins des deux scénarii.

5.1 Carte ULB (Ultra Large Bande)

La carte ULB est une brique de base commune à tous les éléments des deux scénarii que sont *la localisation de victimes d'avalanches (ALVA)* et *l'assistance aux pompiers en intervention*. Cette carte sera articulée autour d'un FPGA (*Field Programmable Gate Array*) et sera subdivisée en 7 unités fonctionnelles : traitements, horloges, entrées/sorties, émission, réception, gestion des alimentations, antenne. L'alimentation sera produite à partir d'un jeu de batteries Li-ion.

L'essentiel des traitements du FPGA concerne la réception et l'émission de signaux ULB. Une autre de ses

taches est la programmation des périphériques lors de l'initialisation du système. La fonction du FPGA est la même pour tous les modules et pour les deux scénarii. L'unité de réception comporte deux étages d'amplification faible bruit ou LNA (*Low Noise Amplifier*) pour un gain total de 40 dB environ. Le facteur de bruit de l'étage d'amplification n'est pas critique car les principales limitations proviennent du bruit radio ambiant qui domine largement le bruit thermique. Les signaux sont ensuite échantillonnés sur 1 bit par un circuit développé au CEAL-ETI (ASIC). Le flux numérique est réparti sur 4 voies de 500 Msps (*Mega Samples Per Second*) pour un débit total de 2 Gsps.

5.2 Carte DSP

La carte DSP (*Digital Signal Processor*) est une carte comportant des moyens de traitement des signaux ainsi que des convertisseurs analogique/numérique et pouvant être connectée sur les cartes ULB.

Le processeur de traitement des signaux (DSP) sélectionné supporte le calcul flottant. Les besoins en termes de puissance de calcul étant modestes au regard des technologies actuelles, la faible consommation devient le critère le plus déterminant. Le DSP SHARC 21369 du fabricant Analog Devices est de ce point de vue un bon candidat avec un consommation d'environ 1W.

Cette carte assume des fonctions différentes selon les applications et les modules considérés :

5.2.1 Scénario ALVA,

La carte DSP assure le traitement des données issues de la carte ULB (calcul de l'énergie du signal, détection du premier trajet etc.) et gère les protocoles de communication via un lien ISM à 2,4GHz. Au niveau du module principal de recherche, elle est également en charge du post-traitement des données (calcul des positions) et de l'affichage des résultats.

5.2.2 Scénario assistance aux pompiers

La carte DSP assume des fonctions différentes selon les modules :

- Module pompier : elle effectue le traitement des données ULB ainsi que des données de capture de mouvement (accéléromètres et magnétomètres) et assure l'interfaçage avec le terminal.
- Modules balises maîtres et esclaves : elle effectue le traitement des données ULB et gère les protocoles de communication via un lien ISM à 2,45 GHz.

6. Synoptique fonctionnel du processus de mesure ULB

La Figure 7 montre le synoptique fonctionnel du processus de mesure ULB. A l'exception de l'estimation de la position qui intervient au niveau du DSP dans l'application ALVA et des émissions ULB qui n'existe pas pour le module pompier, le processus est, dans son principe, identique pour tous les modules des deux applications. Seul l'organe de gestion du protocole diffère.

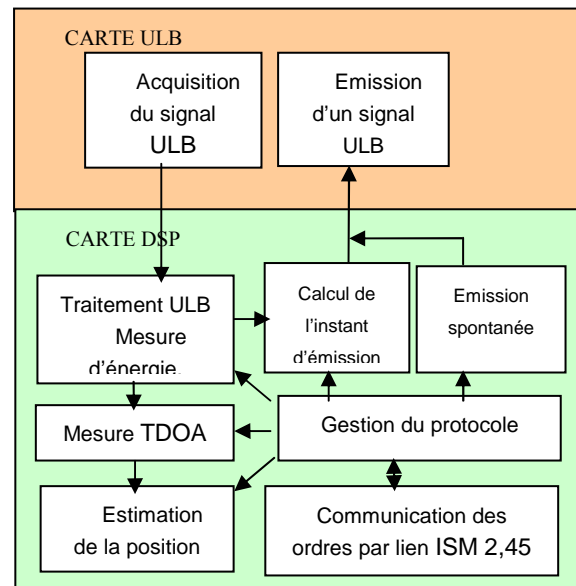


FIG. 7 : processus de mesure ULB

La carte ULB n'assume que deux fonctions qui sont :

- l'acquisition d'un signal ULB,
- l'émission d'un signal ULB.

Ces fonctions d'acquisition et émission sont toujours pilotées par la carte DSP, et sont de ce fait, identiques pour tous les modules.

