

UN MODÈLE OPTIMISÉ DE TÉLÉSURVEILLANCE DES PATIENTS

MEDENOU D.¹, ADEDJOUMA A. S.², TANDJE S. H. A.²

RESUME

La télésurveillance médicale est une technologie importante à la disposition des hôpitaux pour une bonne prise en charge des patients. Une amélioration des systèmes de télésurveillance existants est une préoccupation constante des ingénieurs. L'objectif de l'étude est de proposer une architecture complète et optimisée de télésurveillance des patients de toute spécialité médicale d'une part, en combinant l'utilisation des réseaux GSM/GPRS/UMTS et WPAN et d'autre part, en proposant un terminal niveau patients divisé en deux modules. Un premier module spécifique à la fonction vitale à surveiller sera chargé de l'acquisition du signal et de son envoi vers un second module. Le second module, utilisable pour toutes les fonctions vitales, s'occupera du traitement du signal, de la localisation du patient et de la transmission des données du patient vers le(s) centre(s) d'expertise approprié(s).

Mots clés : télésurveillance médicale, GSM/GPRS/UMTS, WPAN, localisation.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF NUTRITIONAL STATUS OF CHILDREN AGED FROM 1 TO 60 MONTHS, HOSPITALIZED IN LIBREVILLE.

Remote monitoring in the medical field is nowadays an important technology available in hospitals to ensure proper engagement of patients. Improvement of existing systems in this field is a permanent care for engineers. This paper proposes a comprehensive architecture and optimized remote monitoring of patients of specialized fields of medicine on the one hand, by combining the use of GSM/GPRS/UMTS and WPAN and secondly, by offering a patient level terminal divided into two modules. A first module specific to the vital function to monitor will be responsible for the acquisition of signal and sending it to a second module. The second module, used for all vital functions will handle the signal processing, the location of the patient and transmission of data of patient to the appropriate expertise center(s).

Key words: medical remote monitoring, GSM/GPRS/UMTS, WPANs, location.

INTRODUCTION

La surveillance à domicile ou en ambulatoire des patients porteurs d'une pathologie chronique sévère ou en postcritique après une hospitalisation est de plus en plus incontournable pour les centres hospitaliers. Cette télésurveillance médicale est assurée par un contrôle sur un ou plusieurs paramètres vitaux tels que l'électrocardiogramme (ECG), la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, la température corporelle, la Saturation en Oxygène des hémoglobines (SpO₂), la pression artérielle, la glycémie,... (Giorgio, 2009). De nos jours, pour chaque fonction vitale ou groupe de fonctions vitales, est conçu un équipement chargé à la fois d'acquies, de traiter voire de transmettre les données des patients vers les

centres d'expertise (Costin et al., 2006). L'ajout permanent de nouveaux équipements complexes pour prendre en compte d'autres paramètres biomédicaux est alors nécessaire. Dans de telles conditions, un système de télésurveillance médicale prenant en compte un nombre important de paramètres vitaux reviendrait onéreux.

Par ailleurs, dans tous les pays, les réseaux de télécommunications GSM/GPRS/UMTS (Global System for Mobile communications/General Packet Radio Service/Universal Mobile Telecommunications Systems) sont très répandus, d'où leur utilisation dans la plupart des systèmes de télésurveillance médicale comme moyens de transmission des données biomédicales. Les WPANs (Wireless Personal Area Networks), ou réseaux personnels sans fil tels que le Bluetooth et le Zig Bee, sont souvent utilisés pour faire communiquer deux équipements dans les systèmes de télésurveillance, généralement un téléphone portable et un module d'acquisition du biosignal (Belgacem et Bereksi-Reguig, 2011). Le problème de recherche est l'insuffisance de l'utilisation des réseaux de télécommunications dans les systèmes de télésurveillance médicale au Bénin.

L'étude vise à proposer une architecture complète et optimisée de télésurveillance des patients de toute spécialité médicale.

¹ Université d'Abomey-Calavi (UAC), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Département de Génie Biomédical (GBM), Laboratoire d'Electrotechnique, de Télécommunications et d'Informatique Appliquée (LETIA),

² Université d'Abomey-Calavi (UAC), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Laboratoire d'Electrotechnique, de Télécommunications et d'Informatique Appliquée (LETIA)

Auteurs et Correspondances : MEDENOU D., Université d'Abomey-Calavi (UAC), Tél. (+229 95 458 357), e-mail. medenou@yahoo.com

I. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Besoins définis pour le système

Le système doit être composé de plusieurs modules pouvant permettre ce qui suit :

- faire l'acquisition des paramètres physiologiques des patients, même en hors d'un centre hospitalier spécialisé ; c'est-à-dire des patients se trouvant dans d'autres centres hospitaliers non spécialisés, chez eux ou ceux suivant leurs activités quotidiennes ;
- traiter en temps réel les données au niveau du patient en vue d'un diagnostic automatique ;
- télétransmettre les données biomédicales des patients en temps réel ou en cas d'urgence ;
- signaler les cas d'urgences aux secouristes tels que les sapeurs-pompiers ou le Service d'Accueil d'Aide Médical aux Urgences SAMU et aux médecins où qu'ils soient ;
- permettre aux médecins et infirmiers de l'intérieur du pays d'envoyer les données biomédicales des patients vers des centres hospitaliers de référence pour une expertise ;
- localiser les patients en danger qui ne sont pas dans un centre de santé ou sous la supervision d'un médecin afin de pouvoir aller les secourir à temps avec une ambulance réservée ou appêtée à cet effet.

