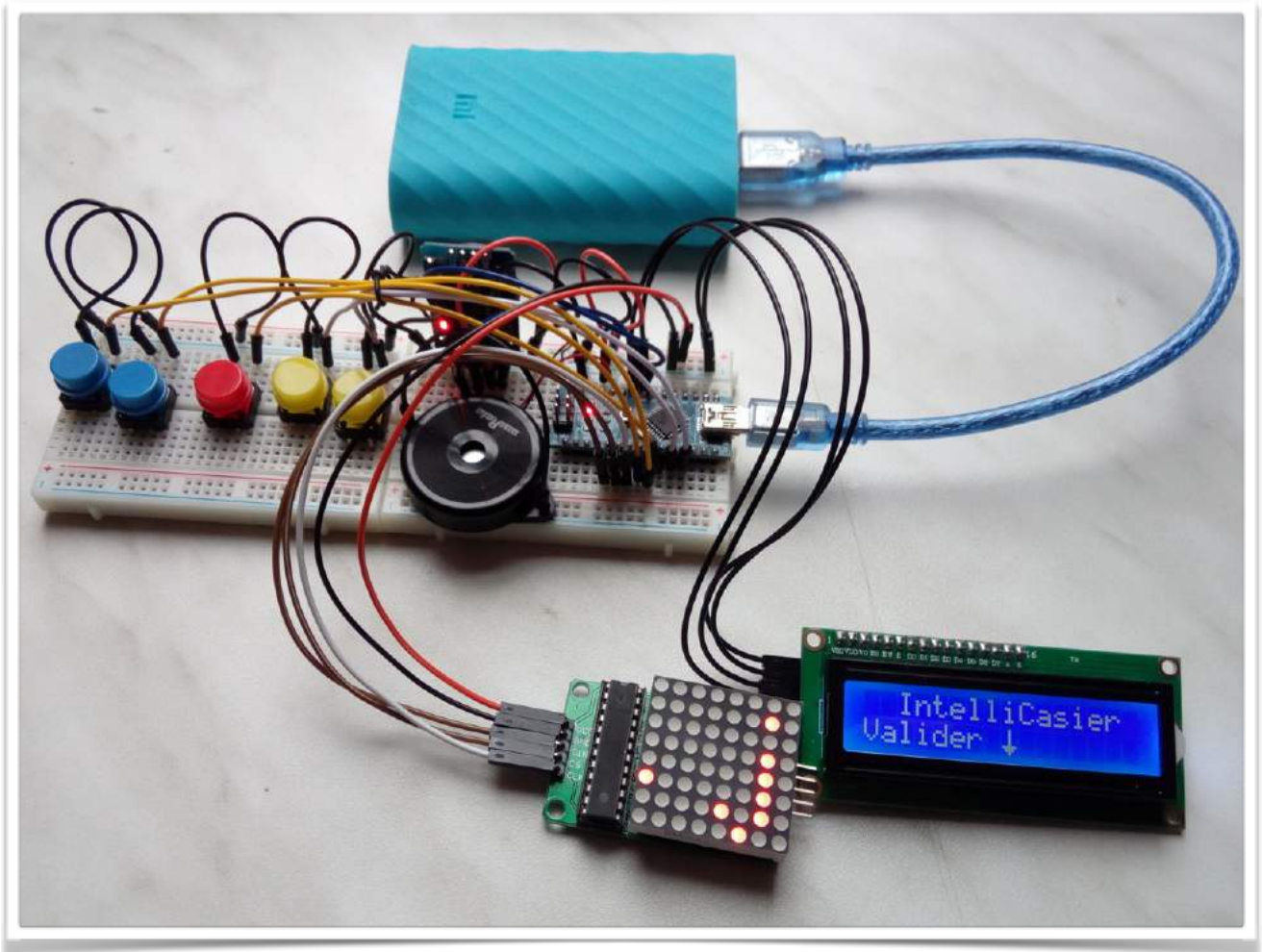

IntelliCasier

Comment rendre un casier plus fun et plus utile ?

