

## Rapport final : Projet de fin d'étude - Pilulier automatique

---

### I - Contexte

Les systèmes embarqués appliqués au domaine médical permettent d'améliorer le quotidien des patients et représentent un enjeu économique. Beaucoup de recherche est effectuée dans ce domaine. C'est dans ce contexte que l'association GAPAS, qui prend notamment soin de personnes handicapées dans la vie de tous les jours, a fait appel aux élèves ingénieurs de l'école Polytech Lille pour réaliser un pilulier automatique facilitant la prise des médicaments par leurs résidents.

### II - Cahier des charges

Un des intérêts de ce projet est qu'il comporte toutes les étapes d'élaboration d'un produit, allant de la création d'un cahier des charges au prototypage du système. Nous avons d'abord cherché à bien comprendre la demande de GAPAS, pour y répondre au mieux. Après plusieurs entretiens, nous sommes arrivés à une bonne compréhension des besoins, résumée ci-après.

Le pilulier doit faciliter la prise des médicaments par les résidents, tout en les empêchant de prendre les pilules en dehors des heures prévues. En cas de non prise, les encadrants doivent être prévenus.

- Le mot clef est "faciliter". En effet, le pilulier doit rendre la prise du médicament plus simple, puisque le malade n'a plus besoin de se rappeler de les prendre, c'est le pilulier qui s'en charge. Il doit pouvoir prendre les médicaments facilement, et ce malgré son handicap moteur. Le pilulier ne doit pas compliquer la vie des aides soignants, dans sa programmation comme dans son chargement hebdomadaire.
- Le pilulier présente une sécurité, il doit empêcher le malade d'avoir accès à l'intégralité des médicaments en dehors des heures prévues.
- La fonction secondaire est de vérifier que les médicaments sont bien pris et d'alerter si besoin est.

Ce sont ces points qui nous ont permis d'élaborer le diagramme pieuvre suivant, et le cahier des charges qui en découle :

