

## Etude d'un instrument numérique assisté par ESP32 de géolocalisation et de détection de l'ECG d'enfant

### [ Study of a digital instrument assisted by ESP32 for geolocation and detection of children's ECGs ]

*Solange Bassok and Jean Mbihi*

Laboratoire de Génie Informatique et Automatique, ENSET, Université de Douala, Cameroon

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This This paper presents the study of an ESP32-assisted instrument for geolocation and detection of child ECG. The aim is to highlight the ingenuity and interest of the proposed instrument. This instrument differs from most similar products in existence by its multiple geolocation features of the child based on a GPS module (Ex: Type NEO-6M-0-001), and telemetry of the child's heart rate by ECG probe (e.g. type AD8232). Analog-to-digital conversion and digital processing of vital GPS and ECG signals on the child's body is a microcontroller mini-card (e.g. ESP32), which then transmits digitally reconstructed vital parameters via a computer. The algorithm of the proposed instrument, is implemented using the CAD software Arduino/EDI - C++, followed by the download of the executable code on target ESP32 and the real-time test successfully on a child model of 1 year 6 months. Local measurement and monitoring results of geolocation and acquisition of ECG are satisfactory. We plan to extend the local virtual monitoring technology of this new instrument, to cases of mobile Android targets via the Internet.

**KEYWORDS:** Electronic instrument, geolocation, detection, ESP32 Wifi, GPS modules, ECG.

**RESUME:** Cet article présente l'étude d'un instrument assisté par l'ESP32 de géolocalisation et de détection de l'ECG pour enfant. Le but est de ressortir l'ingéniosité et l'intérêt de l'instrument proposé. Cet instrument se distingue de la plupart des produits similaires existants, par ses fonctionnalités multiples de géolocalisation de l'enfant à base d'un *module GPS* (Ex: Type NEO-6M-0-001), et de télémessure du rythme cardiaque de l'enfant par sonde ECG (ex: type AD8232). La conversion analogique-numérique ainsi que le traitement numérique des *signaux vitaux GPS et ECG* captés sur le corps de l'enfant, est une minicarte à microcontrôleur (ex: *ESP32*), chargé de transmettre ensuite les paramètres vitaux reconstitués numériquement, via un ordinateur. L'algorithme de l'instrument proposé, est mis en œuvre à l'aide du logiciel de CAO Arduino/EDI – C++, suivi du téléchargement du code exécutable sur cible ESP32 et du test en temps réel avec succès sur un enfant mannequin de 1 an 6 mois. Les résultats de mesure et de monitoring local de la géolocalisation et de l'acquisition de l'ECG sont satisfaisants. Nous envisageons étendre la technologie de monitoring virtuelle locale de ce nouvel instrument, au cas de cibles Android mobiles via Internet.

**MOTS-CLEFS:** Instrument électronique, géolocalisation, détection, ESP32 Wifi, modules GPS, ECG.

## 1 INTRODUCTION

Malgré le développement des instruments biomédicaux de télésurveillance [1] – [4] comme les traceurs, les bracelets électroniques [5], [6], les montres PPG [7], les phénomènes de vols, de disparitions et d'enlèvements d'enfant se répandent de façon exponentielle [8]. On peut dénombrer plus de 30000 disparitions chaque jour [9] – [11] et près de 500000 au Cameroun [8], [12]. Dans le contexte camerounais et occidental, ces disparitions ne sont plus des phénomènes nouveaux, ni des pratiques isolés [8]. A cet effet des croisades sont organisées dans le but de dissuader des potentiels voleurs d'enfants et aussi sensibiliser les parents via les sites internet à être plus vigilants dans la surveillance de ces derniers [8], [13], [14].

Sur le plan international, certains dispositifs comme les bracelets électroniques anti-kidnapping à la maternité [5] ont vu le jour et sont équipés d'une puce électronique pour lutter contre les disparitions [6] et les enlèvements d'enfants. Le boîtier de ces bracelets est fixé à la cheville du nourrisson, par une attache réglable équipée d'un émetteur. Il contient une puce, activée depuis un ordinateur central. Et des récepteurs sont installés dans tout le service de maternité, ainsi qu'aux accès qui le desservent (escalier et ascenseurs). Si

l'émetteur sort du périmètre défini, l'alarme se met en route. « Elle se déclenche aussi si l'on sectionne l'attache » [5]. D'autres bracelets électroniques sont embarqués d'un GPS pour le suivi des enfants, des malades et des prisonniers. Ils sont généralement reliés au réseau des forces de l'ordre, aux centres hospitaliers, aux services pénitenciers, et à celui des opérateurs en téléphonie mobile. Une fois fait, il sera possible de localiser toute personne enlevée, disparue, perdue avec son téléphone portable, notamment les enfants qui sont la cible favorite de ces kidnappeurs [15] – [17]. Le GPS, permet le repérage spatial grâce à un immense réseau constitué de 24 satellites (dont 3 de secours) tournant autour de la Terre (environ 2 tours en 24 heures) à une altitude de 20 200 km et répartis sur 6 orbites (4 par orbite) différentes [18] – [20]. Pour qu'un terminal soit capable de localiser grâce au réseau GPS, celui-ci doit être équipé d'une puce électronique GPS. Il existe également des bracelets électroniques biomédicaux qui permettent la mesure et la surveillance des paramètres biologiques qui sont: la température, le rythme cardiaque, la pression artérielle et le rythme respiratoire grâce à un système de photo-pléthysmographie (PPG) [7], [21], [22] qui est une méthode optique non invasive permettant d'évaluer les variations du volume sanguin dans les tissus superficiels par la variation de l'absorption de lumière dans ces tissus. Cette méthode permet également de déterminer le niveau d'oxygénation. Les oxymètres de pouls sont généralement fixés au doigt ou à l'oreille [7].

Mais le problème avec ces bracelets à usage public, est qu'ils n'empêchent pas la vigilance du personnel, ni celle des parents [5]. Ces bracelets électroniques de localisation pour enfants, ne sont pas tous équipés d'un GPS et d'un dispositif d'acquisition de mesures biologiques des données vitales comme le PPG. Même si la mesure optique présente de nombreux avantages (facilité d'utilisation, faible coût,...), la mesure fournie est moins précise que celle obtenue avec un ECG. Ce système permet par exemple la mesure du pic de l'onde R, qui est utilisé dans le diagnostic de certaines pathologies [7]. L'ECG reste la méthode de mesure de référence dans le cadre médical [7]. C'est par son aspect pas assez pratique et son coût que la mesure optique (PPG) s'est imposée comme outil de mesure privilégié pour le monitoring non critique. Dans cet article, un nouveau modèle d'instrument numérique combiné est proposé pour la géolocalisation et la détection de l'ECG d'enfant. Les outils et méthodes de conception et de mise en œuvre de cet instrument sont présentés dans la section 2. Puis, les résultats, des tests effectués sur un mannequin enfant sont présentés et discutés. Enfin, la conclusion de l'article est mise en évidence dans la section 3.