Par Gilles Devillers de Terminale S SI pour le concours C. génial 2016



C.gENial

lycée
Jacques de Vaucanson
académie
d'Orléans-Tours

Sciences à l'École

9 03 16.
www.sciencesalecole.org

Table des matières

I - Le concept	3
II - Partie matériel	4
1 - Une première idée	4
2 - Prototype final	5
<i>A - Composants</i>	<i>6</i>
<i>B - Support du système</i>	<i>10</i>
<i>C - Coût du projet</i>	<i>11</i>
III - Partie logiciel	11
1 - Structure du programme	11
2 - Applications	13
<i>A - Interface et applications spéciales</i>	<i>13</i>
<i>B - Jeux</i>	<i>14</i>
<i>C - Emploi du temps</i>	<i>15</i>
IV - Conclusion, travail restant et évolutions	16

Introduction

Les objets intelligents sont partout de nos jours : smartphones, tablettes, lampes, assistants connectés, lunettes, pots de fleurs, serrures, réfrigérateurs... et le phénomène ne fait que de s'étendre davantage au fil des jours. La transformation de ces objets nomades en objets intelligents se fait par l'ajout de différents services accessibles via une interface de communication simple entre l'Homme et l'objet.

Un casier de lycéen est un objet simple et banal, loin d'être intelligent. Mais on peut tenter de lui apporter de « l'intelligence ». En créant un casier équipé d'électronique embarquée, donnant accès à divers services, on a là un produit innovant qui pourrait faciliter et améliorer la vie des lycéens.

Nous allons donc voir comment il est possible de rendre un casier plus fun et plus utile à l'aide de la technologie, à savoir rendre un casier un tant soit peu « intelligent ».

I - Le concept

Un casier possède une porte, rien d'extraordinaire. Mais certaines portes de casier (notamment celles de mon lycée), possèdent quelques caractéristiques particulières :

- Une grille supérieure de 8x8 trous de 5mm de diamètre
- Une grille inférieure identique
- Un emplacement pour placer une étiquette avec son nom

L'idée de ce projet m'est venue lorsque j'ai vu, dans mon lycée, une porte de casier qui s'était vue ajouter des LEDs blanches dans quelques trous de l'une des deux grilles. La modification de la porte était intrigante, et m'a de suite fait imaginer un système bien plus poussé : et si l'on détournait une porte de casier pour la transformer en véritable interface de communication avec l'Homme ?



Il m'est d'abord venu l'idée de transformer une porte de casier en « borne d'arcade », en plaçant une LED dans chaque trou de la grille supérieure ainsi que quelques boutons à travers des trous de la grille inférieure. Le système final aurait permis de jouer à des jeux simples, aux allures rétro, directement sur le casier.

Cependant, cette première idée m'a montré que le système avait bien plus de potentiel : il pourrait aussi venir aider les lycéens au quotidien.

L'IntelliCasier final devra donc remplir deux fonctions principales :

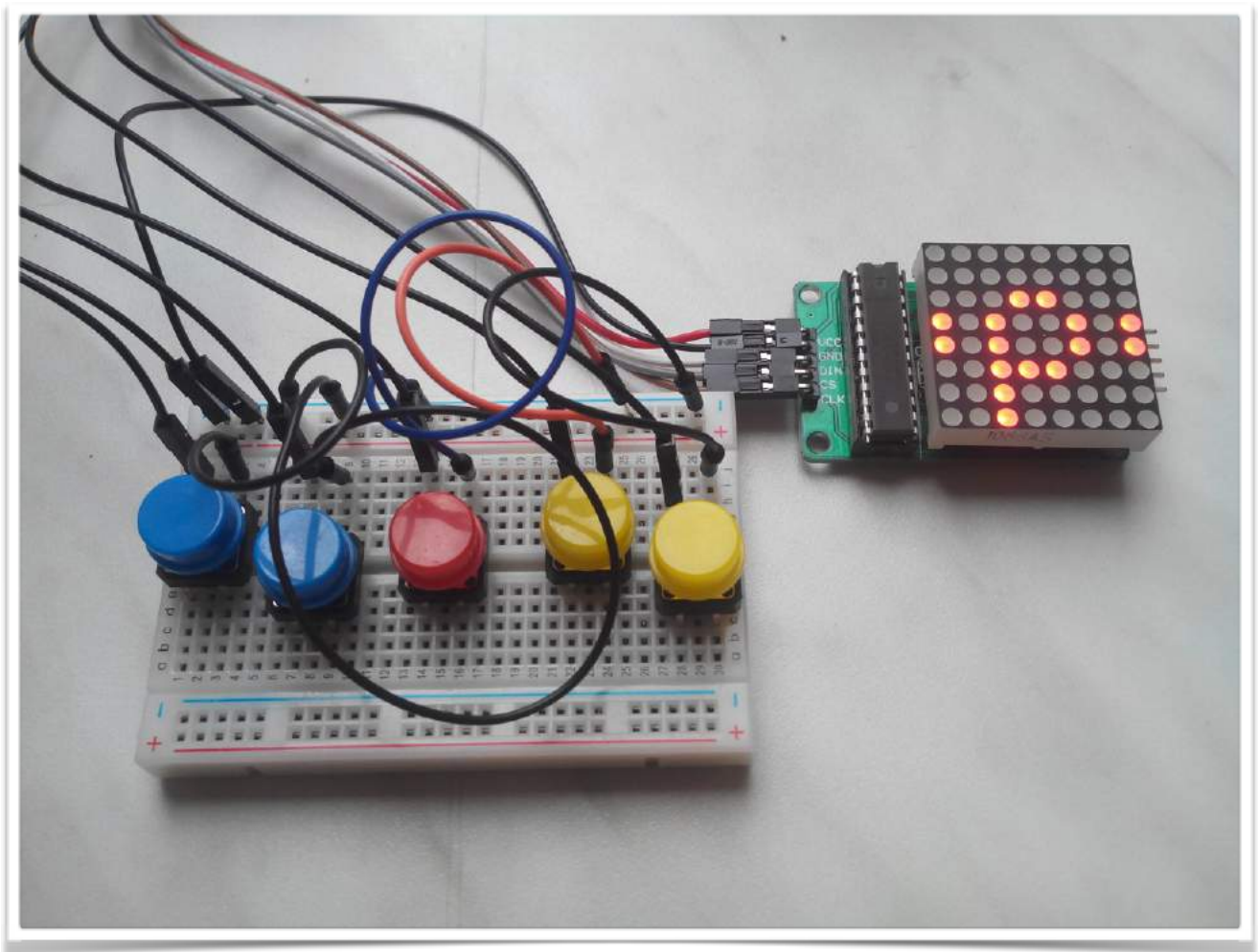
- Proposer quelques jeux basiques.
- La possibilité de voir son emploi du temps ainsi que les livres à prendre pour la prochaine demi-journée de cours.