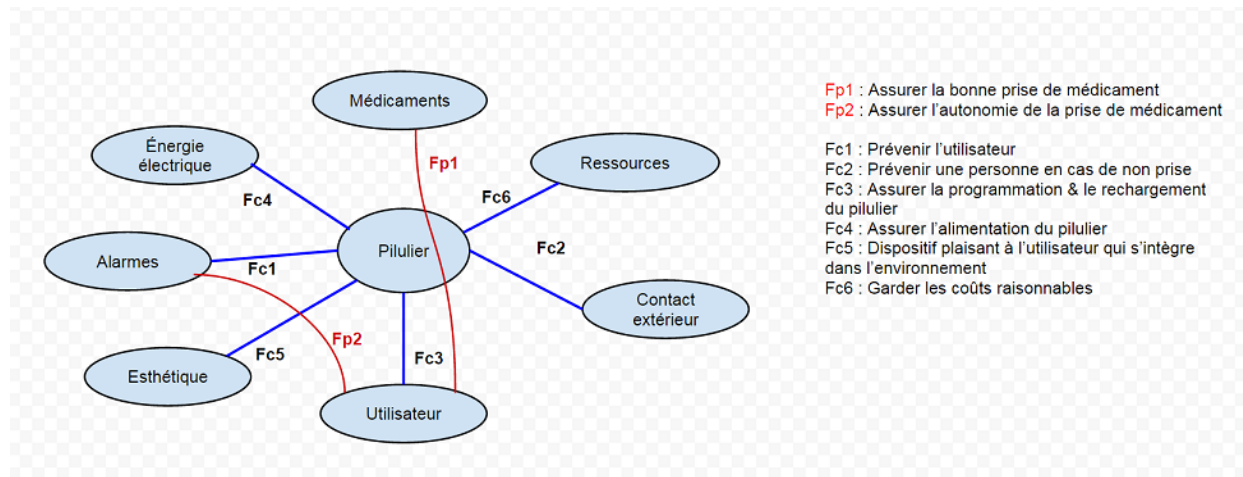


TABLEAU DE DEFINITION DES FONCTIONS			
Fonctions	Critère d'appréciation	Niveau d'exigence	Flexibilité
<b>FP1</b> Assurer la bonne prise du médicament	- Médicament délivré en temps voulu - Accès aux pilules impossible en dehors des heures prévues	- A quelques minutes près de l'heure prescrite - Verrous résistant au forçage du pilulier	- F0 - F1
<b>FP2</b> Assurer l'autonomie de la prise de médicament	- Facilité d'utilisation - Ergonomie adaptée au handicap moteur	- Aucune action à réaliser par l'utilisateur en dehors de la prise du médicament - Cases assez grandes, présentant une large ouverture	- F0 - F0
<b>FC1</b> Prévenir l'utilisateur	- Indication de disponibilité du médicament - Rappels réguliers jusqu'à la prise	- Alarmes sonores audibles même par un malentendant & alarmes visuelles assez lumineuses - Assez réguliers pour ne pas être ignorés	- F2 - F3
<b>FC2</b> Prévenir une personne en cas de non prise du médicament	- Vérifier la bonne prise du médicament - Alerter personne responsable par mail	- Pas de faux positif autorisé, fausses alertes à limiter - Le mail doit être envoyé correctement	- F1 - F1
<b>FC3</b> Assurer la programmation & rechargement du pilulier	- Rechargement aisé - Programmation des heures de distribution des pilules simple	- Accès à l'ensemble du pilulier par le pharmacien - Programmation simple et rapide des heures par GAPAS, Pas de formation, pas plus de 5 min de prog à la semaine	- F0 - F1
<b>FC4</b> Assurer l'alimentation du pilulier	- Alimentation	- Alimentation permanente et infaillible	- F0
<b>FC5</b> Dispositif plaisant à l'utilisateur et s'intégrant dans l'environnement	- Robustesse - Couleur, aspect - Encombrement	- Résiste aux chutes d'1m - Sobre, qui s'intègre dans la pièce - Dimensions maximales : L = 300mm ; l = 300mm ; H =150mm	- F3 - F4 - F2
<b>FC6</b> Garder les coûts raisonnables	- Prix des composants - Consommation	- Inférieur au budget de l'école - Quelques Watts maximum	- F3 - F4

Légende : F0 : non négociable F1 : très peu négociable F2 : légèrement négociable  
F3 : négociable F4 : assez négociable

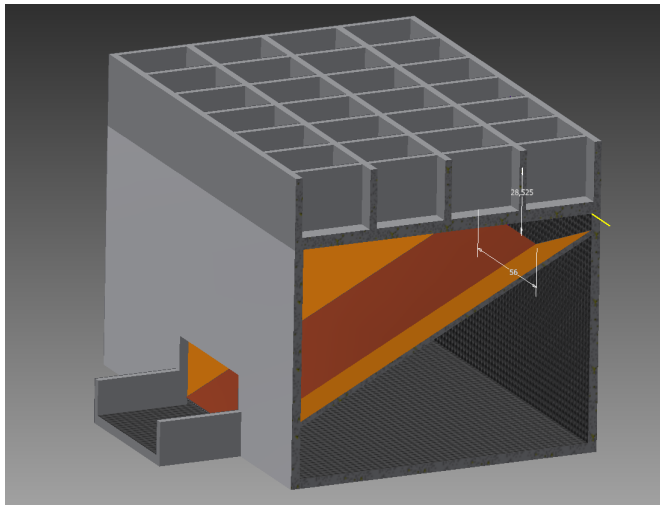
Cette version du cahier des charges est la version finale, validée par GAPAS. Nous avons dégagé 8 fonctions que le pilulier doit remplir et les avons classées par ordre d'importance. Les deux fonctions principales étant d'assurer la bonne prise du médicament et de s'assurer que l'utilisateur puisse le faire de manière autonome. A chaque fonction est associé un ou plusieurs critères et leur niveau d'exigence, ce qui nous permettra de voir si notre pilulier répond bien au cahier des charges.

