

## Annexe C

# Système d'identification de personnes par infrarouges

### C.1 Introduction

Afin de permettre l'identification des personnes situées à proximité d'un dispositif de présentation lors de nos expérimentations, nous avons besoin d'un moyen d'identification répondant aux caractéristiques suivantes :

- *fiabilité* : détection rapide et à coup sûr des utilisateurs, ceci sans erreur ;
- *coût* : le plus faible possible ;
- *encombrement réduit* ;
- *compatibilité* maximale avec les équipements informatiques ;
- *facilité de mise en œuvre* ;
- *distance de détection* d'au moins deux mètres.

Notre première idée fut d'utiliser des badges RFID pour identifier les personnes, et d'installer des lecteurs RFID au niveau des dispositifs de présentation. Cependant, les lecteurs RFID disponibles pour une identification à quelques mètres de distance sont à la fois encombrants et onéreux. Nous nous sommes donc intéressés aux systèmes basés sur des badges actifs à infrarouges. Les systèmes à infrarouges peuvent répondre aux exigences énoncées ci-dessus, et présentent une caractéristique intéressante : ils permettent de détecter l'orientation de l'utilisateur, dans le sens où celui-ci n'est détecté que s'il se trouve face au dispositif de présentation. De cette façon, si le détecteur est installé sur un écran, il perçoit l'utilisateur si et seulement si ce dernier peut voir l'écran.

Un certain nombre de systèmes à badges infrarouges existent. Parmi eux, on peut citer :

- l'Uber Badge<sup>1</sup> du MIT<sup>2</sup> MediaLab ;
- l'IR Locator Badge<sup>3</sup> de la société Versus ;
- les badges Eiris de la société Hi-Bryd Solutions.

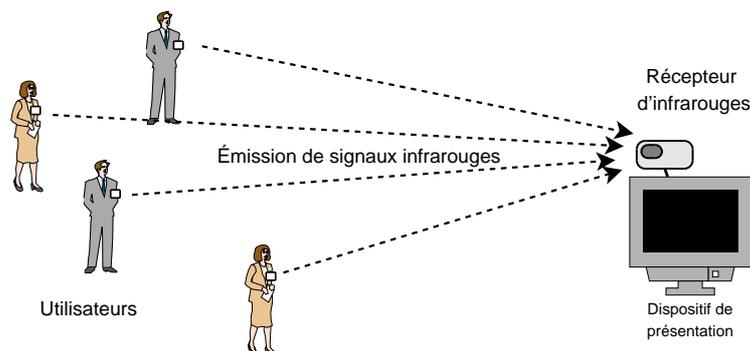
Le premier système a été créé par et pour des chercheurs, mais il est relativement complexe, et donc assez encombrant et onéreux : ainsi, les badges ne sont pas seulement équipés pour les infrarouges, mais aussi pour les transmissions par radio, la capture du son (microphone), et le stockage de données. Quant aux deux autres systèmes, ils sont conçus pour un usage industriel. Ils semblent être utilisés en majorité dans des hôpitaux, où ils permettent de localiser le personnel et les patients. Cependant, les quantités proposées par leurs fabricants sont d'ordre industriel, et donc non compatibles avec les besoins d'une petite équipe de recherche. Les fabricants n'ont d'ailleurs pas répondu à nos sollicitations.

Nous nous sommes donc tournés vers la réalisation de notre propre système de badges, conçu pour satisfaire nos besoins et le cahier des charges ci-dessus.

## C.2 Description générale

L'architecture de notre système est très simple : les dispositifs de présentation sont équipés d'un récepteur infrarouge qui leur permet de détecter les émissions réalisées à proximité.

Les utilisateurs portent un badge, qui émet régulièrement un identifiant par infrarouges. Cet identifiant est associé de façon unique avec l'utilisateur correspondant, ce qui permet la reconnaissance univoque de ce dernier. La figure C.1 récapitule le principe de fonctionnement du système.



**Figure C.1 :** Schéma général de fonctionnement de notre système d'identification par infrarouges.

<sup>1</sup>Voir <http://www.media.mit.edu/resenv/badge/docs.html>.

<sup>2</sup>Massachusetts Institute of Technology.