II - Partie matériel

1 - Une première idée

Le premier prototype réalisé, avec en tête l'idée de pouvoir jouer à des jeux basiques sur une porte de casier, était assez simple : quatre boutons, une matrice de 8x8 LEDs, une carte électronique programmable et le tour est joué.

Il aurait permis de jouer à des jeux très simples, malheureusement l'affichage étant limité à la matrice, le système aurait été plutôt compliqué à utiliser.



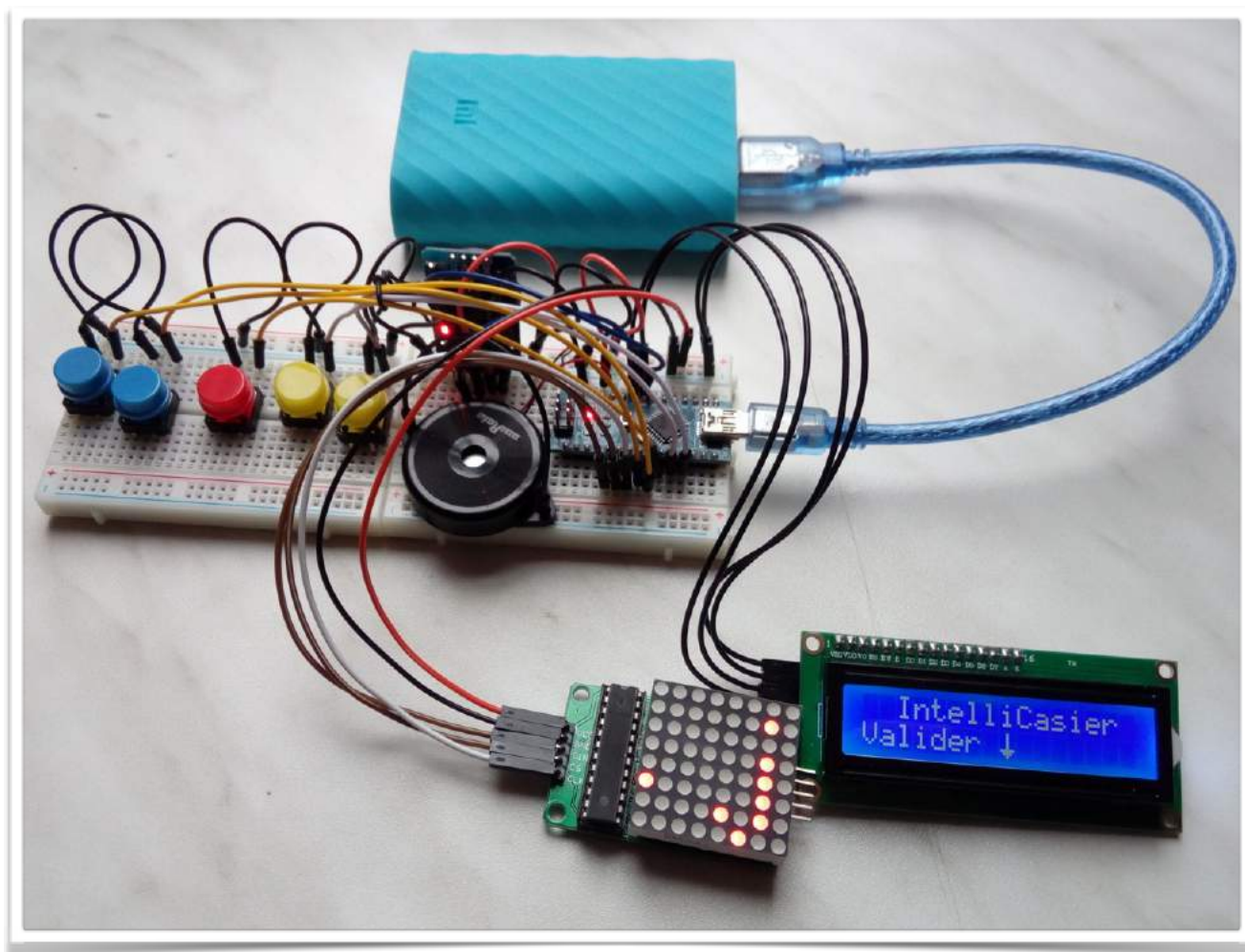
2 - Prototype final

L'idée ayant rapidement évolué, notamment grâce à l'apparition de nouveaux casiers dans mon lycée comportant un emplacement d'étiquette sur la porte, il a gagné en fonctionnalités et donc en complexité.

J'ai donc utilisé toutes les caractéristiques de la porte de casier que je pouvais pour lui ajouter de nouvelles fonctionnalités et rendre la navigation facile et intuitive.