### III - Prototype choisi

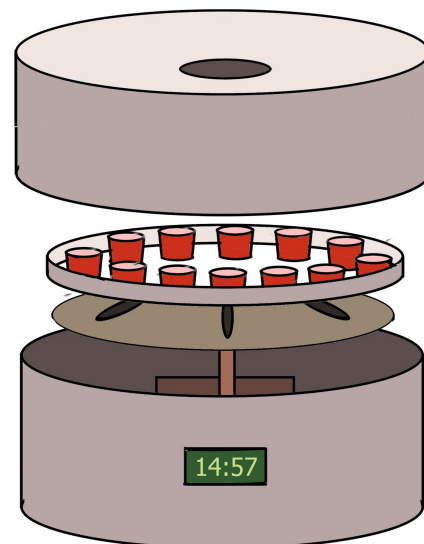
Suite aux exigences imposées par les membres du personnel de GAPAS et les différentes contraintes dues au bâtiment, nous avons élaboré plusieurs prototypes susceptibles de répondre au cahier des charges. A savoir les médicaments ne doivent jamais être accessibles au patient en dehors des heures de prise, leur mobilité réduite au niveau des gestes les empêche de saisir précisément des médicaments dans de petits casiers et enfin le pilulier doit être très facile à utiliser. c'est pour cela que chacun de nos prototypes contient 28 cases correspondant à 4 prises par jour pendant une semaine.

Voici les 2 premiers piluliers que nous avons réalisé avant de les mettre de côté pour non respect du cahier des charges. Le premier puisqu'il représentait un risque en cas de panne électrique, le deuxième car la gestion des gobelets pouvait être problématique.

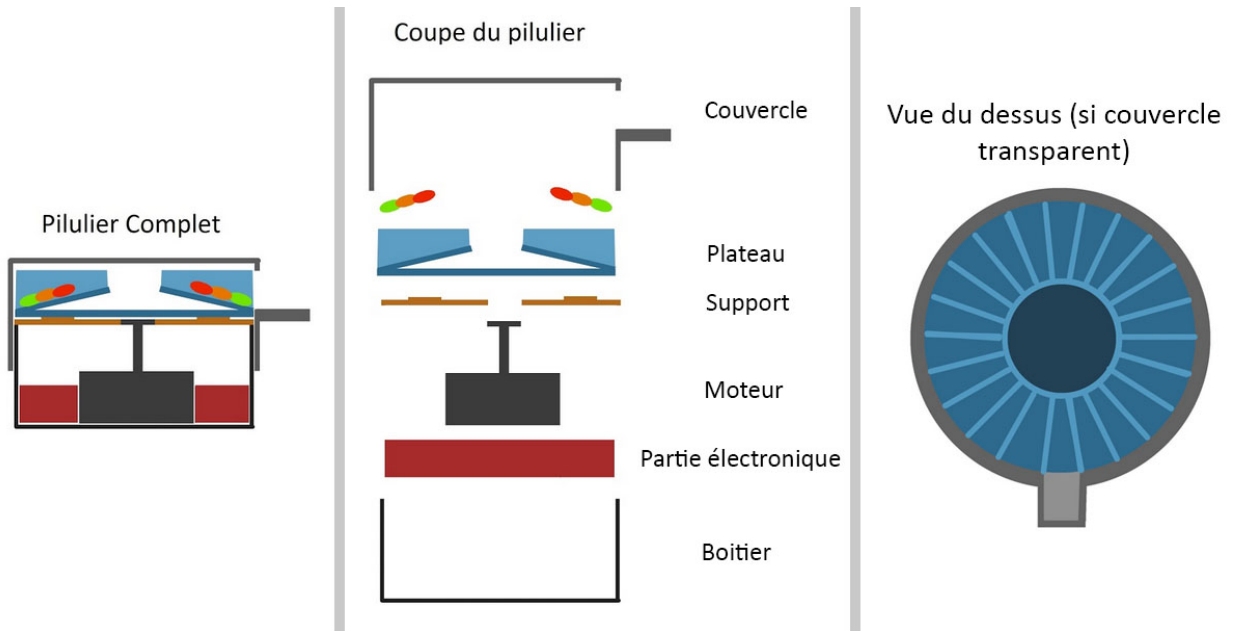
*Pilulier à trappes*



*Pilulier à couvercle & gobelets*



La solution pour laquelle nous avons finalement opté est une amélioration du pilulier à couvercle & gobelets présenté ci-dessus. Le principe est le même : Le pilulier est recouvert d'un couvercle verrouillé présentant une ouverture. Aux heures appropriées, le plateau comportant les médicament va tourner pour présenter les pilules à l'ouverture, de manière à ce que le patient puisse les prendre. Les principaux intérêts sont que le patient n'a accès qu'à une case à la fois et que le reste du pilulier est protégé par le couvercle. Aussi, le plateau vient s'emboîter aisément sur un socle solide de l'arbre moteur et peut facilement être enlevé et amené au pharmacien.