1.2. Spécifications fonctionnelles et abstraction du système

Tous les besoins définis pour le système ont permis de définir les spécifications fonctionnelles. Ainsi après analyse, les fonctionnalités attendues du système se présentait comme suit :

- Les patients doivent pouvoir se faire surveiller depuis l'hôpital de référence, où qu'ils soient. Par conséquent, les patients doivent être munis d'un terminal. Mieux, le terminal doit assurer l'acquisition des données biomédicales, leurs traitements, l'envoi des données en temps réel ou en cas de danger, l'alerte automatique des secouristes et médecins par un SMS (Short Message System) et un appel vocal en cas de danger et la localisation en temps réel du patient.
- Les médecins doivent pouvoir accéder aux informations et aux données biomédicales des patients à tout moment. Ainsi, le système doit disposer de serveur de base de données pour le regroupement des données relatives aux patients, de serveur FTP (File Transfer Protocol) pour le transfert des données biomédicales sous formes de fichiers, de serveur Web sur lequel doit être hébergée une application web permettant la visualisation des données des patients et d'une application logicielle permettant la visualisation en temps réel ou non

et l'analyse des données biomédicales au niveau des médecins.

- Les secouristes doivent pouvoir localiser le patient en danger à partir de ses coordonnées géographiques insérées dans le SMS d'alerte reçu. Par conséquent, les secouristes doivent disposer d'un moteur cartographique tel qu'un client Google Earth.

L'abstraction du système a été réalisée en les deux étapes suivantes : la modélisation ; l'intellectualisation. Le langage de modélisation choisi est UML Version 2.0 ; l'atelier de génie logiciel (AGL) étant Microsoft Visio Premium 2010.

1.3. Fonctionnement du système

Le fonctionnement du système est défini par des diagrammes de séquence qui présentent la chronologie des différentes tâches du système.

1.3.1. Télésurveillance automatisée

Le système devait effectuer une télésurveillance automatisée proprement dite des patients. Ainsi, un acteur comme un médecin ou un personnel médical devait activer le système au niveau d'un patient pour qu'il se mette à fonctionner de façon autonome. Les objets mis en jeu ont été les suivants (Figure 1) :

- Terminal patient : il doit posséder les fonctionnalités décrites dans le paragraphe 2.2 ;
- GPS (Global Positioning System), système de positionnement global : il s'agit d'un réseau de satellites permettant l'enregistrement des coordonnées géographiques d'un point donné et la localisation (d'une personne par exemple) en tout point du Globe Terrestre. Il doit permettre la localisation du patient ;
- Réseau GSM/GPRS : c'est par ce réseau de mobiles que les données sont télétransmises à l'hôpital de référence, de même que les SMS d'alerte et l'appel vocal des secouristes ;
- Mobiles médecins : ce sont les téléphones mobiles des médecins qui doivent recevoir les SMS d'alerte lorsqu'un patient se trouve en danger ;
- Mobile secouriste : c'est le téléphone mobile des secouristes qui doit recevoir un SMS d'alerte et un appel vocal si l'état d'un patient s'aggrave ;
- Serveur FTP : ce serveur doit recevoir les données biomédicales du patient en temps réel ou de manière ponctuelle en cas de danger.
- Application de télémonitoring : Cette application doit permettre aux médecins de visualiser les données des patients à distance.

1.3.2. Fonctionnement interne du terminal patient

Plusieurs messages réfléchis se trouvaient sur l'objet terminal patient, un objet complexe décomposé en plusieurs autres objets afin de pénétrer son fonction-

nement interne. Par conséquent, le terminal patient a intégré plusieurs fonctions dont la programmation de la chronologie d'exécution est primordiale. Les objets suivants ont été distingués afin de montrer le fonctionnement interne du terminal patient (Figure 2) :

- Application de traitement : c'est l'application qui doit coordonner le fonctionnement de tout le terminal et communiquer avec les modules de l'équipement par des ports ou interfaces ;
- Récepteur GPS : il doit récupérer la position du patient en temps réel à partir du système GPS ;
- Module d'acquisition : il doit permettre de récupérer la donnée biomédicale appropriée au niveau du patient qu'il doit transmettre en temps réel au module de traitement ;
- Modem GSM/GPRS : il doit permettre l'envoi des SMS, d'appel vocal et de données par le réseau GSM/GPRS sur ordre de l'application de traitement.

Lorsque le terminal patient a détecté un danger, il doit le signaler aux secouristes par le biais du réseau GSM/GPRS en envoyant un SMS et en appelant leur téléphone mobile. Les secouristes, une fois avertis, doivent avoir un certain nombre d'actions à accomplir.

1.3.3. Cas d'utilisation des secouristes

La visualisation de la position du patient a été un aspect important dont l'exécution met en jeu les deux objets suivants :

- Mobile secouriste : c'est le téléphone mobile sur lequel les secouristes doivent recevoir le SMS d'alerte ainsi que l'appel vocal de demande de secours ;
- Client Google Earth : c'est un client cartographique qui a permis la visualisation d'un endroit donné du Globe terrestre. Les secouristes doivent utiliser ce client pour visualiser la position du patient à partir des coordonnées géographiques contenues dans le SMS d'alerte avant d'aller le secourir.