D'extérieur, le casier sera composé :

- D'une matrice de 8x8 LEDs disposée dans les trous de la grille supérieure pour les jeux, ou afficher des images et des animations
- D'un écran LCD permettant d'afficher deux lignes de seize caractères pour naviguer facilement dans les menus et ouvrir la porte à de nouvelles applications
- De 5 boutons, permettant de jouer à un ou deux joueurs et de naviguer aisément dans les menus

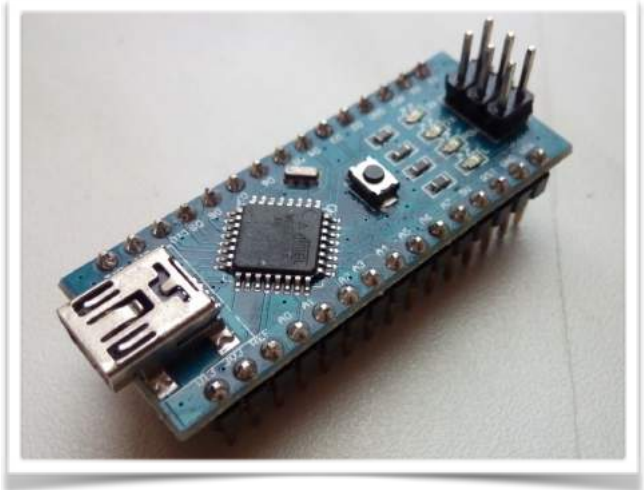


Sur ce prototype, tous les composants sont les composants finaux du système, excepté les LEDs. On voit ici une petite matrice de 8x8 LEDs rouges, identique à celle qui sera fixée sur le casier mais plus petite et donc plus pratique pour le développement.

A - Composants

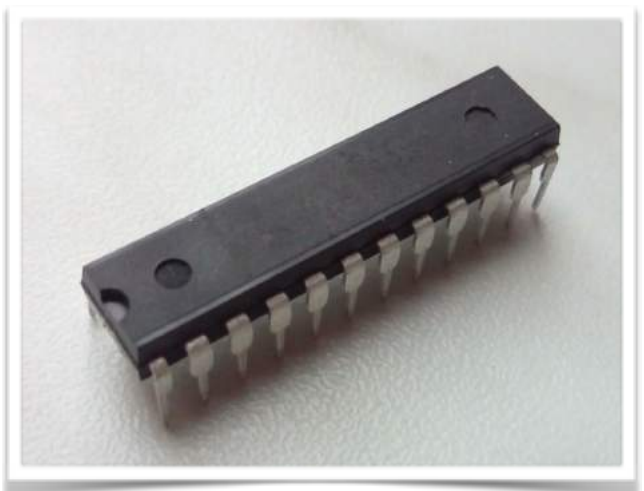
Il a donc fallu trouver les composants qui constituent le système. En voici la liste :