## IV - Principe de fonctionnement

### 1 - Utilisation et fonctionnalités

Dans cette partie sont expliquées les différentes interactions possibles avec le pilulier ainsi que ses fonctionnalités détaillées.

#### *Comment le recharger en médicaments ?*

⇒ Le pilulier étant dimensionné pour contenir 1 semaine de médicament (4 cases par jour soit 28 cases), celui-ci doit être rechargé en conséquence. L'encadrant GAPAS responsable du pensionnaire vient déverrouiller le couvercle, ce qui lui donne accès au plateau qui s'enlève aisément et qui peut être apporté au pharmacien. Après quoi il pourra être remis sur le support, le bon positionnement est assuré par un système d'encoche.

### *Comment le verrouiller ?*

⇒ C'est le rôle des encadrants de GAPAS qui le font après avoir rechargé le plateau. Le couvercle vient se poser sur des butées et une fois qu'il est à la bonne position avec la fente en face de la bonne case du pilulier, un cadenas pourra être inséré et fermé. Le malade n'a pas accès à la clef et n'a donc pas accès au plateau et aux pilules, mais seulement aux médicaments qui lui sont présentés.

### *Comment sont distribuées les pilules ?*

⇒ Les heures de prises des médicaments étant rentrées au préalable, à chaque fois qu'un nouveau médicament doit être pris, le plateau du pilulier fait une rotation d'une case de manière à ce que les médicaments soient présentés à l'ouverture du couvercle.

### *Comment est-ce que le pilulier détecte la non prise d'un médicament ?*

⇒ Un capteur infrarouge est situé dans le boîtier au niveau de l'ouverture dans le couvercle et détecte le passage des doigts du malade. S'il n'a toujours rien détecté au changement de case, une alerte pourra être envoyée.

### *Quelles sont les alertes ?*

⇒ Le résident est alerté par une alarme sonore et visuelle lorsqu'un médicament doit être pris. S'il ne le fait pas, un mail sera envoyé à un membre de GAPAS pour l'en informer. Dans le cas d'une bonne prise du médicament, un historique sera complété dans lequel l'heure de la prise pourra être lue.

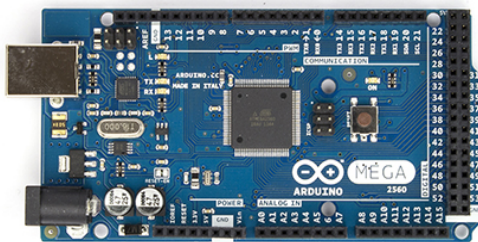
### *Comment programmer les heures de prise ?*

⇒ Les membres de GAPAS peuvent se connecter au réseau local sur un site et avec un identifiant propre à chaque résident, ont accès à son pilulier. De là ils peuvent régler les heures et avoir accès aux alertes et à l'historique.

## 2 - Les composants et leur rôle

Ici nous ferons la liste de tous les composants que nous utilisons dans notre pilulier, en justifiant le choix de ceux-ci plutôt que d'autres. A noter que ces composants nous ont permis de réaliser un premier prototype mais que des tests nous amènent à faire des changements à cette liste.

### - Arduino Méga



Rôle : Contrôle le pilulier, lancement des scripts php via un shield ethernet.

Choix : Arduino idéal pour des projets d'électronique relativement simple, le Raspberry pi plus complet avec son système d'exploitation n'était pas nécessaire ici. Le choix d'un arduino méga s'explique par le nombre important d'entrée/sortie que nous utilisons et la place qu'il occupe n'est pas un problème.

- Moteur pas-à-pas bipolaire



Rôle : Faire tourner le plateau contenant les médicaments d'une case à la fois, soit environ 12°.