1.3.4. Échanges d'informations avec le Système de Télésurveillance des Patients (STP)

Dans ce volet du système, les médecins pouvaient visualiser, enregistrer ou mettre à jour des données et informations à volonté. Les patients pouvaient aussi consulter leurs rapports médicaux. Les objets mis en jeu pour ce volet ont été les suivants :

- Client Web : le navigateur que le médecin ou le patient peut utiliser pour visualiser les informations dont il a besoin et qu'il a le droit de voir ;
- Serveur Web : il doit préparer et distribuer les pages Web ;
- Application Web : une application qui doit être spécifiquement conçue pour la présentation des informations et des données des patients et médecins. Elle doit être hébergée sur le serveur Web ;
- Serveur de données : le serveur sur lequel doit

être installé le SGBD qui doit gérer les données du système ;

- Serveur FTP : celui qui doit permettre le transfert et la sauvegarde des fichiers des patients.

II. RÉSULTATS

2.1. Architecture du système

L'étape de modélisation a permis d'identifier clairement les différents composants du système de même que les relations que les lient. Le patient devait posséder un terminal qui devait prélever ses paramètres physiologiques. Ce terminal devait servir à ce qui suit : échanger des données avec le GPS pour la localisation du patient ; communiquer en cas de danger avec un réseau GSM/GPRS pour l'envoi de SMS d'alerte et l'émission d'appel vocal vers des téléphones mobiles des médecins et secouristes. Aussi, à travers le GPRS, il devait télétransmettre les données vers un hôpital de référence en temps réel ou en cas de danger signalé par un module de traitement.

Ces données devaient être stockées sur un serveur de fichier à l'hôpital de référence où devait se trouver aussi un serveur Web qui héberge une application Web. Cette application devait effectuer le traitement et la gestion des informations et des données des patients contenues dans une base de données installée sur un serveur de données.

Les médecins devaient avoir la possibilité de visualiser les données des patients grâce à l'application Web. Les secouristes devaient disposer d'un client Google Earth pour la visualisation de la position du patient à partir des coordonnées géographiques qui devaient être inscrites dans le SMS d'alerte avant d'aller à son secours. Ces processus ont donné lieu à l'architecture présentée à la Figure 3.

La modélisation du système a permis d'identifier les composants matériels non disponibles sur le marché suivants : le terminal patient doté de fonctions assez particulières ; l'application de traitement ; l'application de télémonitoring ; l'application Web pour la visualisation des données et informations.

2.2. Terminal patient

Le fonctionnement interne du terminal patient modélisé à travers l'identification des différents objets qu'il mettait en jeu et son diagramme de séquence ont permis de mieux saisir son concept. Ainsi, le terminal patient devait disposer d'un module de traitement qui coordonne tout son fonctionnement. Ce module, avec un fonctionnement extrêmement complexe mais relativement facile à gérer de manière logicielle, devait servir à ce qui suit :

- communiquer avec tous les autres composants du terminal ; récupérer la position du patient à partir d'un récepteur GPS et la traiter ;
- effectuer aussi les traitements préliminaires sur les

- données biomédicales devant être envoyées par le module d'acquisition ;
- faire un diagnostic sur la base de ces données à envoyer par un modem GSM/GPRS et tout ceci de manière continue ;
- être chargé d'envoyer des SMS d'alerte et un appel vocal devant être un message vocal préenregistré et automatiquement servi après décrochage de l'appel à travers le modem GSM/GPRS.

L'application de traitement devait être installée sur un système d'exploitation devant lui-même être installé sur ensemble matériel. Pour assurer convenablement ses fonctions, le terminal patient devait posséder en partie l'architecture d'un micro-ordinateur mais cette fois avec certains modules supplémentaires et d'autres en moins contrairement aux ordinateurs classiques.

Les modules ayant été ajoutés à ce mini-ordinateur étaient, entre autres, le modem GSM/GPRS et le récepteur GPS tous connectés à des ports spécifiques d'une carte mère (Figure 4) de type SBC (Single Board Computer, une carte embarquant toutes ces fonctions sur un même circuit imprimé).

Le terminal patient a été divisé en les deux modules A et B suivants :

- un «module A» devant être chargé de l'acquisition des données biomédicales. Le module A devait être fonction de la spécialité d'application et du paramètre physiologique à surveiller. Dans le cas d'une télésurveillance des cardiaques, le module A pouvait être un stéthoscope électronique ou un Holter doté de Bluetooth par lequel il devait envoyer les informations acquises vers un autre module : le «module B».
- un «module B» dont la batterie devait avoir une autonomie convenable (24 heures minimum). Certes, sur le «module B» devait être installée l'application de traitement. Ainsi, le patient devait avoir juste besoin de porter le module A et être dans un rayon théorique de 100 mètres au maximum par rapport au module B.

Toutefois, le terminal patient a été séparé en deux modules pour assurer une grande flexibilité au système côté patient, d'une part et la sécurité sanitaire du patient, d'autre part. En effet, le module B se devait révéler assez rayonnant car il devait comporter des composants qui devaient communiquer avec les satellites du système GPS et les BTS du réseau GSM/GPRS.