- Une Arduino Nano, une petite carte électronique programmable qui sera le « cerveau » du casier. Son microcontrôleur gère les entrées et sorties du système et exécute toute la logique des jeux et des applications. Elle met à disposition 14 entrées/sorties digitales et 8 entrées analogiques. Elle peut être programmée et alimentée simplement par un port USB.



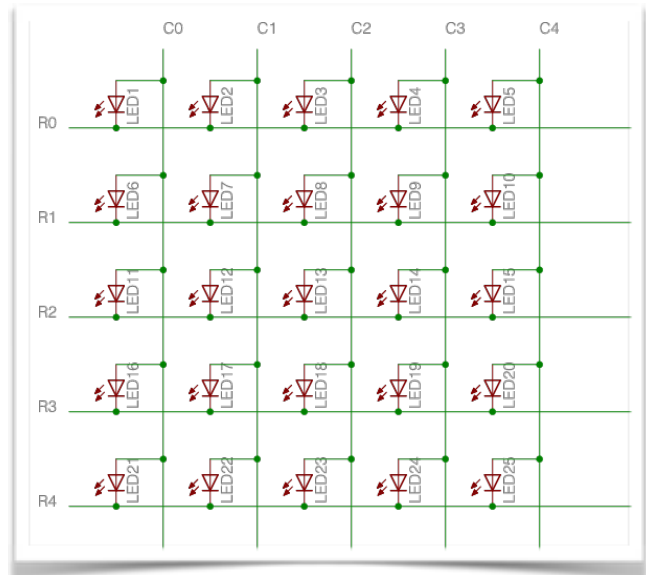
- 64 LEDs rouges de 5 mm de diamètre, qui se glissent parfaitement dans les trous des grilles de porte de casier et qui constitueront la « matrice », comme un simple écran monochrome d'une résolution de 8x8 pixels.

- Un circuit intégré MAX7219, contrôlant toutes les LEDs et réduisant la consommation de celles-ci, tout en libérant des broches d'entrée/sortie sur l'Arduino. Ce circuit intégré a été récupéré sur la petite matrice utilisée pour le prototype.



Les LEDs sont en fait branchées selon une méthode appelée « multiplexage » : il s'agit de relier les cathodes de chaque rangée ensemble, et les anodes de chaque colonne ensemble.

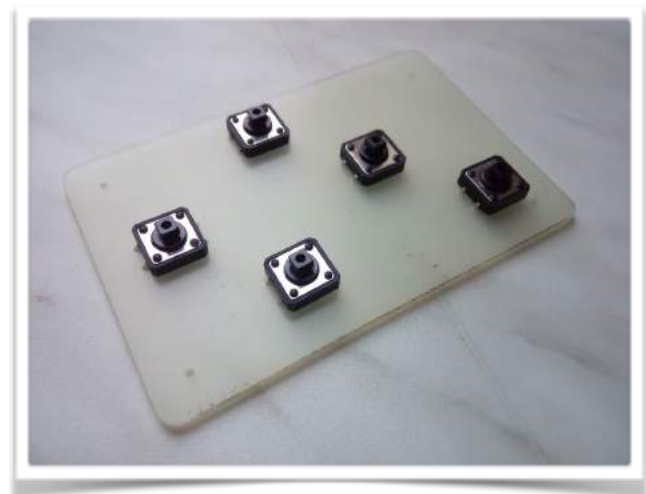
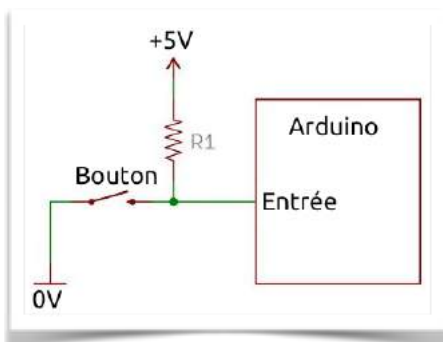
On se retrouve avec seulement 16 sorties au lieu de 64 si les LEDs étaient reliées individuellement. Le câblage est donc grandement simplifié. La matrice multiplexée est donc contrôlée par le circuit intégré, lui-même contrôlé par l'Arduino en utilisant uniquement deux câbles de données.