Choix : Peu coûteux, précis (avec le moteur choisi, on peut faire des pas d'un dixième de degré) et facile à contrôler. Nous avons choisi un moteur bipolaire commun qui prend peu de place.

- Driver de moteur pas-à-pas



Rôle : Permet de contrôler un moteur pas-à-pas bipolaire à partir d'une sortie PWM (vitesse des pas) et d'une sortie digitale (sens de rotation) d'un microcontrôleur. Permet aussi de choisir de réaliser des moitié, quart, huitième ou seizième de pas.

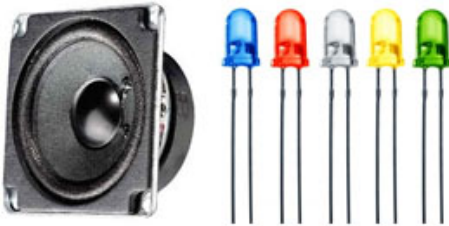
- Capteurs (photorésistance et inductif)



Rôle : La photorésistance (remplacement du capteur infrarouge non-reçu) placée au bon endroit détecte le passage de la main de l'utilisateur et permet de savoir quand il prend son médicament. A terme, elle sera remplacée par un détecteur infrarouge plus performant.

Le capteur inductif permet au plateau de revenir dans sa position initiale et ainsi corriger des erreurs accumulées sur la semaine

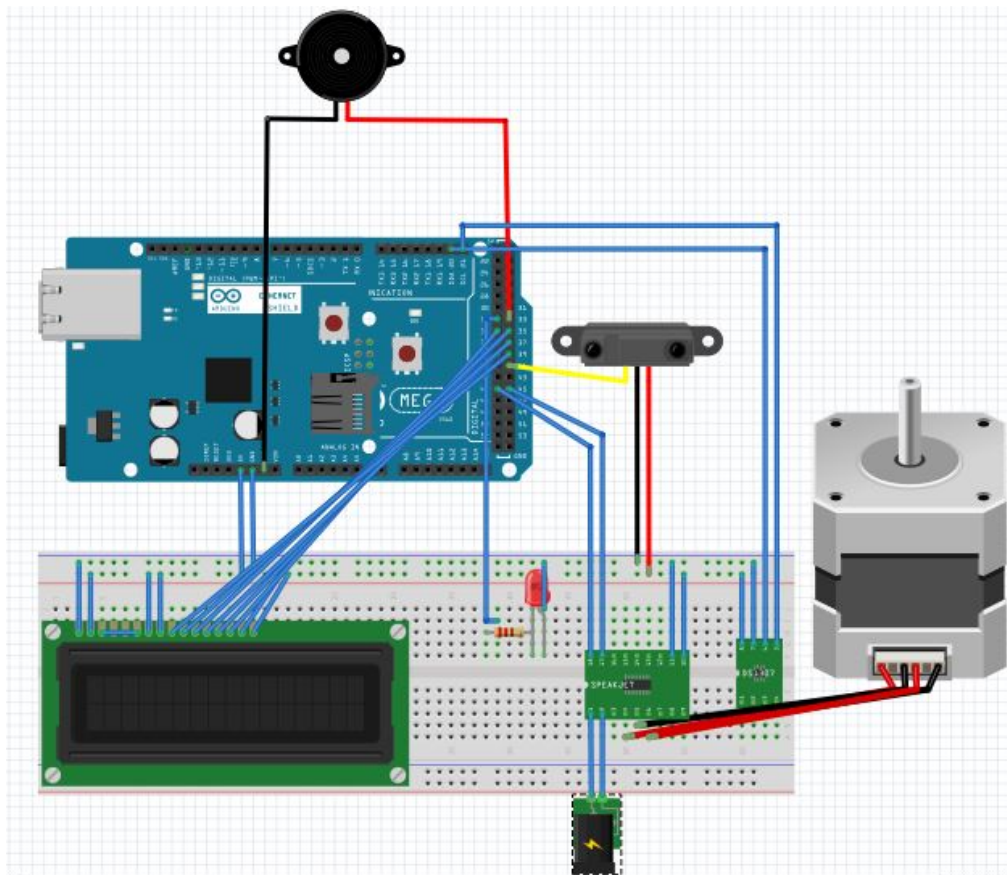
- Ecran LCD, LEDs et haut-parleur



Rôle : L'écran LCD affiche la date et l'heure en permanence, les LEDs et le haut-parleur sont destinés à signaler au malade que des médicaments sont prêts à être récupérés.