## 2 OUTILS ET MÉTHODES

### 2.1 SCHÉMA BLOC DE L'INSTRUMENT PROPOSÉ

Le schéma bloc présenté à la figure 1 va décrire la structure architecturale de l'instrument proposé. Les spécificités de chaque dispositif consécutifs seront ensuite décrites.

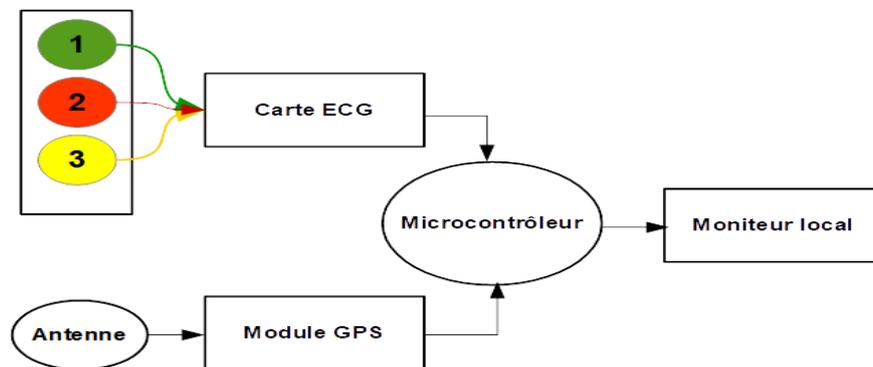


Fig. 1. Schéma bloc de l'instrument proposé

#### 2.1.1 MICROCONTRÔLEUR

Dans cette partie nous allons présenter le microcontrôleur à utiliser pour la mise en œuvre de l'instrument.

##### 2.1.1.1 BESOINS TECHNIQUES

Le processus de traitement de donnée part du principe suivant: le microcontrôleur interagit avec les différents capteurs ECG et GPS. Elle récupère le signal fini issu de chacun d'entre eux et agit en conséquence.

##### 2.1.1.2 CHOIX DE L'ESP32

Nous avons opté pour le microcontrôleur ESP32 (voir figure 2) car elle embarque à la fois le wifi et Bluetooth. La carte ESP32 interagit avec les différents capteurs. Elle récupère le signal issu de chacun d'entre eux et agit en conséquence [23] - [24] - [25] - [26].

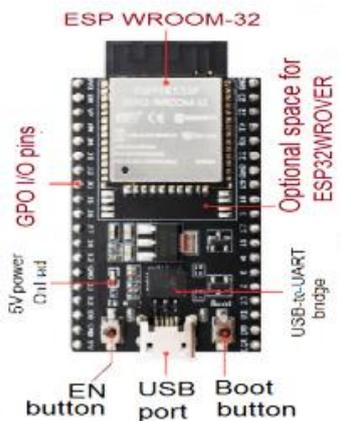


Fig. 2. Microcontrôleur ESP32 et ses caractéristiques. [27], [28]

Carte de développement Wifi+Bluetooth double mode 2,4 GHz ; Ultra-faible consommation d'énergie, fonctionne parfaitement en IDE Arduino ; prise en charge du protocole LWIP, Freertos ; Prise en charge de trois modes : AP, STA, et AP+STA ; ESP32 est un outil sûr, fiable et évolutif pour une variété d'applications ; Vcc 3.3 V

2.1.2 ACQUISITION DU STATUT ECG

2.1.2.1 PROCESSUS PHYSIQUE DE CAPTURE DE L'ECG

La capture du signal électrocardiogramme ECG est l'enregistrement de l'activité électrique du cœur. L'ECG peut être divisé en différentes ondes appelées PR à QT. Le complexe QRS (ondes QRS) reflète la dépolarisation des ventricules et l'onde T est leur repolarisation. [7], [29], [30], [31].

2.1.2.2 CHOIX DE SONDAS ET DE LA CARTE ECG

Pour obtenir le statut vital de l'enfant nous avons fait appel à un détecteur de fréquence cardiaque l' ECG AD8232 [32] présenté à la figure 3.



Fig. 3. Carte et sondes ECG [30], [32]

2.1.3 ACQUISITION DE POSITION GPS

2.1.3.1 PROCESSUS PHYSIQUE DE CAPTURE DE POSITION

Le modèle de localisation que nous avons choisi est la géolocalisation par satellite. Cette localisation consiste à calculer, grâce aux signaux émis par une constellation de satellites prévue à cet effet, la position de quelqu'un à l'aide d'un terminal équipé d'une puce GPS [13], [23], [24]. Le principe de base du positionnement par satellite repose sur la triangulation [33], [34] – [37].

**Le modèle mathématique de la triangulation** [38], [39]

$$d = \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} \tag{1}$$

$$v = d/t \Rightarrow d = vt \tag{2}$$

$$vt = \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} \tag{3}$$

- $d$  = distance
- $v$  = vitesse de la lumière =  $3 \times 10^8$
- $t$  = temps

### 2.1.3.2 CHOIX DE MODULES GPS

Pour localiser notre sujet nous avons utilisé un récepteur GPS NEO-6M-0-001 présenté à la figure 4 [41], [42]. Cette carte comprend le module GPS u-blox NEO-6M avec antenne et intégré EEPROM. Ceci est compatible avec diverses cartes de contrôleur de vol conçues pour fonctionner avec un Module GPS HW-539 (NEO-6M-0-001) [41] – [43].



Fig. 4. Module GPS NEO-6M-0-001

Caractéristiques [2]: Plage d'alimentation: 3 V à 5 V; Vitesse en baud: 9600; Protocole de communication: UART, SPL, USB, DDC; Type de récepteur: 50 Canaux; Sensibilité de recherche et de navigation: - 161 dBm; Précision GPS de la position horizontale: b2.5

## 2.2 BANC D'ESSAIS DE L'INSTRUMENT PROPOSÉ

La photo du banc d'essais développé et mis en œuvre pour le prototypage de l'instrument est présentée à la figure 5.