2.3. Prototype et test

Un prototype de système de télésurveillance basé sur le présent modèle a été implémenté. Il s'agissait d'un système de télésurveillance des patients du service de la cardiologie du Centre National Hospitalier et Universitaire Hubert K. Maga (CNHU-HKM) comme l'ont présenté Médénou et al. (2013). Pour son fonctionnement, il a été réalisé :

- un module A à l'aide d'un stéthoscope muni d'une capsule microphonique pour l'acquisition du phonocardiogramme (PCG) ;
- un module B qui était constitué d'un récepteur GPS (Geonote KeyMaze 300 version 1.0.8 Model GH-610A) et d'un modem GSM/GPRS (Marque : LG, Classe B) connectés à un micro-ordinateur notebook.
- une application pour les traitements au niveau des patients qui recevait les signaux cardiaques envoyés par le module A, les traitait et renseignait le rythme cardiaque, le PCG, l'état du patient et sa position. Elle a été installée sur le module B.
- une application côté médecin permettait la visualisation en temps réel des données des patients.
- une application web pour l'échange d'informations et de données avec le système ;

Afin de vérifier le bon fonctionnement du système, une simulation a été effectuée. Le principe était le suivant : le patient était en bon état mais le rythme cardiaque détecté était biaisé exprès. En effet, après la détermination automatique du rythme cardiaque, dans les codes sources écrits pour les applications, nous augmentions automatiquement cette valeur de 60 battements par minute. Ainsi, le rythme cardiaque final obtenu était forcément ramené à un cas de tachycardie. Environ 90 secondes après avoir lancé l'application du côté du patient, dans un intervalle de 10 secondes, les mobiles représentant ceux du médecin, du médecin traitant et des secouristes recevaient chacun un SMS d'alerte précisant l'identité du patient, son état de santé, son rythme cardiaque ainsi que ses coordonnées géographiques. Après 5 secondes environ, le mobile des secouristes recevait un appel vocal. Après le décrochage, un message vocal préenregistré a été servi demandant le secours au patient. Pendant ce temps l'application du module B renseignait l'anomalie détectée ainsi que le rythme cardiaque du patient (Figure 5). Ce rythme était exactement le même que celui renseigné dans les SMS d'alerte. Ainsi, dans un intervalle de 20 secondes environ après la détection de danger, les médecins et secouristes en étaient avertis. La position du patient a été visualisée dans Google Earth à partir des coordonnées géographiques reçues dans les SMS.

III. DISCUSSION

L'étude est la modélisation d'un système de télésurveillance pour les patients de différentes spécialités médicales à partir de diverses fonctions vitales. Ainsi, le système a l'avantage d'être flexible au niveau des patients d'autant plus que chacun d'eux doivent être équipés d'un terminal portable séparé en deux modules communiquant par Bluetooth. D'ailleurs, le Bluetooth est connu et reconnu aujourd'hui être compatible avec les systèmes de santé (Lucani, 2006) donc son utilisation pour la transmission des données n'a

pas d'impact sur la santé des malades. Le module B du terminal patient doit être utilisable pour toutes les spécialités médicales à part que l'application de traitement qui doit être installée sur ce module doit être propre à la fonction vitale à surveiller. Toujours en ce qui concerne l'application de traitement, seuls les algorithmes de traitements et de diagnostics automatiques doivent changer en fonction de la spécialité ou d'ailleurs selon le paramètre physiologique à surveiller. Le système de Belgacem et Bereksi-Reguig (2011) ne prend en compte que l'ECG et le module qui fait l'acquisition et le traitement du signal est un système embarqué. Ainsi, pour prendre en compte un autre paramètre physiologique, un autre module embarqué doit être fabriqué ce qui doit rendre ce genre de système très coûteux pour toutes les spécialités médicales contrairement au système proposé ici. En effet, au niveau du système proposé ici, seul le module d'acquisition (module A) change en fonction du paramètre physiologique à surveiller.

La plupart des systèmes déjà implémentés comme ceux de Zu-xiang et Da-kun (2007) et de Dehghani et al. (2010) ne possèdent pas de mode d'alerte automatique en cas de danger mais plutôt une visualisation à distance en temps réel des données biomédicales. Ceux qui possèdent un mode d'alerte comme celui de Belgacem et Bereksi-Reguig (2011) ne proposent que l'appel automatique des secours. Quant au système modélisé ici, il dispose d'un appel vocal et de plusieurs SMS d'alerte qui sont deux modes d'alerte en cas de danger. Par conséquent, la probabilité qu'aucune alerte ne parvienne à destination est ainsi très minimisée. En plus, le système de la présente étude propose aussi la visualisation en temps réel des données biomédicales.

La mise en œuvre du système ne nécessite pas l'installation de nouveaux réseaux de télécommunications car le système est basé sur les réseaux de mobiles préexistants pour la communication et la transmission des données. En conséquence, le déploiement du système doit revenir peu onéreux d'autant plus que seuls les modules A et B doivent être commandés aux équipementiers. Le coût du module A doit être relatif au paramètre physiologique à surveiller. Ainsi, le coût du module A doit être par exemple plus onéreux pour l'ECG que pour le PCG parce que les capteurs de potentiels électriques sont plus coûteux que les microphones excellents capteurs de sons. Quant au module B, il doit avoir la configuration d'un subnotebook classique à part qu'il nécessite depuis la fabrication, l'ajout d'un modem GSM/GPRS et d'un récepteur GPS.