On peut voir comment les composants sont reliés à l'arduino sur le schéma suivant :





## V - Partie arduino

La programmation du pilulier est divisée en une partie purement Arduino, qui traite plus de la gestion du moteur et des alarmes et une programmation html et php, axée sur l'envoi des alertes et l'interface encadrant/pilulier via un site hébergé sur un pc. On se concentrera d'abord sur la partie Arduino.

La loop du programme de l'arduino est assez simple à comprendre : on récupère l'heure actuelle et on l'affiche sur le LCD avec "affiche\_heure", que l'on compare en permanence aux heures de prise du prochain médicament. Ces heures de prises sont récupérées sur le serveur local à l'aide de "recup\_heure".

Quand l'heure est arrivée, les alarmes s'enclenchent jusqu'à ce que le capteur détecte la prise du médicament, dans tous les cas, l'historique est complété et un mail peut être envoyé.

```
void loop() {
  affiche_heure();
  //récupération des variables dans le fichier horaires.txt sur wampserver
  recup_heure();
  if ( (heure == recup_matin || heure == recup_midi || heure == recup_goute || heure == recup_soir) && OK==0 ){
    if (avance == 0){
      avance_moteur();
      avance = 1;
    }
    alarme();// on déclenche les voyants sonores et lumineux
    photocellReading = analogRead(photocellPin);
    if(photocellReading < 300){
      OK=1;
      avance=0;
      alarme(2);
    }
  }
  if ( (heure != recup_matin && heure != recup_midi && heure != recup_goute && heure != recup_soir) && OK ==0){
    OK = 1;
    avance =0;
    mail();
    alarme(1);
  }
}
```

---

Sans détailler toutes les fonctions, voici la fonction alarme() qui permet de déclencher un script php permettant d'afficher et d'enregistrer une alerte type : " le patient n'a pas pris son médicament". Cette fonction revient à écrire dans une barre d'adresse : "192.168.1.43/alarme.php?alarme=1" ou "192.168.1.43/alarme.php?alarme=2".

```

//CETTE FONCTION PERMET DE GERER LES ALARMES ET CREER UN HISTORIQUE DES ALARMES ACCESSIBLE SUR LE SITE.
//CETTE FONCTION FONCTIONNE AVEC LE SCRIPT PHP ALARME.PHP
void alarme (int choix){

    Ethernet.begin(mac, ip);
    delay(1000);
    Serial.println("connecting...");
    char server [] = "192.168.1.43";
    // si la connection est effectuée au localhost
    if (client.connect(server, 80))
    {
        Serial.println("connected");
        // on accede au script php
        if(choix==1){
            client.println("GET /alarme.php?alarme=1 HTTP/1.1");
        }else{
            client.println("GET /alarme.php?alarme=2 HTTP/1.1");
        }
        client.println("Host: 192.168.1.43");
        client.println();
    }
    else
    {
        return;
    }
}

```

## VI - Partie serveur - programmation du pilulier

N'ayant pas besoin d'accéder au site depuis n'importe quel endroit , nous avons choisi d'héberger notre site en local à l'aide de "wamp server".

Nous avons tout d'abord essayé d'héberger notre site directement dans la carte SD du shield ethernet de l'arduino. Mais après quelques tests nous nous sommes rendu compte qu'il y avait une grande latence de chargement ainsi que des scripts php qui ne fonctionnaient pas. En effet l'arduino n'est vraiment pas fait pour servir d'hébergeur contrairement à une raspberry pi.

Nous somme donc resté sur l'idée de wamp server. Tout nos fichiers (html/php/ fichier texte) sont stockés dans le dossier "WWW" de wamp. Le routeur ainsi que les différents paramètres wamp ont été réglé afin de permettre un échange entre l'arduino et le serveur local.

## 1 - Page de gestion du pilulier

Nous avons fait une interface assez simple pour une programmation simple et une clarté de lecture des différentes alarmes.