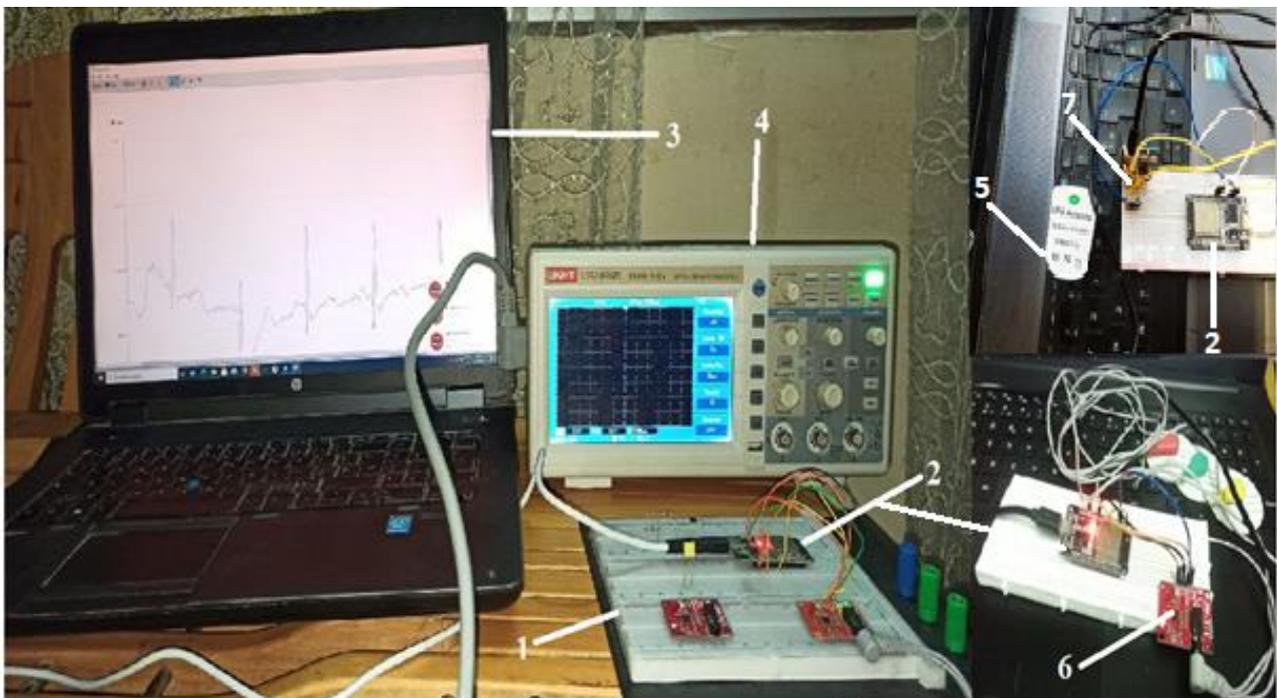


Fig. 5. Banc d'essais de l'instrument proposé

1-Plaque à essai; 2- ESP32; 3- Laptop/PC avec installation de l'IDE Arduino/C++; 4- UNI-T UTD2102CEL 100Mhz 1GS/s Digital Storage Oscilloscope; 5- GPS NEO-6M-0-001; 6- ECG AD8232; 7- Antenne GPS.

2.3 SCHÉMA ALGORITHMIQUE DU SKETCH ARDUINO/C++ DE L'INSTRUMENT

L'algorithme permettant de comprendre la logique, l'ordonnancement et la logique opérationnelle des tâches qui tournent dans le noyau de l'ESP32, sous forme de code exécutable du sketch Arduino/C++ développé en temps d'exécution est présenté à la figure 6.

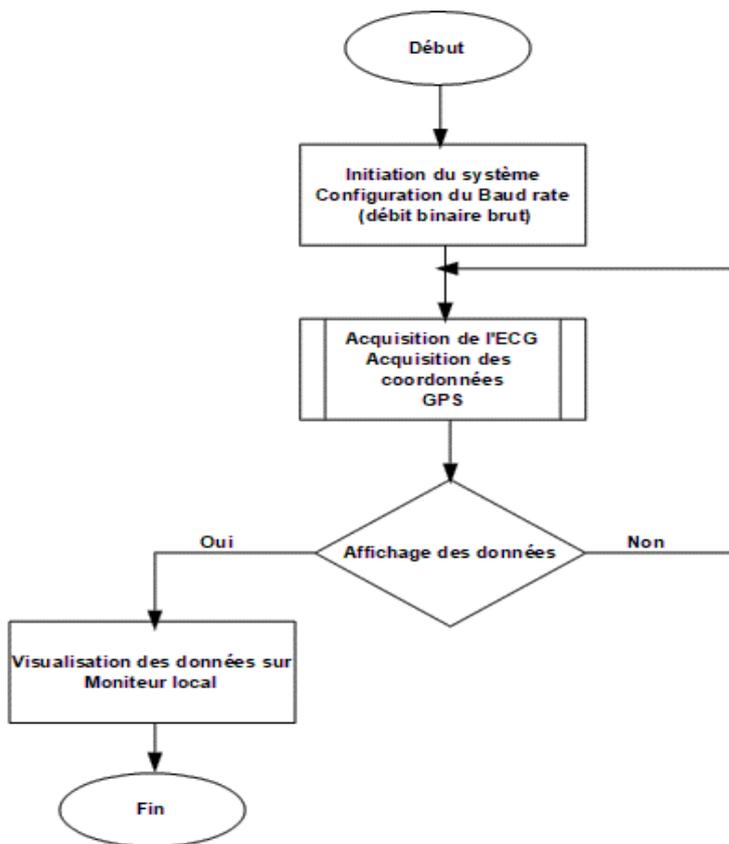


Fig. 6. Schéma algorithmique du sketch Arduino/C++ de l'instrument

Les sous programmes de la macroétape acquisition de l'ECG et des coordonnées GPS sont développés à la figure 7.