CONCLUSION

La conception d'un système optimisé de télésurveillance des patients constitue la charpente de l'étude. Ainsi, après avoir d'abord catalogués les

besoins comme des spécifications fonctionnelles et non fonctionnelles et ensuite soulignés les cas d'utilisation, puis la méthodologie proposée a conduit à un modèle optimisé du système de télésurveillance des patients. Tout le système optimisé est réalisé selon les quatre diagrammes suivants : le diagramme de séquence global du système ; le diagramme de séquence du terminal patient ; l'architecture du système de télésurveillance des patients ; la synoptique du terminal patient. Ainsi, les données biomédicales du patient sont transmises en temps réel ou en cas de danger en combinant l'utilisation des réseaux GSM/GPRS/UMTS et WPAN. Plusieurs applications sont susceptibles d'être déduites du modèle proposé dans l'étude.

REMERCIEMENTS

Le collectif des auteurs adresse ses sincères remerciements au directeur général du CNHU-HKM, au professeur AGBOTON Hyppolite du service de cardiologie, aux enseignants des départements de Génie Electrique et de Génie Informatique et Télécommunication de l'EPAC/UAC et au chef du service de maintenance du CNHU-HKM.

RÉFÉRENCES

- Belgacem N, Bereksi-Reguig F. 2011. Bluetooth portable device for ECG and patient motion monitoring. *Nature & Technology*, 04:19–23.
- Costin HN, Puscoci S, Rotariu C, Dionisie B, Cimpoesu MC. 2006. A multimedia telemonitoring network for health-care. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 17:113–118.
- Dehghani MJ, Shahabinia AR, Safavi AA. 2010. Implementation of wireless data transmission based on Bluetooth technology for biosignals monitoring. *World Applied Sciences Journal*, 10:287–293.
- Giorgio A. 2009. Innovative medical devices for telemedicine applications. In *Tech-Telemedicine Techniques and Applications*. Unpublished.
- Lucani D, Cataldo G, Cruz J, Villegas G, Wong S. 2006. A portable ECG monitoring device with bluetooth and holer capabilities for telemedicine applications. *Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference*, 5244–5247.
- Médénou D, Adédjouma AS, Tandjè, SHA. 2013. Remote monitoring of patients of Cardiology Department of the Benin National Teaching University Hospital (CNHU-HKM). *International Journal of Computer and Information Technology*, 2:357–363.

- Zu xiang F, Da-Kun L. 2007. Uninterrupted ECG mobile monitoring. *International Journal of Bioelectromagnetism*, 9: 33–34.