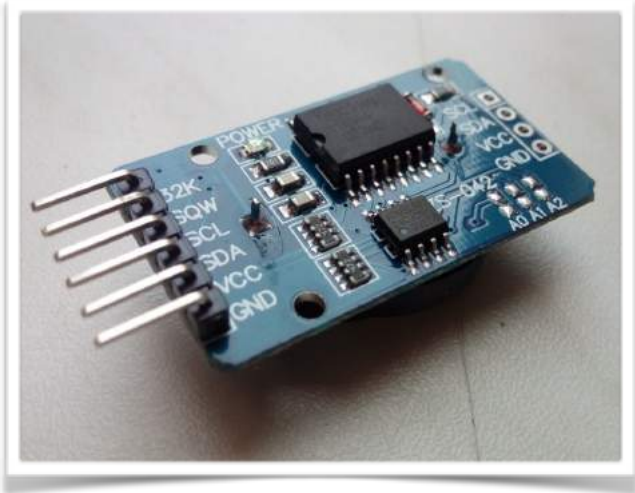
- Un écran LCD I2C, permettant d'afficher facilement du texte sur deux lignes et seize colonnes, ce qui facilite beaucoup la navigation dans les menus ainsi que l'affichage de l'emploi du temps. Il est contrôlé directement par l'Arduino en utilisant le protocole I2C, ce qui signifie qu'il n'a besoin que de deux câbles de données (ou deux broches d'entrée/sortie sur l'Arduino).

- Cinq boutons pour la navigation et les contrôles des jeux.

Les boutons sont généralement reliés au microcontrôleur à l'aide d'une « résistance de rappel » :



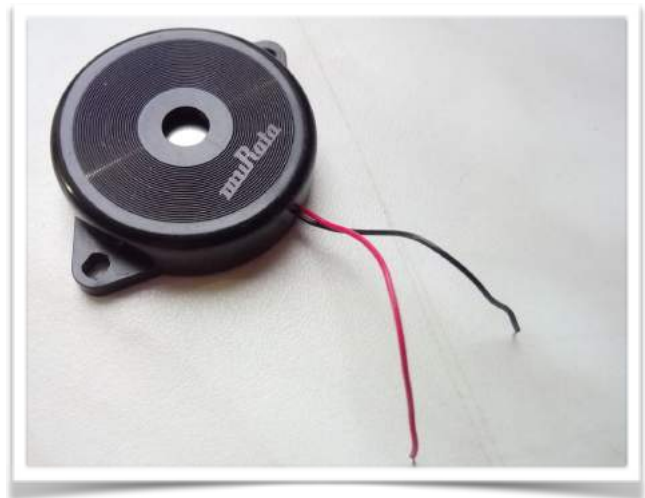
L'Arduino possède des résistances de rappel interne, qui évitent d'utiliser des résistances externes. Les 5 boutons seront donc directement reliés à l'Arduino pour ne pas trop compliquer le système. Ils utiliseront donc 5 entrées sorties.



- Une horloge temps réel va permettre au système de connaître précisément l'heure, et donc d'éteindre toutes les LEDs de la matrice ainsi que celle de l'écran LCD hors des horaires d'ouverture du lycée, réduisant de beaucoup la consommation. Elle permet également de se repérer dans le temps lorsque l'emploi du temps doit être affiché.

La communication se fait, comme pour l'écran LCD, grâce au protocole I2C qui permet d'utiliser les mêmes broches de données que l'écran LCD. Cette horloge est équipée d'une pile bouton, qui lui permet de garder l'heure en mémoire même lorsque le casier est séparé de son alimentation principale. Pratique pour recharger une éventuelle batterie qui alimenterait le système.

- Un buzzer piézoélectrique récupéré dans un vieux combiné de téléphone fixe permettra de jouer quelques « bips » lors de l'appui sur les touches ou pendant les jeux. Il peut jouer de multiples notes et donc également des mélodies simples.



- Une photorésistance couplé à une résistance fera office de diviseur de tension, permettant de mesurer l'intensité lumineuse à l'intérieur du casier. Pratique pour détecter facilement si le casier est ouvert sans autorisation.

Dans un casier, pas de prise secteur ! Il faudra donc alimenter le système à l'aide d'une batterie. Un facteur important à connaître est donc la consommation totale du système. On peut pour ça utiliser un « multimètre USB » qui donne la consommation en temps réel.

Avec 50 % des LEDs allumées à leur intensité maximale, on obtient une consommation de 100 mAh. Le système en veille (la nuit), ce nombre descend à moins de 10 mA.