<sup>3</sup>Voir [http://www.versustech.com/products/badges\\_and\\_tags.html](http://www.versustech.com/products/badges_and_tags.html).

### C.3 Protocoles

Nos protocoles sont très fortement inspirés des protocoles des télécommandes pour l'électronique grand public, et en particulier de celui utilisé par le matériel de marque Nec. De cette façon, au cours des premières phases de développement, nous avons pu effectuer des tests des différents modules mis en œuvre à l'aide de télécommandes, d'émulateurs de télécommandes et de récepteurs de signaux de télécommandes.

#### C.3.1 Couche physique (OSI 1)

Au niveau physique, nous utilisons des infrarouges de longueur d'onde fixée à 950 nm. Afin d'assurer une certaine immunité au « bruit infrarouge » ambiant, causé par exemple par les éclairages et les corps chauds, les données ne sont pas transmises telles quelles, mais par modulation d'une porteuse de 38 kHz. Ces caractéristiques nous permettent d'utiliser pour la réception un composant très classique, le TSOP 1738, qui réalise aussi bien la réception des signaux infrarouges à 950 nm que la démodulation de la porteuse de 38 kHz.

Ce canal permet la transmission d'*impulsions* en modulation d'amplitude. Il existe deux sortes d'impulsions, à l'état *haut* ou à l'état *bas*. Une impulsion a une durée égale à 22 périodes de la porteuse à 38 kHz, soit 578  $\mu$ s. Pendant une impulsion à l'état haut, on émet la porteuse à 38 kHz, tandis que pendant une impulsion à l'état bas, on n'émet rien du tout. L'allure des impulsions est donnée sur la figure C.2.

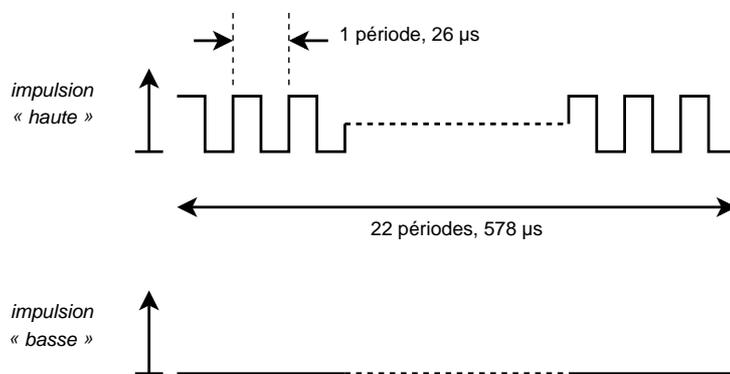


Figure C.2 : Modulation des impulsions.

#### C.3.2 Couche données (OSI 2)

Les données sont organisées en trames. Une trame est composée de quatre éléments :

- un marqueur de début : 8 impulsions hautes, suivies de 4 impulsions basses ;
- la charge utile : la série des  $n$  bits à transmettre ;
- les inverses des bits de la charge utile, dans le même ordre (afin de détecter les erreurs) ;

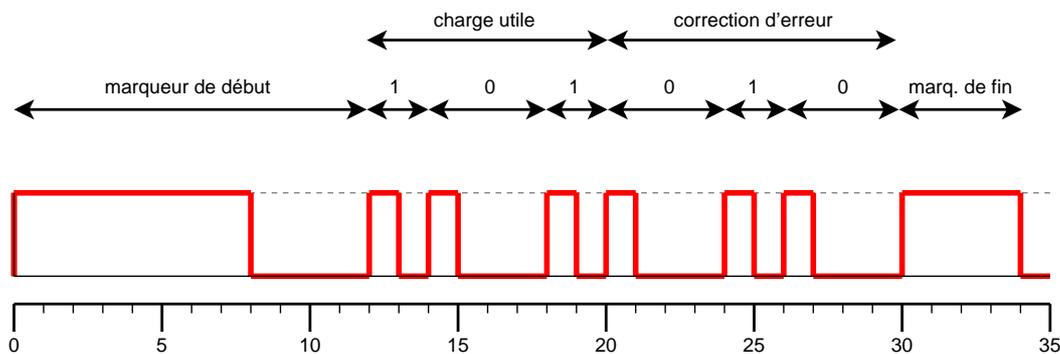
- un marqueur de fin : 4 impulsions hautes.