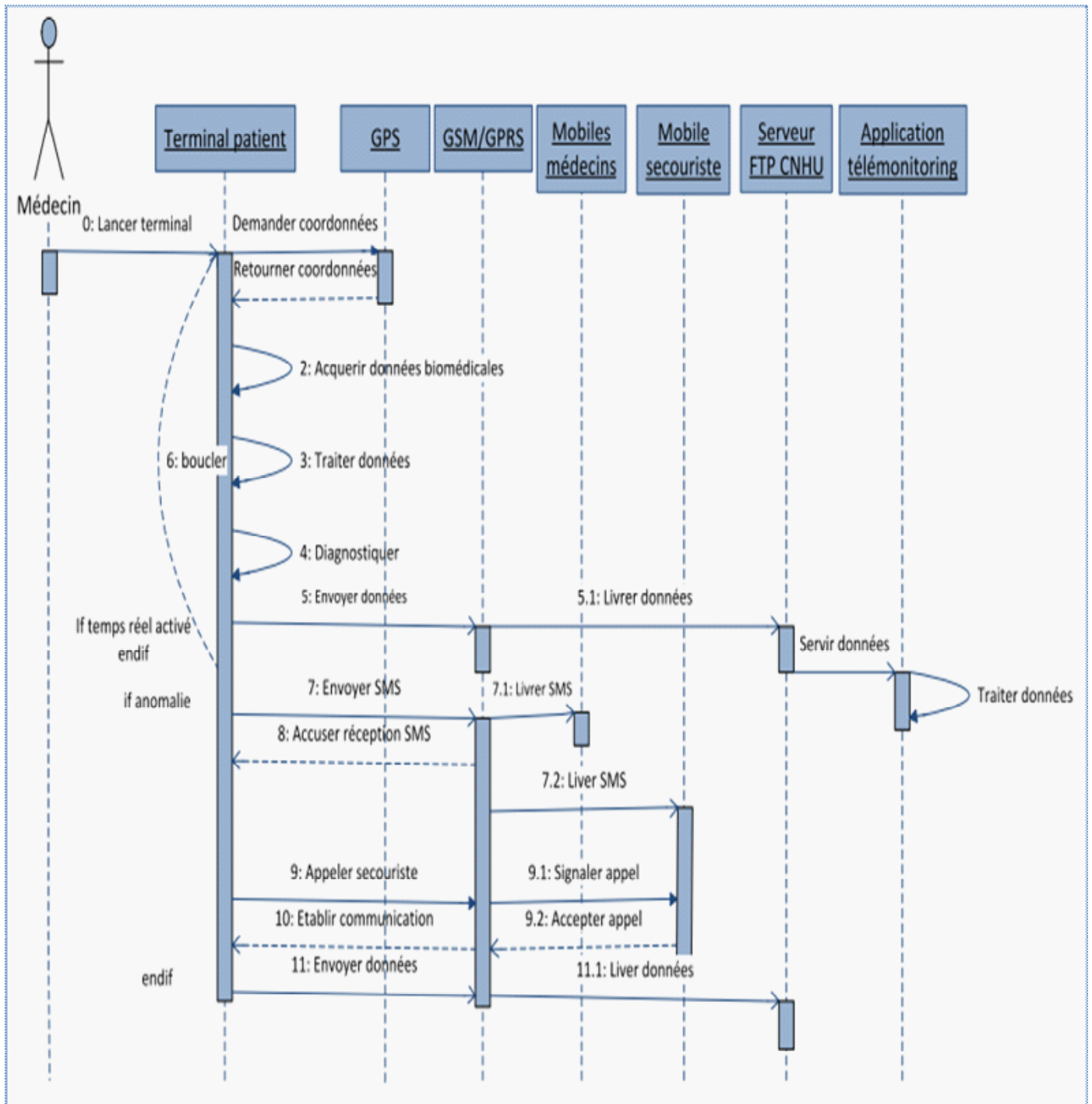


Figure 1 : Diagramme de séquence global du système

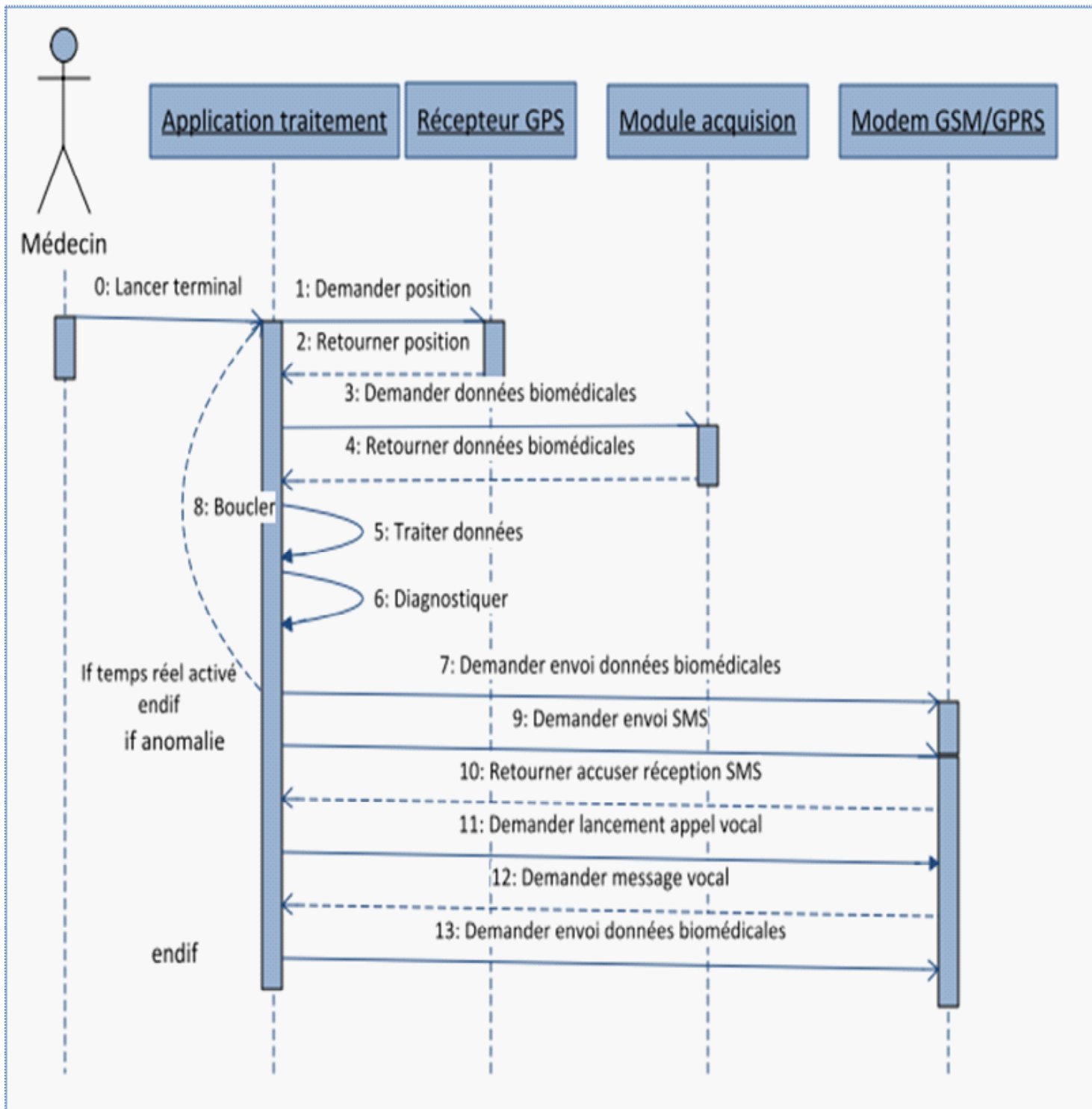