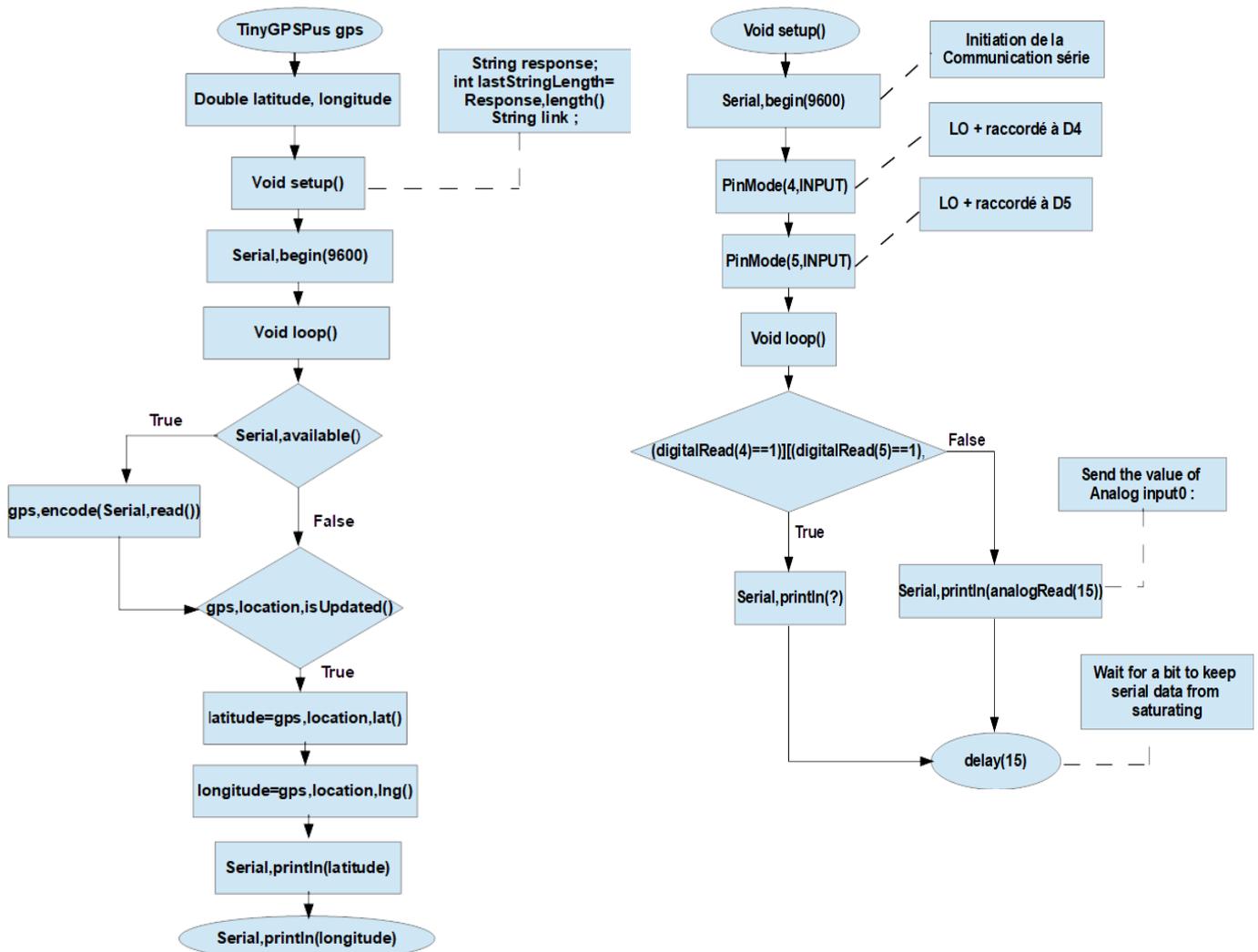


Fig. 7. Schéma algorithmique du sketch GPS et ECG

### 2.3.1 SKETCH ARDUINO/C++ DE L'ACQUISITION DES SIGNAUX L'ECG DE L'INSTRUMENT

La figure 8 présente un aspect du sketch Arduino/C++ de l'acquisition des signaux l'ECG et l'ESP32 de l'enfant

```

    acquisition_des_sgnaux_ECG_ESP32 | Arduino 1.8.12
    Fichier Édition Croquis Outils Aide

    acquisition_des_sgnaux_ECG_ESP32
    void setup() {
    // initialisation de la communication série
    Serial.begin(9600);
    pinMode(4, INPUT); // LO + raccordé à D4
    pinMode(5, INPUT); // LO - raccordé à D5
    }

    void loop() {
    if((digitalRead(4) == 1) || (digitalRead(5) == 1)){
    Serial.println('!');
    }
    else{
    // send the value of analog input 0:
    Serial.println(analogRead(15));
    }
    //Wait for a bit to keep serial data from saturating
    delay(1);
    }
  
```

Fig. 8. Aspect du Sketch Arduino/C++ de l'instrument

### 2.3.2 SKETCH ARDUINO/C++ DE L'ACQUISITION DES COORDONNÉES GPS DE L'INSTRUMENT

La figure 9 présente également un aspect du sketch Arduino/C++ de l'acquisition des coordonnées GPS de l'enfant.

```

#include <TinyGPS++.h>
#include <SoftwareSerial.h>
static const int RXPin = 4, TXPin = 3;
static const uint32_t GPSSpeed = 9600;

// The TinyGPS++ object
TinyGPSPlus gps;

// The serial connection to the GPS device
SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin);

void Setup()
{
  Serial.begin(9600);
  ss.begin(GPSSpeed);
  Serial.print(F("Testing TinyGPS++ library v. ")); Serial.println(TinyGPSPlus::libraryVersion());
}

void loop()
{
  // This sketch displays information every time a new sentence is correctly encoded.
  while (ss.available() > 0)
  {
    if (gps.encode(ss.read()))
      displayInfo();
  }

  if (millis() > 5000 && gps.charsProcessed() < 10)
  {
    Serial.println(F("No GPS detected: check wiring."));
    while(true);
  }
  delay(100);
}

void displayInfo()
{
  Serial.print(F("Location: "));
  if (gps.location.isValid())
  {
    Serial.print(gps.location.lat(), 6);
    Serial.print(F(", "));
    Serial.print(gps.location.lng(), 6);
  }
  else
  {
    Serial.print(F("INVALID"));
  }
  Serial.print(F(" Date/Time: "));
  if (gps.date.isValid())
  {
    Serial.print(gps.date.month());
    Serial.print(F("/"));
    Serial.print(gps.date.day());
    Serial.print(F("/"));
    Serial.print(gps.date.year());
  }
  else
  {
    Serial.print(F("INVALID"));
  }
  Serial.print(F(" "));
  if (gps.time.isValid())
  {
    if (gps.time.hour() < 10) Serial.print(F("0"));
    Serial.print(gps.time.hour());
    Serial.print(F(":"));
    if (gps.time.minute() < 10) Serial.print(F("0"));
    Serial.print(gps.time.minute());
    Serial.print(F(":"));
    if (gps.time.second() < 10) Serial.print(F("0"));
    Serial.print(gps.time.second());
    Serial.print(F("."));
    if (gps.time.centisecond() < 10) Serial.print(F("0"));
    Serial.print(gps.time.centisecond());
  }
  else
  {
    Serial.print(F("INVALID"));
  }
}
    
```

Fig. 9. Aspect sketch Arduino/C++ des coordonnées GPS

## 2.4 ESSAIS D'ACQUISITION DE L'ECG

Nous allons présenter les techniques ou stratégies que nous avons utilisé pour l'acquisition ou l'enregistrement de l'ECG d'un nourrisson de 1 an à 6 mois au moment de la prise. Bien que les indications pour réaliser un ECG chez l'enfant soient les mêmes que chez un adulte [44], il faut noter qu'il est difficile d'obtenir l'ECG d'un nourrisson de 0 à 6 ans. Ceci à cause des problèmes techniques liés à l'agitation des enfants en bas âge [45], [14]. Nous avons fait plusieurs prises jusqu'à trouver celle qui nous donnait un meilleur signal.

### 2.4.1 PREMIERS ENREGISTREMENTS DE L'ECG DE L'ENFANT

Notre enfant dans la première prise du signal était tellement en mouvement que nous avons sollicité la présence de sa maman pour le stabiliser comme le présente la figure 10 a. La pose des électrodes s'est faite comme celle d'un adulte [32]. Il est conseillé de mettre les coussinets des électrodes proches du cœur pour une meilleure acquisition du signal [32]. Mais dans notre première pose d'électrodes, nous n'avons pas tenu compte du conseil. Nous avons placé les électrodes aux deux extrémités des saillants et non près du cœur. Et nous avons laissé l'enfant les pieds nus à même le sol.