Les bits sont codés de la façon suivante :

- bit à 0 : une impulsion haute, puis trois impulsions basses ;
- bit à 1 : une impulsion haute, puis une impulsion basse.

Chaque bit de la charge utile est donc transmis deux fois : une fois tel quel, une fois inversé. L'une des deux fois, c'est un 0 qui est transmis ; l'autre fois, c'est un 1. Au total, un bit correspond donc à  $4 + 2 = 6$  impulsions. Une trame est donc composée de  $16 + 6n$  impulsions, où  $n$  est le nombre de bits dans la charge utile.

Pour une utilisation donnée, la charge utile est toujours de taille fixe, donc le nombre  $n$  est une constante, connue à la fois des émetteurs et des récepteurs. La figure C.3 donne un exemple de trame pour  $n = 3$ .



**Figure C.3 :** Trame pour  $n = 3$ . Dans cet exemple, la charge utile est  $101_2$ .

**Détection d'erreur** La charge utile est dédoublée de façon à permettre une détection des erreurs. En pratique, une trame reçue sera déclarée valide si les conditions suivantes sont remplies :

- la trame reçue contient en tout  $2n$  bits entre les marqueurs de début et de fin ;
- pour tout  $i$  compris entre 0 et  $n - 1$ , le bit numéro  $i$  est l'inverse du bit numéro  $i + n$ .

Dans ce cas, la trame est déclarée correcte, et sa charge utile est composée des  $n$  premiers bits situés entre les marqueurs de début et de fin.

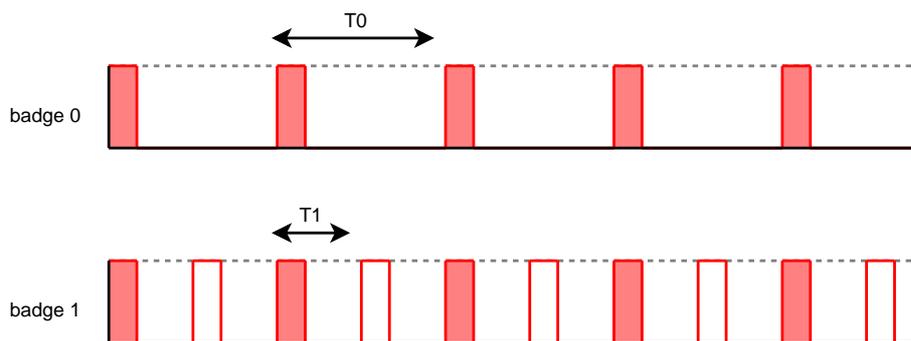
### C.3.3 Couche application (OSI 7)

En pratique, la charge utile des trames est utilisée pour transmettre les identifiants des badges. Lors de nos expérimentations, nous disposions de huit badges : nous avons donc choisi  $n = 3$

(comme sur la figure C.3). Dans ce cas, une trame correspond à 34 impulsions, soit une durée de 19,7 ms.

Chaque badge émet donc son identifiant à intervalles réguliers, de façon à être détecté par d'éventuels récepteurs. Ce mode de fonctionnement peut être problématique lorsque plusieurs badges émettent leurs identifiants dans une même zone géographique. En effet, s'il n'est pas très grave qu'une trame donnée soit brouillée par un autre badge (la correction d'erreur joue alors son rôle), il n'est pas tolérable que *toutes* les trames d'un badge soient brouillées, car dans ce cas, ce badge ne pourrait pas être détecté.

**Dispositif anticollision** Afin de résoudre ce problème, on peut penser à séparer les délais d'émission des badges par une durée *qui dépend du badge*. Ainsi, le badge numéro zéro séparerait ses émissions d'une durée  $T_0$ , le badge numéro 1 d'une durée  $T_1$ , etc. Cependant, si l'on n'y prend pas garde, il est possible que tout ou partie des émissions des badges soient brouillées lorsque les  $T_i$  ont des facteurs communs (voir fig. C.4).