Figure 2 : Diagramme de séquence du terminal patient

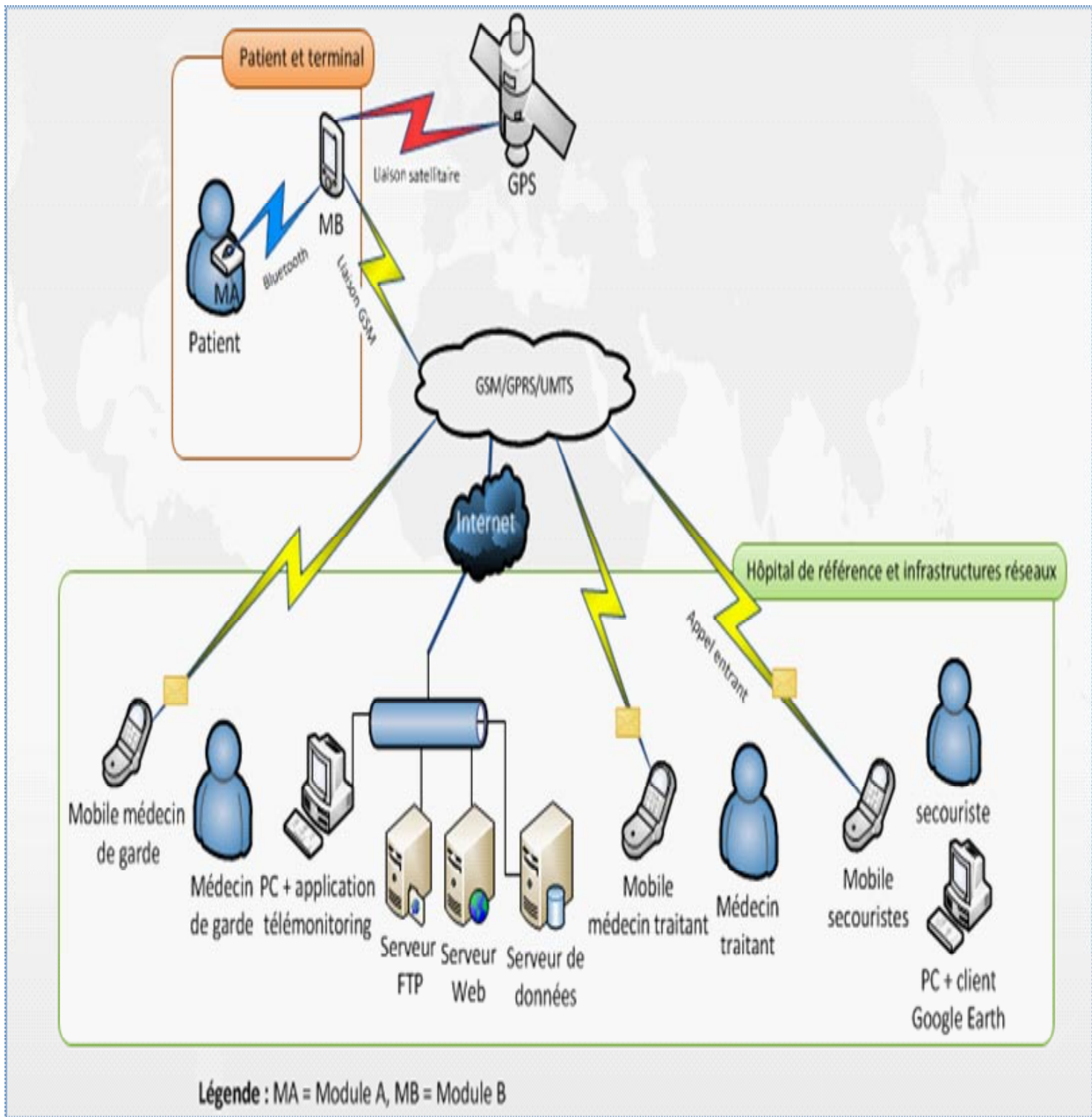


Figure 3 : Architecture du système de télésurveillance des patients