En supposant que le système soit allumé de 7h30 à 18h30, soit 11 heures par jour, on peut estimer l'autonomie du casier avec les paramètres ci-dessus, sachant que j'ai à disposition une batterie USB de 6250 mAh.



$$\begin{aligned} \text{Consommation}_{\text{quotidienne}} &= A_{\text{journée}} * h_{\text{journée}} + A_{\text{nuit}} * h_{\text{nuit}} \\ &= 100 * 11 + 10 * (24 - 11) \\ &= 1230 \text{ mAh/ jour} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Autonomie} &= \frac{\text{Capacité}_{\text{batterie}}}{\text{Consommation}_{\text{quotidienne}}} \\ &= \frac{6250}{1230} \approx 5 \text{ jours} \end{aligned}$$

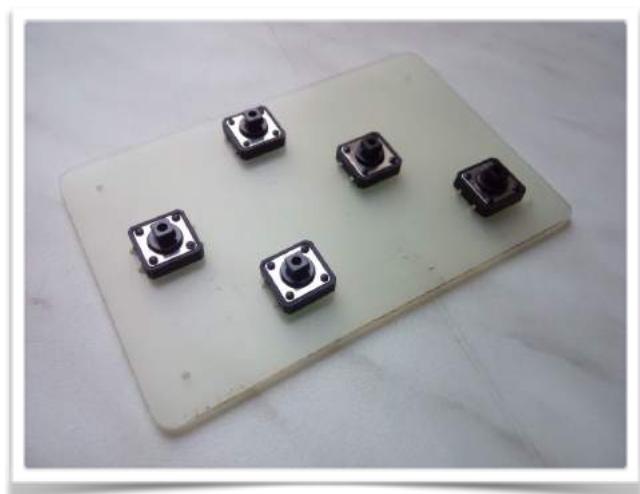
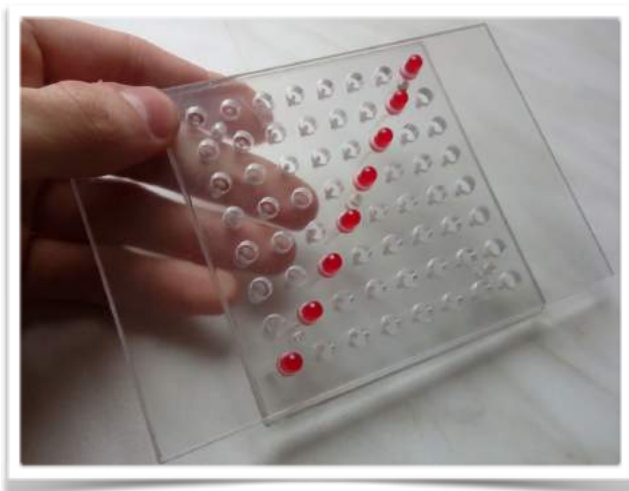
Évidemment, le casier final n'aura pas ses LEDs allumées au maximum de leur intensité lumineuse, et moins de 50 % des LEDs seront allumées en permanence (les LEDs de la matrice représentent la majeure partie de la consommation, au moins 80%). On peut donc être sûr que la consommation finale sera bien moindre et que l'autonomie sera de plus d'une semaine.

Pour avoir une mesure précise de l'autonomie du casier, il faudra mesurer en conditions réelles combien de temps le casier reste opérationnel.

B - Support du système

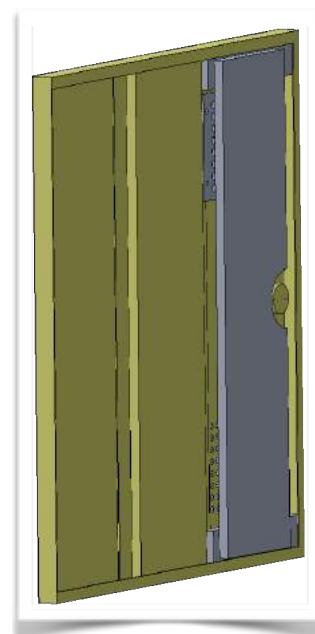
Pour fixer le système sur la porte de casier, un support en plusieurs parties sera fabriqué :

- Deux plaques en plastique usinées au lycée qui viendront de chaque côté des LEDs pour les maintenir en place et faciliter la soudure de la matrice.