**Figure C.4 :** Brouillage mutuel de deux badges, avec  $T_0 = 2T_1$ . Les émissions brouillées ont leur aire colorée.

Sur cette figure, la période du badge n°0 est un multiple de la période du badge n°1. Si par malheur les émissions des deux badges sont en phase à un moment donné, elles le restent indéfiniment. Le mal est moindre pour le badge n°1, car seulement une de ses émissions sur deux est brouillée. Par contre, *toutes* les émissions du badge n°0 sont brouillées, ce qui n'est pas tolérable.

Pour éviter cette situation, nous avons décidé que les durées  $T_i$  seraient proportionnelles à une série de nombres premiers entre eux. Pour simplifier, les  $T_i$  sont tout simplement proportionnels à une série de *nombres premiers*. Ainsi, pour nos huit badges, nous avons fixé une constante  $t$ , et les durées  $T_i$  sont alors celles données par le tableau C.1.

La constante  $t$  a été choisie de sorte que  $T_0 \approx 1$  s et  $T_7 \approx 2$  s, ce qui représente des délais de détection corrects étant données les applications envisagées.

$i$ (Numéro de badge)	Durée $T_i$
0	$T_0 = 31t$
1	$T_1 = 37t$
2	$T_2 = 41t$
3	$T_3 = 43t$
4	$T_4 = 47t$
5	$T_5 = 53t$
6	$T_6 = 59t$
7	$T_7 = 61t$

Tableau C.1 : Durées destinées à éviter les collisions.

## C.4 Réalisation pratique

Les badges et les récepteurs associés ont été conçus et réalisés par nos soins.

### C.4.1 Émetteur (badge)

L'émetteur doit générer la porteuse à 38 kHz, la moduler par les données (son identifiant), et enfin utiliser ce signal pour commander un dispositif d'émission d'infrarouges sur 950 nm. Nous avons jugé que le plus simple était d'utiliser un petit microcontrôleur pour la génération des signaux, étant donnée la nature numérique des données et du mode de modulation.

Notre choix s'est porté vers le PIC 12F508 de chez Microchip : dans un boîtier PDIP<sup>4</sup> de 8 broches, il intègre tous les composants nécessaires à son fonctionnement, y compris un oscillateur à 4 MHz, ainsi que 6 entrées/sorties. Ce microcontrôleur exécute un million d'instructions par seconde<sup>5</sup>, ce qui est suffisant pour générer la porteuse (à 38 kHz la période est de 26  $\mu$ s, soit 26 instructions du microcontrôleur).

Les émetteurs infrarouges sont des LED<sup>6</sup> sur 950 nm, de modèle LD 271. Ces LED permettent une émission d'assez forte puissance, avec un angle relativement grand. Nous utilisons deux de ces LED afin d'assurer une émission suffisamment puissante. Le schéma électronique d'un badge est donné sur la figure C.5.

Les émissions sont commandées par la broche GP4 du microcontrôleur, utilisée en sortie. Elle commande la base d'un transistor 2N2222 utilisé en commutation. Dans le circuit émetteur-collecteur de ce dernier se trouvent les deux LED infrarouges, une résistance de ballast et une résistance ajustable. La résistance de ballast R3 est calculée de sorte que le courant dans les LED soit de l'ordre de 100 mA lorsque le potentiomètre est au minimum. Lorsqu'il est au maximum par contre, le courant tombe à moins de 30 mA. Ceci permet dans une certaine

<sup>4</sup>Plastic Dual Inline Package.

<sup>5</sup>Sauf les instructions de saut, qui sont exécutées au rythme de 500 000 par seconde.

<sup>6</sup>En Français DEL, diode électro-luminescente.