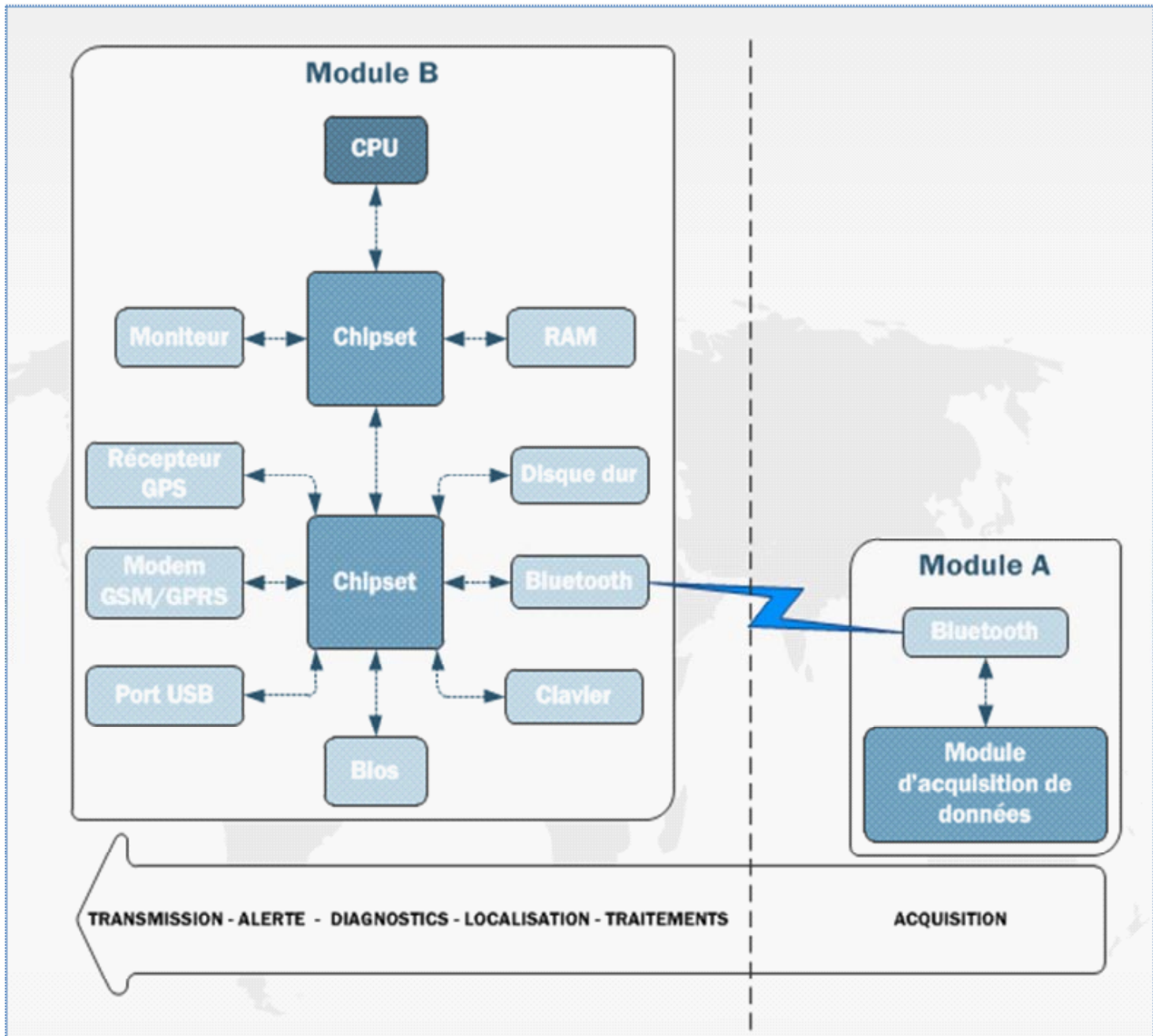


Figure 4 : Synoptique du terminal patient

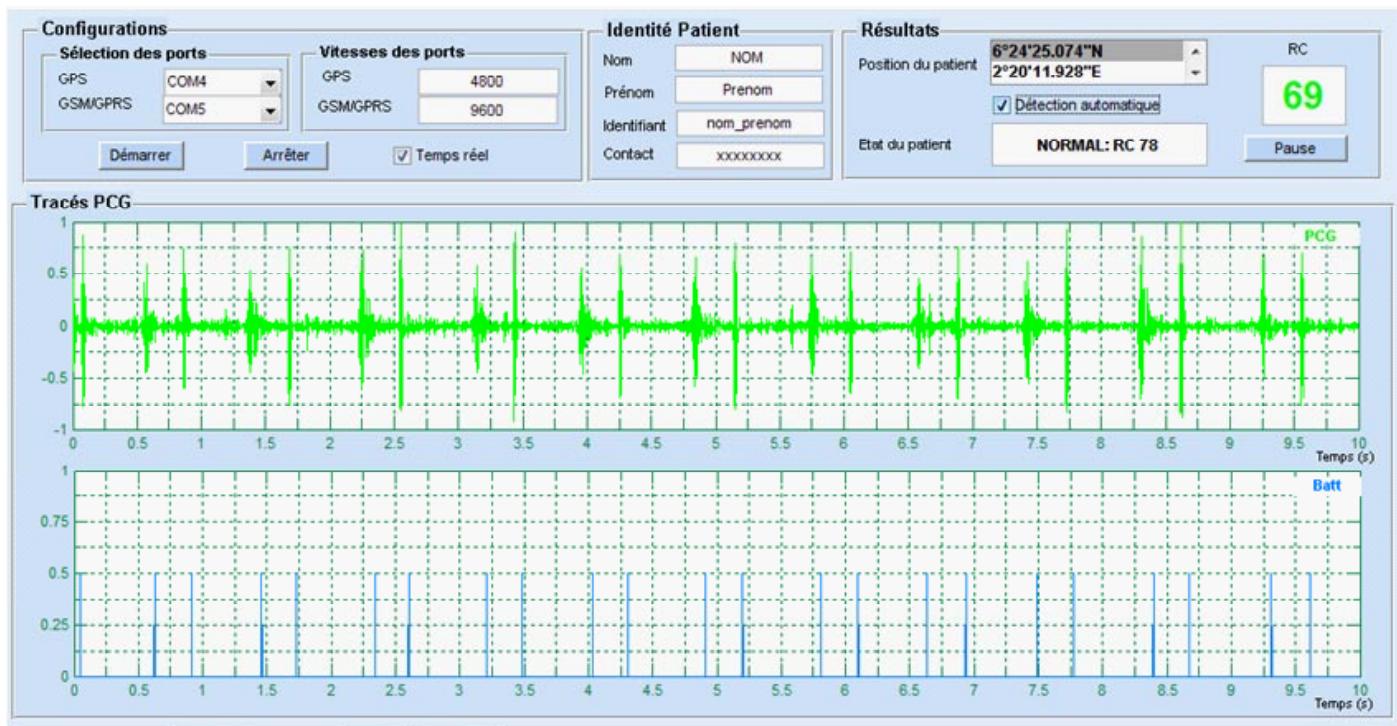


Figure 5: Application de traitement sur le module B