### Page de gestion du pilulier

<b>Horaires actuelles</b> 06 12 16 20
<b>Changer les horaires de prises</b> A mettre sous cette forme : 05 - 16 ...  Matin : <input type="text"/> Midi : <input type="text"/> Gouter : <input type="text"/> Soir : <input type="text"/> <input type="button" value="Envoyer"/>
<b>Recent</b> Prise OK le:23-02-2015 11:45:05
<b>Historique des alarmes</b> Le patient n a pas pris son traitement du:23-02-2015 11:46:17

Nous avons ici une première partie de cette page qui gère les horaires de prise des médicaments. Tout d'abord un affichage des heures de prises actuelles puis un formulaire permettant de changer ces horaires.

Ensuite 2 rubriques pour les alarmes, la première traitant le cas des prises de médicaments et la deuxième pour les oublis de prise.

Les horaires ainsi que les alarmes sont stockés dans des fichiers texte permettant ainsi de créer une mini-base de données exploitable si besoin.

## 2 - Exemple de script php

Reprenons le cas de vu dans la partie arduino avec la fonction "void alarme (int choix)". Comme dit précédemment, cette fonction à la reproduit l'effet d'écrire dans la barre d'adresse "192.168.1.43/alarme.php?alarme=1" ou "192.168.1.43/alarme.php?alarme=2".

```
1 <?php
2 $histo=fopen('historique.txt','a');
3 $recent=fopen('recent.txt','a');
4 $date=strftime("%d-%m-%Y %H:%M:%S");
5
6 if ($_GET['alarme']=="1") {
7
8     fputs($histo,"Le patient n a pas pris son traitement du:".$date);
9     fputs($histo, "\r\n");
10     .....
11 }
12 if ($_GET['alarme']=="2") {
13
14     fputs($recent,"Prise OK le:".$date);
15     fputs($recent, "\r\n");
16 }
17 fclose($histo);
18 fclose($recent);
19 ?>
20
```

Son fonctionnement est assez simple, on commence par ouvrir les 2 fichiers texte , on récupère l'heure actuelle dans la variable date puis la valeur de la variable alarme de la barre d'adresse. Ensuite on écrit dans le fichier texte correspondant la bonne alarme.

Le fonctionnement est le même pour les autres fonctions ( recup\_variable , mail...)

## VII - Test

Nous avons effectué un test sur 2 jours de notre pilulier automatique. Ce test a eu lieu chez l'un d'entre nous pour des raisons de sécurité au niveau du boîtier et de la sécurisation de la prise de médicament.

Après 2 jours de test voici les résultats et nos ressentis :

- Le moteur "low cost" ne supporte pas le poids du plateau mais répond tout de même bien au consigne de l'arduino.

- Le moteur tourne bien d'un angle de 12-13°(correspondant à une case) quand il le faut. A voir pour une mise a zéro pour pas accumuler le décalage au fur et a mesure des semaines.

- les alertes lumineuses et sonore fonctionnent bien . Prévoir peut être plus gros qu'un simple LED.

L'alerte sonore est suffisante, juste assez pour prévenir un patient sans le rendre sourd.

- L'heure affichée et les heures de prise fonctionnent bien même si coupure de courant grâce au module rtc et à une fonction arduino (recup\_variable) qui va chercher les valeurs des prises sur le serveur

- capteur de détection de main : changer pour un capteur infrarouge car le capteur de lumière met un certain temps avant de commuter (laisser environ 2 sec sa main devant)

- les consignes d'écriture données par l'arduino sont bien prise en compte et permettent d'écrire dans les fichiers textes correspondant ( prise médoc ok ou le patient n'a pas pris son médicament!)

- l'envoi de mail fonctionne parfaitement.

=> bilan du test : tout semble fonctionnel au niveau serveur et électronique.

Quelques changements à faire tout de même au niveau moteur ,capteur et bien sur finaliser le boitier pilulier pour permettre de le tester en condition réelle devant un patient.

## **VIII - Difficultés rencontrées & améliorations**

### **1 - Difficultés**

Lors de la réalisation du projet, nous avons rencontré quelques problèmes et certains auraient pu être traités différemment.