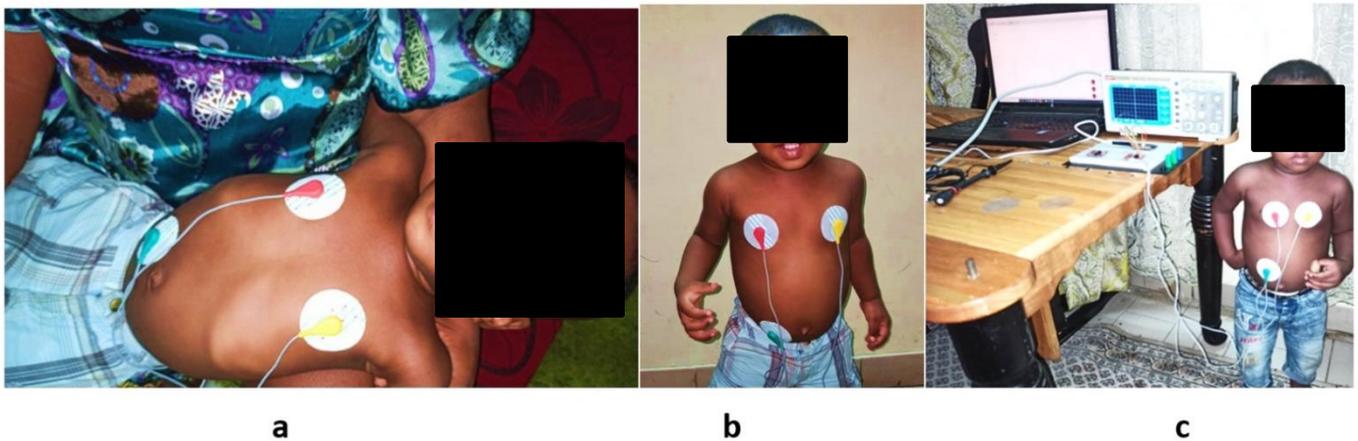
### 2.4.2 SECONDS ENREGISTREMENTS DE L'ECG DE L'ENFANT

Ici l'enfant a commencé à s'accommoder aux expériences faites sur lui (voir figure 10.b). Il a accepté sans beaucoup d'efforts que les électrodes soient disposées sur lui. Sauf que pour le maintenir stable et debout, nous lui avons donné beaucoup de friandises. Il fallait par moment utiliser l'autorité de son père pour qu'il soit calme et qu'il n'enlève pas les électrodes posées sur lui. Nous avons changé plusieurs coussinets, car il transpirait et cela décollait naturellement ces derniers. Les électrodes à ce niveau ont toujours été placées aux extrémités au niveau des saillants. Le sujet était debout, pieds nus

### 2.4.3 DERNIERS ENREGISTREMENTS DE L'ECG DE L'ENFANT

Ici les deux électrodes ont été placées plus près du cœur d'après les indications données dans [46] (voir figure 10.c). Les électrodes rapprochées vers le cœur, nous avons enlevé les pieds de l'enfant à même le sol. Nous l'avons soumis à des mouvements dont le but était de voir le comportement de son ECG.

La figure 10 regroupe les différents positionnements des électrodes sur l'enfant.



**Fig. 10. Placement des électrodes sur l'enfant**

(a) Et (b): électrodes aux extrémités sur les saillants; (a): l'enfant sur sa mère pour être stabilisé; (b): l'enfant les pieds à même le sol et en mouvement; (c): l'enfant pieds nus sur le tapis, les électrodes rapprochées du cœur.

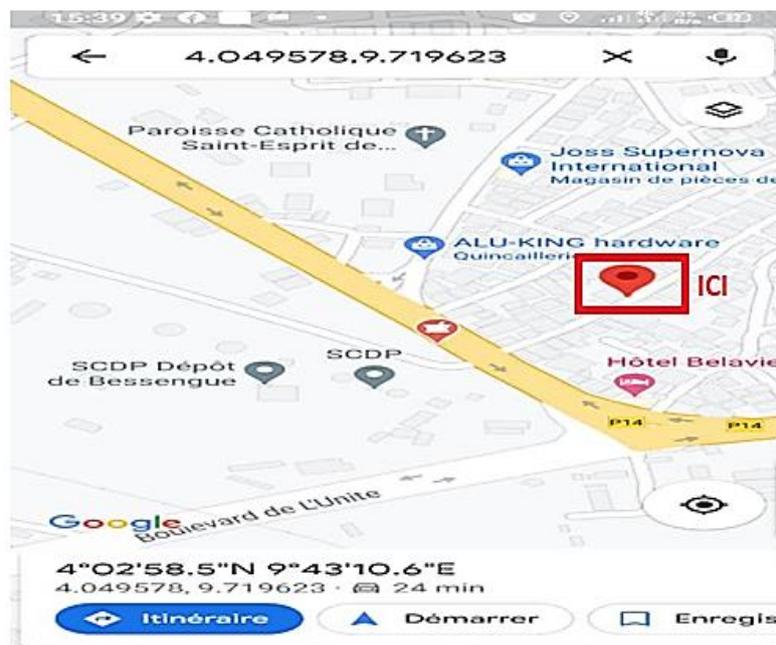
## 2.5 ESSAIS D'ACQUISITION DU GPS

Le module GPS NEO – 6-0-001 a capté des ondes radios grâce à son antenne externe que nous avons connecté au module. Une fois que l'ESP32 reçoit les coordonnées venant du module GPS, une bibliothèque fournit des méthodes compactes et faciles à utiliser pour extraire la position, la date, l'heure, l'altitude, la vitesse et le parcours des appareils GPS, s'affichent à l'écran de l'ordinateur dans le moniteur virtuel USB d'Arduino C++. Le module GPS communique avec l'ESP32 grâce à la voie série. C'est donc la raison pour laquelle les broches TX et RX module seront reliées aux broches RX et TX de l'ESP32.