La carte DSP prend en charge la gestion de l'ensemble du protocole de mesure. Pour cela elle dispose d'un lien radio ISM lui permettant de communiquer avec les autres modules présents dans le réseau. Elle pilote également la carte ULB en lui commandant soit l'acquisition d'un signal, soit l'émission d'un signal à un temps donné. Cette émission peut être soit spontanée, soit indexée sur un instant de réception (mode relais). Les données acquises par la carte ULB sont transférées au niveau du DSP pour traitements. Ces traitements consistent principalement en la détection du premier trajet et la mesure de TDOA. Cette estimation de TDOA peut être complétée par une estimation de position mais pour l'application ALVA uniquement puisque dans le cas de l'application pompier, cette estimation est effectuée au niveau du poste de commandement.

7. Terminal Tetrapol

Les terminaux Tetrapol sont utilisés pour la transmission radio des informations d'identification, de localisation et d'attitude vers le Poste de Contrôle.

Le mode de transmission radio utilisé est le mode direct dans la bande de fréquence Antares : 408-410 MHz.

Le canal radio utilisé pour le transfert de la data est un canal mode direct dédié. A défaut la phonie viendrait brouiller les trames data. La puissance d'émission est de 2 Watt.



FIG. 8 : terminaux EADS utilisés type Jupiter

8. Capture du mouvement

8.1 Généralités

A partir des exigences du scénario envisagé, à savoir qu'il faut reconnaître des postures de base telles que la position « couché », la position « debout » et la position « accroupi », la stratégie envisagée est de disposer de deux centrales d'attitude sur le pompier. La 1^{ère} sur le torse, la 2^{ème} sur la cuisse. L'idée est de mettre d'une part suffisamment de centrales d'attitude pour rendre robuste l'identification des postures et d'autre part de faire en sorte que le système soit le moins intrusif possible.

La mise en place d'une centrale sur le torse permet d'identifier tous les gestes associés à un mouvement du buste tels que ceux cités ci-dessus. La mise en place d'une 2^{ème} centrale au niveau de la cuisse permet de discriminer certaines postures telles que la position « debout » et d'une certaine position « accroupi », positions où le torse resterait vertical.

A ces postures sera rajouté un indice d'activité qui permettra d'indiquer si le pompier est immobile ou en mouvement.

8.2 Les capteurs mis en œuvre

Les capteurs mis en œuvre dans ces centrales d'attitude sont des accéléromètres et des magnétomètres, « packagés » par 3D+, partenaire du projet.

- Les accéléromètres proviennent du commerce : dans la série des KXPA4 de Kionix. Ils mesurent typiquement +ou- 6g. Ils sont principalement utilisés pour mesurer le champ de gravitation terrestre.
- Les magnétomètres sont réalisés au LETI, ce sont des micro fluxgates. Ils mesurent le champ terrestre.

8.3 Le packaging

La définition technique proposée par 3D PLUS pour la réalisation du packaging de la capture de mouvement utilise sa technologie brevetée d'empilage de composants électroniques en 3D.

Le capteur sera constitué d'un module électronique en technologie 3D dont les trois niveaux intégreront :

- les 3 ASICs AMIFLUXV4 et les autres éléments passifs du schéma électrique,
- les capteurs magnétiques MIFIG n°1 et 2,
- le niveau accéléromètre Kionix et ses amplificateurs associés,
- le niveau connectique permettant la liaison entre le module et le reste de l'électronique.

Le capteur magnétique MIFIG n°3 sera ensuite connecté par wire bonding sur une des faces de ce module.

Les dimensions objectifs du module sont les suivantes : 11,5 x 6,5 x 7 mm (L x l x h).

Le niveau connectique sera réalisé sous forme PGA (Pin Grid Area) avec l'utilisation au minimum de 13 pins pour les différents signaux de contrôle du module.

La solution proposée permet ainsi de répondre aux enjeux de ce développement :

- miniaturisation importante de l'électronique,
- utilisation d'une technologie exempte de matériaux magnétiques,
- utilisation d'une technologie existante et brevetée par 3D PLUS,
- utilisation d'une technologie qualifiée pour les environnements sévères (chocs mécaniques).

9. Conclusions

L'objectif du projet DEMOLOC qui a débuté en Avril 2007 pour 24 mois est donc de proposer une architecture générique de systèmes mobiles pouvant servir les 2 applications (suivi de force d'intervention, détection de victime d'avalanche) et de développer avec l'aide d'utilisateurs finaux (SDIS69 et CRS Alpes) un démonstrateur préindustriel permettant de valider la faisabilité fonctionnelle et économique du système.

Les scénarii de démonstration ainsi que les spécifications fonctionnelles sont figées, plusieurs modules électroniques sont disponibles à ce jour.