- Le problème principal a été le retard sur planning dû a des contraintes de matériel. En effet, un fournisseur n'ayant pas pu honorer sa commande, nous avons été forcé d'attendre et de changer notre planning et de se concentrer sur des fonctions secondaires.

- Les livraisons tardives nous ont empêché de réaliser des prototypes présentable chez GAPAS, et ne pouvant leur présenter du code brut, rester en contact a été difficile.

-Nous avons d'abord passé du temps à réaliser une modélisation 3D du pilulier qui s'est avérée inutile puisque nous sommes arrivés à un résultat satisfaisant avec une découpeuse laser et du carton. Ce travail aurait été utile plus tard, une fois le moment de faire un prototype utilisable par GAPAS venu.

-Afin de réaliser un pilulier pouvant être mis en phase de test dans la résidence, il fallait que le produit soit déjà très au point, étant donné qu'un mauvais fonctionnement aurait pu avoir des conséquences graves sur la vie des malades. La charge de travail et le nombre de tests qu'impose ce niveau de sécurité élevé nous aurait accaparé et c'est pourquoi nous avons donné la priorité à la réalisation de toutes les fonctions, quitte à les repenser par la suite si le temps le permet.

## 2 - Améliorations

Notre pilulier n'en étant qu'à son premier prototype, de nombreux points restent à modifier et à améliorer, en voici une liste non exhaustive :

-Le plus gros point faible du pilulier réside dans la partie mécanique, bien que le schéma de principe semble fonctionnel, celui-ci reste superficiel et des choses comme les liaisons entre les pièces, les sécurités pour résister au forçage ou aux chutes sont à repenser. Peut-être que cette partie qui ne correspond pas à notre formation pourrait être réalisée par la suite en collaboration avec le département mécanique

-Certains composants doivent être modifiés, comme la photorésistance qui détecte le passage de la main de l'utilisateur qui n'est pas adaptée. Il faudrait la remplacer par un capteur infrarouge comme celui que nous avons commandé. De même le moteur n'offre pas un couple assez puissant et celui-ci devrait être suivi d'un réducteur ou changé.

-Le code pourrait être amélioré sur certains points où il n'est pas très souple, comme pouvoir programmer la prise de 3 médicaments par jour au lieu de 4, ou de pouvoir choisir de ne pas envoyer de mail pour un patient précis, ou encore de ne pas utiliser l'alarme sonore. Le pilulier pourrait être personnalisable pour chaque résident.

-Une sécurité devrait être prévue en cas de coupure de courant ou de débranchement du pilulier, comme une batterie de secours chargée d'avertir l'utilisateur d'un problème

-Il est très important d'ajouter des sécurités logicielles qui permettent d'éviter les bugs ou redémarrer le pilulier. Une autre sécurité serait celle face au piratage. En se connectant en ligne, on s'expose à ce que quelqu'un de mal intentionné prenne contrôle du pilulier et mette en danger le résident.

-Un capteur de position du plateau, comme celui que nous avons prévu, pourrait être ajouté pour connaître la position exacte du plateau. Cela permettrait de compenser les petits écarts dus aux imprécisions cumulées du moteur.

-Un mode de test pourrait être ajouté au pilulier, qui pourrait être exécuté régulièrement pour vérifier que le plateau est bien en position, que toutes les alarmes fonctionnent ainsi que les capteurs.

## **IX - Bilan**

Ce projet a bien répondu à nos attentes et s'est avéré complet et complexe, mêlant la gestion de projet, l'élaboration d'un cahier des charges, de prototypes et leur réalisation. Nous pensons aussi avoir répondu à ce qui était attendu de nous. En effet l'attente de GAPAS a bien été comprise et nous avons réalisé un premier prototype qui va dans cette direction. Toutes les fonctionnalités ont été codées et implémentées, bien qu'elles doivent être encore améliorées avec comme priorité la sécurité. Un boîtier résistant doit être construit avant que le pilulier puisse être testé en situation réelle.

Sur le plan personnel, nous avons beaucoup appris de ce projet, d'une part en se perfectionnant dans le code Arduino, en apprenant le langage php et html et aussi en nous intéressant à d'autres domaines et à des logiciels propres à la mécanique.