## 3 LES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

### 3.1 RÉSULTAT DE L'ACQUISITION DE LA POSITION

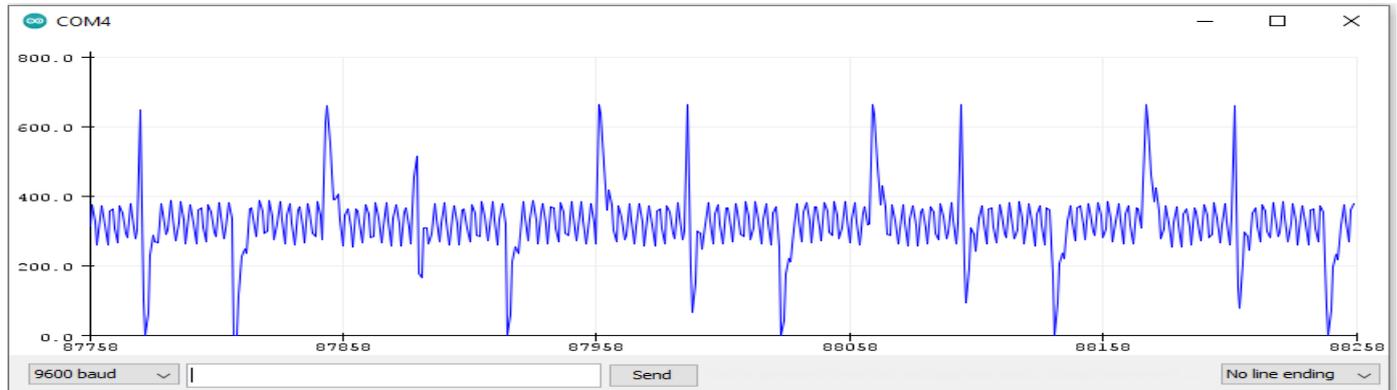
Les coordonnées ainsi obtenues, il suffit juste de copier le lien et de le coller dans Google Map et lancer la recherche qui permetta de localiser l'enfant (voir figure 11). l'enfant peut être localisé partout, il faut juste avoir la connexion internet et éviter d'être sur les dalles épaisses.



**Fig. 11. Résultats expérimentaux de captures de la position à l'aide du dispositif ESP32 et GPS NEO-6M-0-001**

### 3.2 RÉSULTATS D'ACQUISITION DES PREMIERS (A) ET SECONDS (B) ECG DE L'ENFANT DE 1 AN 6 MOIS.

Après avoir récupéré le signal prélevé sur le corps de l'enfant, le capteur ECG met à la disposition de l'ESP32, une fluctuation analogique (le signal de battements du cœur). En fonction du code défini dans l'EDI Arduino nous obtenons un signal ECG. La figure 12 illustre les ECG obtenus dans les placements (a) et (b)



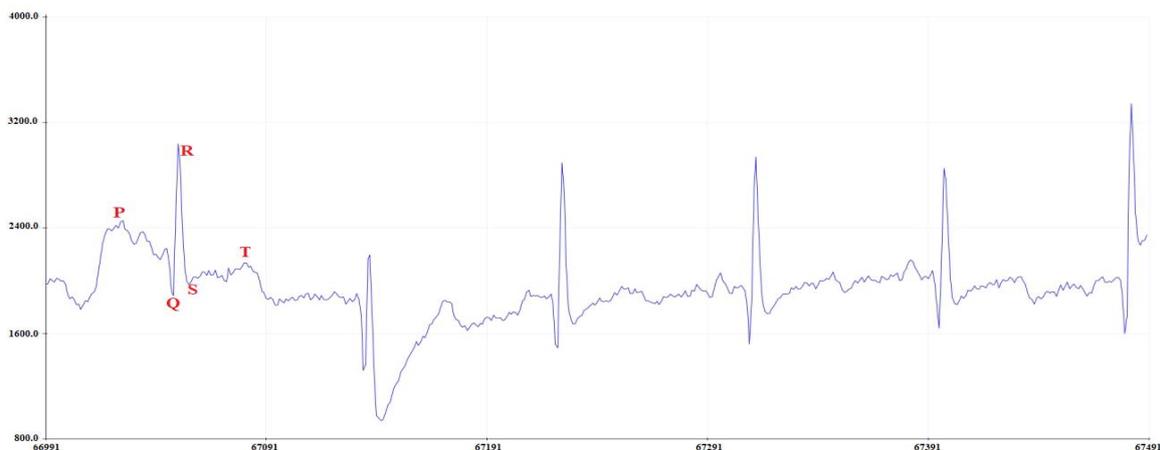
**Fig. 12. Signaux obtenus après l'acquisition (a) et (b)**

Le constat que nous faisons ici dans ces premiers signaux obtenus, est que les courbes sont trop resserrées, ce qui ne permet pas de distinguer le complexe des courbes (QRS, PR, ST, T). Le signal obtenu est vraiment mauvais et n'a aucun sens. Ceci pour plusieurs raisons:

- Les électrodes ECG ont été utilisé plus d'une fois;
- La position des électrodes n'a pas été faite en tenant compte des différences dues à la dominance ventriculaire droite;
- Chez les nourrissons et à l'évolution vers la dynamique adulte [46] bien que Les indications pour réaliser un ECG chez l'enfant sont les mêmes que chez l'adulte [44];
- Le fait que l'enfant ait les pieds à même le sol influence négativement le signal;
- La mauvaise source d'alimentation.

Résultats d'acquisition des derniers (c) ECG de l'enfant

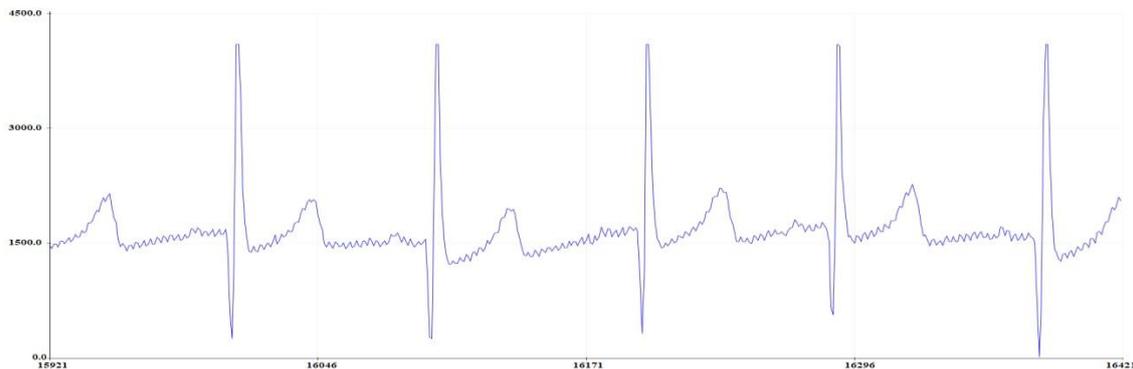
La figure 13 présente l'ECG de l'enfant en mouvement quand nous avons changé la position des électrodes en les ramenant tout près du cœur.



**Fig. 13. ECG de l'enfant en mouvement**

Nous observons que dans le signal obtenu, on peut mieux apprécier le complexe QRS. Rappelons que nous avons soumis l'enfant à des mouvements. On lui a demandé de danser.

La figure 14 illustre l'ECG de l'enfant au repos.



**Fig. 14.** ECG de l'enfant au repos

Les électrodes ont été disposées sur l'enfant en tenant compte du Guide de survie ECG pédiatrique [46] et de [44]. Dans ce guide, [46] la prise de l'ECG se fait avec une sonde ECG à 7 électrodes. Les électrodes V1 (4<sup>ième</sup> espace intercostal au bord droit du sternum) et V2 (4<sup>ième</sup> espace intercostal au bord gauche du sternum) sont rapprochées. N'ayant qu'une sonde ECG à 3 dérivations, nous avons disposé V1 et V2 suivant le guide pédiatrique et avons placé V3 suivant la représentation schématisée de l'architecture du système ECG et du placement des électrodes sur le corps humain [16].