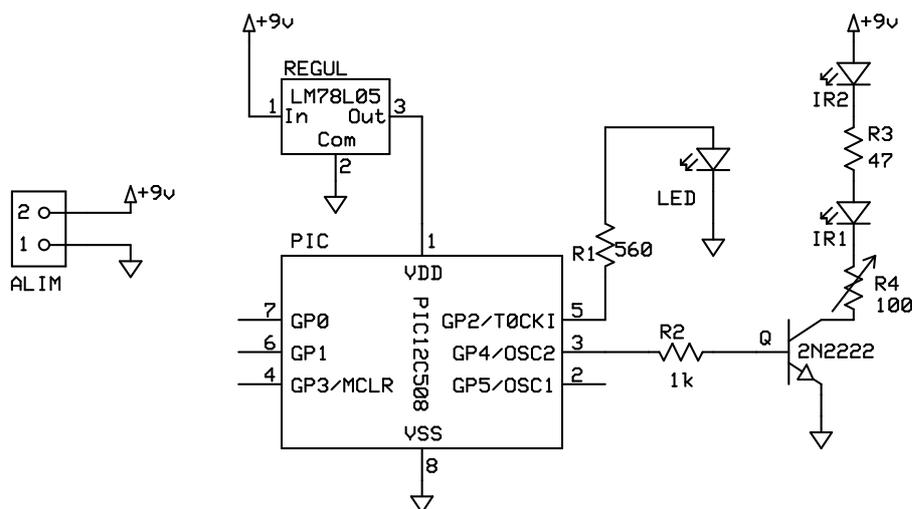


Figure C.5 : Schéma électronique d'un badge.

mesure de régler la portée des badges. La LED située sur la sortie GP2 sert de témoin visuel au fonctionnement du badge.

L'énergie est fournie au montage par une pile 9V. Un régulateur 7805 permet de fournir au microcontrôleur les 5V qui lui sont nécessaires. Les LED infrarouges quant à elles sont directement connectées sur le 9V.

Nous avons également intégré à la platine un connecteur ICSP<sup>7</sup> qui permet de reprogrammer les badges sans devoir démonter le microcontrôleur. Ce connecteur n'est pas représenté sur le schéma pour des raisons de lisibilité ; il est simplement relié aux broches correspondantes du PIC 12F508.

Le badge peut s'accrocher à un vêtement grâce à une épingle à nourrice. Les fils de connexion avec la pile sont suffisamment longs pour que cette dernière puisse trouver sa place dans une poche. La photo de la figure C.6 montre la réalisation finale.

#### C.4.2 Récepteur

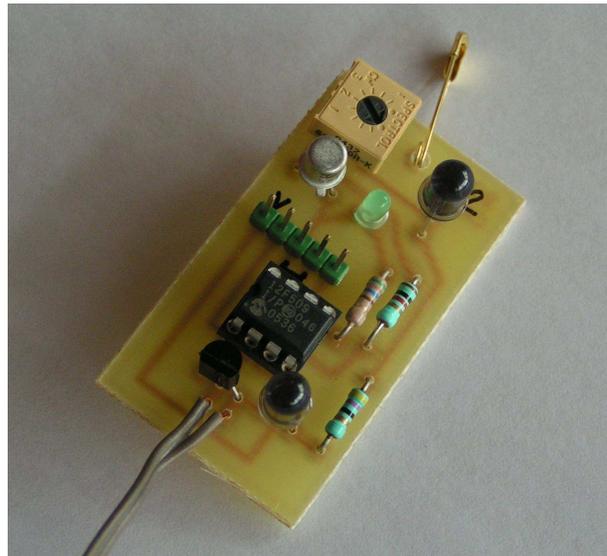
Pour la réception, nous utilisons un composant intégré déjà évoqué, le TSOP 1738 : ce composant intègre un phototransistor, ainsi que la logique de démodulation de la porteuse à 38 kHz, avec boucle à verrouillage de phase et contrôle automatique de gain.

Nous avons cherché à connecter le décodeur à un ordinateur de la façon la plus simple possible, et c'est assez naturellement que l'interface USB<sup>8</sup> s'est imposée. En effet, l'USB représente un mode de connexion très fiable, présent sur tous les systèmes récents, et qui de plus permet d'alimenter en énergie les montages électroniques connectés.

Afin de gérer la connexion USB, nous nous sommes à nouveau tournés vers un microcontrô-

<sup>7</sup>In-Circuit Serial Programming.

<sup>8</sup>Universal Serial Bus.



**Figure C.6 :** *Photo de l'un de nos badges à infrarouges.*

leur PIC, le 18F2455. De plus, ce microcontrôleur est suffisamment puissant pour pouvoir effectuer lui-même le décodage des trames reçues. Ainsi, aucun traitement n'est effectué sur l'ordinateur : le montage de réception est autonome.