#### 4 CONCLUSION

Le but de cet article était d'étudier un instrument numérique de géolocalisation et de détection l'ECG d'un enfant. Nous avons utilisé pour la capture de la position un module GPS NEO- 6M-0-001 et pour la capture ECG un module ECG AD8232. Le programme de traitement des données utilisées pour interagir avec les capteurs est le microcontrôleur ESP32 que nous avons programmé dans l'IDE Arduino C++. Au vu des résultats présentés et discutés, nous pouvons dire que nous avons atteint notre objectif. De façon expérimentale nous avons pu non seulement géolocaliser l'enfant, mais aussi enregistrer son signal ECG. Nous avons pour perspective de trouver un filtre numérique approprié permettant d'améliorer la qualité du signal ECG. Nous allons également prévoir un algorithme d'extraction de la fréquence du cœur en vue de l'associer au message à transmettre au terminal Android de monitoring à distance.

#### REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à la rédaction de cet article. Il s'agit:

- De BASSOK Solange, qui a étudié et fait le choix des différents composants électroniques qui ont servi pour la conception de l'instrument numérique de géolocalisation et de détection de l'ECG. Elle a également fait les différents essais expérimentaux et rédigé ledit article et financé le projet;
- Du Professeur titulaire MBIHI Jean. Le directeur de la recherche qui a expertisé ce travail. Il a suivi ce travail de bout en bout à savoir: donner le plan de tout le contenu de l'article, apporter les corrections à chaque fois afin d'avoir un travail de qualité;
- De Professeur SOSSO MAYI Olivier qui a corrigé le style linguistique
- De monsieur MFOUMI Vianney Stanley électronicien de formation, qui nous a apporté son aide dans le câblage de nos dispositifs électroniques de géolocalisation et de détection de l'ECG de l'enfant. A sortir les différents algorithmes des Sketchs.

## REFERENCES

- [1] N. Noury et al., « Capteurs pour la télésurveillance médicale. Capteurs, algorithmes et réseaux », IRBM, vol. 30, no 3, p. 93-103, juin 2009, doi: 10.1016/j.irbm.2009.04.004.
- [2] F. Duchêne, V. Rialle, et N. Noury, « Télésurveillance médicale à domicile: Proposition d'une architecture pour un système de détection de situations critiques et de décision sur l'état d'un patient », janv. 2002.
- [3] T. Tamura, T. Togawa, M. Ogawa, et M. Yoda, « Fully automated health monitoring system in the home », Medical Engineering, p. 7, 1998.
- [4] « Une caméra qui permet de voir à travers les vêtements vient de voir le jour à Lille », Gentside, avr. 16, 2015. [https://www.gentside.com/surveillance/une-camera-qui-permet-de-voir-a-travers-les-vetements-vient-de-voir-le-jour-a-lille\\_art68376.html](https://www.gentside.com/surveillance/une-camera-qui-permet-de-voir-a-travers-les-vetements-vient-de-voir-le-jour-a-lille_art68376.html) (consulté le sept. 09, 2020).
- [5] Le parisien, « Des bracelets anti-kidnapping à la maternité - Le Parisien ». <https://www.leparisien.fr/societe/des-bracelets-anti-kidnapping-a-la-maternite-11-04-2007-2007933682.php> (consulté le mai 25, 2021).
- [6] france24, « Des puces électroniques pour contrer les kidnappings », Enlèvement, Mexique, 2007. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.france24.com/fr/20080823-puces-electroniques-contrer-kidnappings-mexique-enl%C3%99>.
- [7] S. Bobbia, « Vers le développement d'un capteur photopléthysmographique sans contact », p. 156.
- [8] E. Georges, « TRAFIC D'ENFANTS AU CAMEROUN: QUAND LE DROIT NE DISSUADE PLUS LES BOURREAUX DES CADETS SOCIAUX », Ekona Dit le Droit, mars 21, 2015. <https://ekonaditdroit.wordpress.com/2015/03/21/le-traffic-denfants-au-cameroun-quand-le-droit-ne-suffit-plus/> (consulté le août 22, 2020).
- [9] slysdka, « les enfants kidnappés dans le monde », Le blog de slysdka.over-blog.net. [http://slysdka.over-blog.net/pages/Les\\_enfants\\_kidnapes\\_dans\\_le\\_monde-4715209.html](http://slysdka.over-blog.net/pages/Les_enfants_kidnapes_dans_le_monde-4715209.html) (consulté le août 22, 2020).
- [10] Damien Delseny, « En France, un enfant disparaît toutes les 10 minutes », leparisien.fr, mai 25, 2020. <https://www.leparisien.fr/faits-divers/en-france-un-enfant-disparait-toutes-les-10-minutes-25-05-2020-8322726.php> (consulté le août 22, 2020).
- [11] E. A. Schnitzer-Reese, « International Child Abduction to non-Hague Convention Countries: The need for an International Family Court », vol. 2, p. 19.
- [12] S. Ngono, « Les formes numériques de mobilisation dans des situations postautoritaires. Cas de la mobilisation des camerounais autour de l'affaire « l'affaire Éva », p. 12, 2018.
- [13] Rita Diba, « Croisade contre les enlèvements d'enfants : Le collectif "Au nom de nos enfants !" », Cameroun tribune, 2017.
- [14] « Un nouveau site pour sensibiliser aux disparitions d'enfants », La Croix, mai 22, 2014. Consulté le: août 22, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.la-croix.com/Actualite/France/Un-nouveau-site-pour-sensibiliser-aux-disparitions-d-enfants-2014-05-22-1154333>.
- [15] Vincent Rialle, Cathérine ollivet, Christophe brissonneau, Ethique évaluative d'une question récurrente : faut-il équiper de bracelets de géolocalisation les malades atteints de troubles cognitifs? 2013.
- [16] « Bracelet électronique : fonctionnement - Ooreka ». <https://justice.ooreka.fr/astuce/voir/527755/bracelet-electronique> (consulté le sept. 27, 2020).
- [17] Madaplus.info, « Madagascar : un bracelet muni d'un GPS pour lutter contre les kidnappings ou les fugues », juill. 25, 2013. [https://www.madaplus.info/Madagascar-un-bracelet-muni-d-un-GPS-pour-lutter-contre-les-kidnappings-ou-les-fugues\\_a7574.html](https://www.madaplus.info/Madagascar-un-bracelet-muni-d-un-GPS-pour-lutter-contre-les-kidnappings-ou-les-fugues_a7574.html) (consulté le août 23, 2020).
- [18] A. Auroy, M.-B. Badau, S. Bahou, P. Barreau, et S. Bernhardt, « Systèmes de Géolocalisation », p. 34.
- [19] W. El-Medany, A. Al-Omary, R. Al-Hakim, S. Al-Irhayim, et M. Nusaif, « A Cost Effective Real-Time Tracking System Prototype Using Integrated GPS/GPRS Module », in 2010 6th International Conference on Wireless and Mobile Communications, Valencia, Spain, sept. 2010, p. 521-525. doi: 10.1109/ICWMC.2010.104.
- [20] I. Allafi et T. Iqbal, « Design and implementation of a low cost web server using ESP32 for real-time photovoltaic system monitoring », in 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Saskatoon, SK, oct. 2017, p. 1-5. doi: 10.1109/EPEC.2017.8286184.
- [21] Y. Sun, C. Papin, V. Azorin-Peris, R. Kalawsky, S. Greenwald, et S. Hu, « Use of ambient light in remote photoplethysmographic systems: comparison between a high-performance camera and a low-cost webcam », J. Biomed. Opt., vol. 17, no 3, p. 037005, 2012, doi: 10.1117/1.JBO.17.3.037005.
- [22] « Capteur optique de fréquence cardiaque », Electronique-ECI, févr. 24, 2017. <https://www.electronique-eci.com/news/capteur-optique-de-frequence-cardiaque> (consulté le sept. 09, 2020).
- [23] S. Bipasha Biswas et M. Tariq Iqbal, « Solar Water Pumping System Control Using a Low Cost ESP32 Microcontroller », in 2018 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE), Quebec, QC, Canada, mai 2018, p. 1-5. doi: 10.1109/CCECE.2018.8447749.
- [24] R. B. de Lima et E. L. O. da Silva, « Prototype of a Single-Phase and Two-Phase Electric Power Meter for Residential Consumption Monitoring Using an ESP32 », in Proceedings of the 4th Brazilian Technology Symposium (BTSym'18), vol. 140, Y. Iano, R. Arthur, O. Saotome, V. Vieira Estrela, et H. J. Loschi, Éd. Cham: Springer International Publishing, 2019, p. 623-631. doi: 10.1007/978-3-030-16053-1\_61.