En outre, ce périphérique USB n'a pas besoin de pilote spécifique au niveau du système d'exploitation de l'ordinateur, car il implémente une classe de périphériques normalisée : les émulateurs de port série RS-232. Ainsi, les systèmes d'exploitation reconnaissent en standard le montage, auquel il est alors possible d'accéder par l'intermédiaire d'un port série virtuel. Le récepteur envoie sur ce port série virtuel les identifiants des badges situés à proximité lors de leur réception. Pour tester le fonctionnement du badge, le seul logiciel nécessaire est donc un émulateur de terminal série.

La figure C.7 montre le schéma d'un récepteur. Celui-ci reprend le schéma d'application classique du PIC 18F2455. Le TSOP 1738 est tout simplement connecté sur l'une des broches d'entrée du microcontrôleur. Deux LED permettent de vérifier le bon fonctionnement du montage.

La photo de la figure C.8 présente la réalisation finale. Ce montage se connecte directement sur un ordinateur, via un câble USB standard.

**Décodage des trames** Étant donnée la simplicité de notre protocole de transmission des trames, le décodage des informations reçues au niveau du récepteur peut s'effectuer à l'aide d'un automate à états fini très simple. De la sorte, le processus de décodage est très robuste. Cet automate à états est implémenté dans le PIC 18F2455 sous forme d'un programme en langage C compilé pour ce microcontrôleur.

La figure C.9 montre l'automate de décodage. Cet automate effectue ses transitions lors d'un changement d'état du signal infrarouge démodulé. Les transitions sont donc étiquetées par le niveau précédent du signal (L pour bas, H pour haut), et le temps (en nombre de

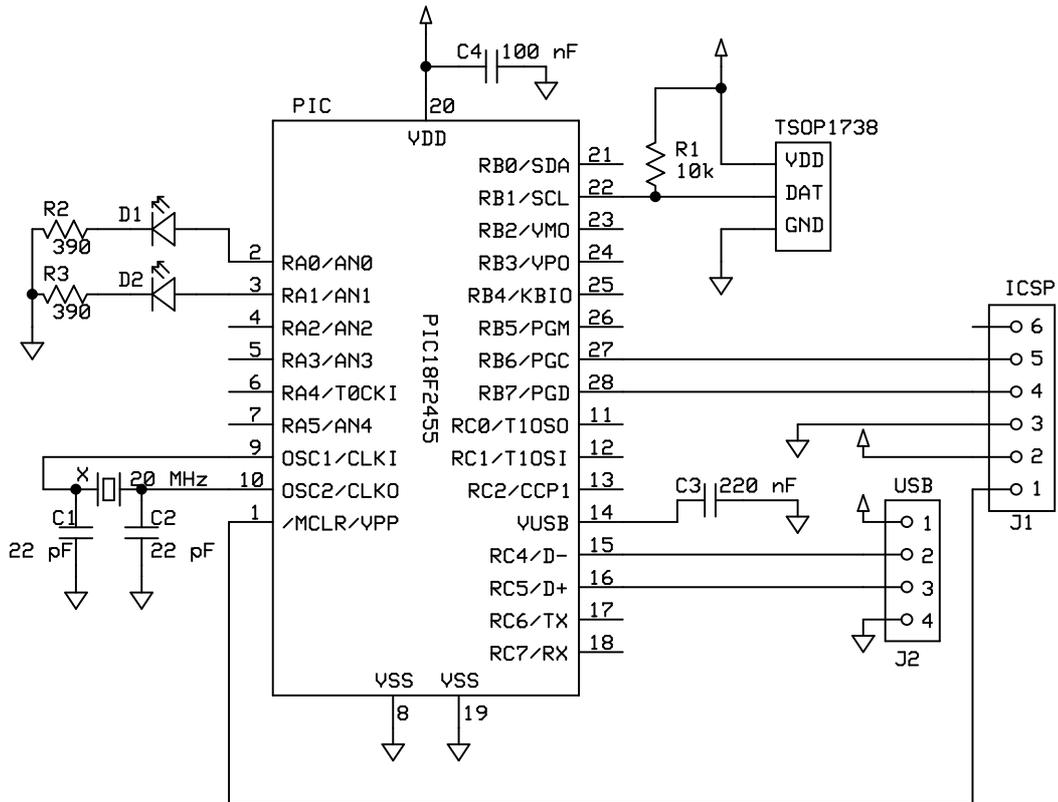


Figure C.7 : Schéma électronique d'un décodeur.