- [25] P. Foltýnek, M. Babiuch, et P. Šuránek, « Measurement and data processing from Internet of Things modules by dual-core application using ESP32 board », *Measurement and Control*, vol. 52, no 7-8, p. 970-984, sept. 2019  
doi: 10.1177/0020294019857748.
- [26] T. Kodera, « Adaptive antenna system by ESP32-PICO-D4 and its application to web radio system », *HardwareX*, vol. 3, p. 91-99, avr. 2018, doi: 10.1016/j.ohx.2018.03.001.
- [27] « HiLetgo ESP-WROOM-32 ESP32 ESP-32S Development Board 2.4GHz Dual-Mode WiFi + Bluetooth Dual Cores Microcontroller Processor Integrated with Antenna RF AMP Filter AP STA for Arduino IDE: Buy Online at Best Price in UAE - Amazon.ae ». <https://www.amazon.ae/HiLetgo-ESP-WROOM-32-Development-Microcontroller-Integrated/dp/B0718T232Z> (consulté le juin 08, 2021).
- [28] P. O. Etouké, L. N. Nneme, et J. Mbihi, « ESP32-Based Workbench for Digital Control Systems of Duty-Cycle Modulation Buck Choppers », p. 6, 2020.
- [29] A. Boehm, X. Yu, W. Neu, S. Leonhardt, et D. Teichmann, « A Novel 12-Lead ECG T-Shirt with Active Electrodes », *Electronics*, vol. 5, no 4, p. 75, nov. 2016, doi: 10.3390/electronics5040075.
- [30] « AD8232 Heart Rate Monitor Hookup Guide - learn.sparkfun.com ». <https://learn.sparkfun.com/tutorials/ad8232-heart-rate-monitor-hookup-guide/all> (consulté le oct. 04, 2020).
- [31] AMRI MOHAMED CHAKIB, « Développement et réalisation d'un électrocardiographe ECG », 2017.
- [32] Mr. Alam, « ECG Graph Monitoring with AD8232 ECG Sensor & Arduino ». mars 07, 2019. Consulté le: oct. 06, 2020.
- [33] Mr HEFHAF Nedhir, « Etudes et simulation d'une approche de localisation 2D et source d'émission VHF, UHF par goniométrie et triangulation ». 2017 2016.
- [34] SEGHIER Nor El Houda et Mr M. KECHE, « Localisation d'un mobile dans un réseau UMTS », p. 115.
- [35] Antonin AUROY Mihai-Bogdan BADAU, Sanaa BAHOU et al, « Système de géolocalisation » culture générale des télécommunications 3TC ».
- [36] F. Alcalá, J. Beel, A. Frenkel, B. Gipp, H. Höpfner, et J. Lülf, « UbiLoc: A System for Locating Mobile Devices using Mobile Devices », p. 6.
- [37] F. Evennou, « Techniques et technologies de localisation avancées pour terminaux mobiles dans les environnements indoor », p. 209.
- [38] F. S. A. Harbi et H. J. Helgert, « An Improved Chan-Ho Location Algorithm for TDOA Subscriber Position Estimation », p. 5, 2010.
- [39] L. Li et F. Wei, « Position Estimation by Improved Genetic Algorithm for Hyperbolic Location », p. 5.
- [40] Pr MBIHI Jean, « Procédés et produits textiles Intelligents: Cours de COMPOSANTS ET TECHNOLOGIE TEXTILE ». 2018.
- [41] « NEO-6M GPS Module », *Maker Portal*. <https://makersportal.com/shop/neo-6m-gps-module> (consulté le janv. 22, 2021).
- [42] simpang ampat, S. Prai (S), et Penang, « Arduino GY-NEO6MV2 GPS Module c/w Antenna & Flight Control EEPROM », no 9. Consulté le: oct. 06, 2020. [En ligne]. Disponible sur: [sales@synacorp.com.my](mailto:sales@synacorp.com.my).
- [43] D.E.P.G-9, G. Mall, N. J. K.R.B. Stop, et N.N.S. Road, « GPS Antenna 3 Meter, GPS Antenna 3 Meter, GPS Antenna 3 Meter », *Deltakit -Electronics Parts-Robotic Parts-Sensors-3D printer parts*. <https://www.deltakit.net/product/gps-antenna-3-meter/> (consulté le janv. 22, 2021).
- [44] D. Laux, « Quand prescrire un électrocardiogramme (ECG) chez l'enfant ? », p. 3.
- [45] EL HAKIM, « Interprétation d'un ECG normal chez l'enfant », *Revue Médicale Algérienne*, vol. V, no 27, févr. 2020.
- [46] D. Predescu, « Ce guide est dédié à mes collègues résidents MacPeds! », p. 21.
- [47] E. Nemat, M. Deen, et T. Mondal, « A wireless wearable ECG sensor for long-term applications », *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no 1, p. 36-43, janv. 2012, doi: 10.1109/MCOM.2012.6122530.