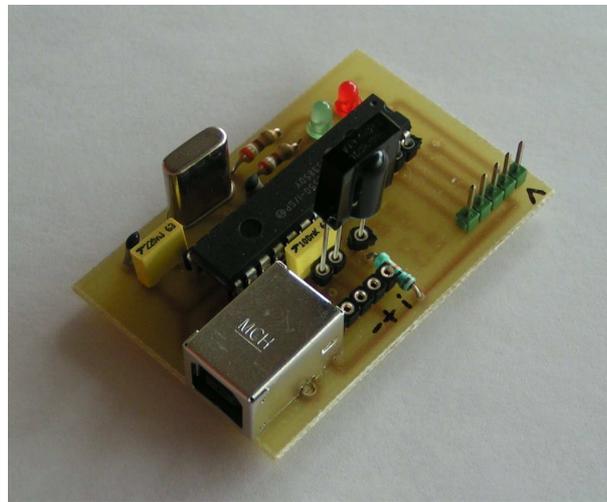


Figure C.8 : Photo de l'un de nos récepteurs d'infrarouges.

d'impulsions, i.e. d'intervalles de  $578 \mu\text{s}$ ) pendant lequel le signal est resté à ce niveau. Cet automate peut effectuer deux types d'actions : enregistrer un bit à 0 ou à 1 dans le tampon de réception de trame, ou bien déclencher les traitements de fin de trame (vérification d'erreur, reconstitution de la charge utile, transfert à l'ordinateur par USB).

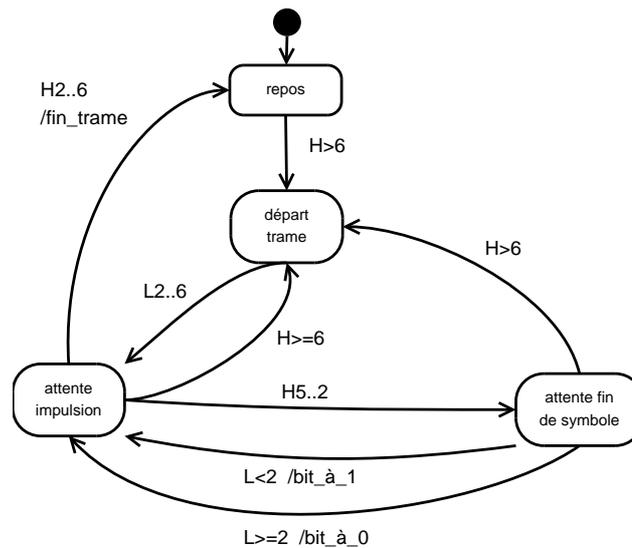


Figure C.9 : Automate de décodage de trames.

## C.5 Conclusion

Le système présenté ici répond au cahier des charges que nous nous étions fixé :

- *fiabilité* : le système nous a donné entière satisfaction lors de nos évaluations. Ainsi, nous avons pu mener nos expérimentations sans plus nous préoccuper de cet aspect technique ;
- *coût* : le coût total pour la réalisation de huit badges (plus deux prototypes) et quatre récepteurs (plus un prototype) a été de l'ordre de 150 euros, ce qui représente une somme très modique ;
- *encombrement* : les badges sont très légers ; ils mesurent 50 mm × 28 mm. L'élément le plus encombrant et le plus lourd est la pile 9V, mais elle peut se glisser dans la poche<sup>9</sup> ;
- *compatibilité* avec tous les ordinateurs disposant d'un port USB, sur tous les systèmes d'exploitation ;
- *facilité de mise en œuvre* : il suffit de brancher la pile pour mettre en marche un badge. Le décodage des informations se fait dans l'électronique du récepteur, donc il n'est pas nécessaire d'installer de pilote ou de logiciel particulier sur les ordinateurs : le logiciel applicatif suffit ;
- *distance de détection* : selon les conditions et selon l'angle, elle varie de 2 à 5 mètres.

<sup>9</sup>L'encombrement du récepteur était moins critique, mais elle est également très faible : 56 mm × 38 mm.