- Une plaque pour fixer les boutons. Le bouton central est le bouton « Menu » ou « Valider ». Les deux boutons à gauche correspondent aux contrôles du premier joueur dans les jeux multijoueurs, et ceux de droite aux contrôles du second joueur. Ils sont placés en diagonale pour permettre d'être utilisés à la fois comme boutons haut/bas et gauche/droite.

- Une platine sur laquelle viendront se fixer les plaques et l'écran LCD, qui tiendra grâce à des rainures situées à l'intérieur de la porte.



C - Coût du projet

Le support étant fabriqué à partir de matériaux de récupération, son prix est négligeable. La plupart des composants ont été achetés sur le site de vente en ligne Banggood.

Composant	Quantité	Prix
Arduino Nano	1	3,00 €
LEDs rouges	64	0,64 €
MAX1719	1	0,50 €
Écran LCD I2C	1	3,50 €
Boutons	5	0,05 €
Horloge temps réel	1	1,50 €
Photorésistance	1	0,01 €
Résistance	1	0,01 €
Batterie	1	11,00 €
Buzzer piézoélectrique	1	Récupération

On obtient un total d'environ 20 €, un prix qui serait grandement réduit si les achats étaient effectués par lot et s'il était possible de se dispenser de la batterie.

III - Partie logiciel

1 - Structure du programme

Le programme qui gère tout le casier est écrit en C/C++, un langage bas niveau souvent utilisé pour programmer les microcontrôleurs, réputé pour être complexe mais offrant une liberté plus grande que les langages haut niveau, et donc une meilleure optimisation, facteur important lorsque l'on écrit de gros programmes avec des ressources aussi limitées.

Lorsque le premier prototype fût câblé, je me suis rapidement attaqué au programme. J'ai pu ainsi réaliser le menu de navigation ainsi que le jeu « Pong » et une partie de l'écran « À propos ». Cela a permis de tester le concept. Cependant, arrivé à ce stade, le code m'a déçu : je tapais le code au feeling, cela fonctionnait, mais le code ne semblait pas propre, il était difficile à faire évoluer. J'ai donc décidé de recommencer entièrement le programme pour repartir sur une base plus structurée.

Entre le moment où j'ai commencé à programmer le casier et le moment où j'ai décidé de repartir de zéro, j'ai eu l'occasion de programmer quelques jeux et applications en C pour la montre intelligente Pebble. La programmation de ces montres est basée sur une structure événementielle : le système appelle une fonction (un bout de code) lorsqu'un évènement se produit. L'évènement peut être un appui sur un bouton, un rafraîchissement de l'affichage ou un temps d'attente spécifique.

Ayant pris l'habitude de cette façon de programmer et la trouvant particulièrement efficace, j'ai voulu adapter ce système d'évènements au casier. J'ai donc pris beaucoup de temps pour programmer le « cœur » du système : la gestion des évènements, afin de partir ensuite sur la programmation des applications en ayant une base stable qui faciliterait le développement futur.

En pratique le processeur du microcontrôleur est cadencé à une fréquence de 16 MHz. Une fréquence très faible par rapport à nos ordinateurs personnels, mais amplement suffisante pour l'utilisation qui en est faite ici.

Lorsque le casier démarre, l'initialisation du programme et des périphériques externes est faite, puis le programme se place dans une boucle infinie : un bout de code qui sera exécuté en permanence :

```
void loop() {
    eventsUpdateLoop();
}
```

Ce bout de code est en fait la fonction système « `loop()` », qui ne fait qu'appeler la fonction « `eventsUpdateLoop()` ». Cette dernière va vérifier les entrées, et, si un bouton est pressé, va appeler une fonction qui exécutera une certaine action selon le contexte. Si un évènement doit se déclencher au bout de 5 secondes, et que ces 5 secondes sont passées, il va également appeler une fonction prédéfinie.

Pour faciliter le contrôle des périphériques externes et éviter des bugs, j'utilise quelques bibliothèques Arduino, qui sont des ensembles de fonctions prêtes à être utilisées :

- `LedControl` : contrôle le pilote de LEDs, et, par extension, la matrice de LEDs elle-même.
- `LiquidCrystal (I2C)` : contrôle l'écran LCD.
- `Sodaq_DS3231` : contrôle l'horloge temps réel.

Le système possède un système de localisation, l'interface du casier est donc disponible en français, mais également en anglais, et peut être étendu à autant de langues que souhaité.

La totalité du programme est disponible librement sur GitHub, un service très apprécié des développeurs et qui permet de stocker son projet dans le cloud et d'enregistrer chaque petit changement de code de façon indépendante : <https://github.com/GilDev/IntelliCasier>

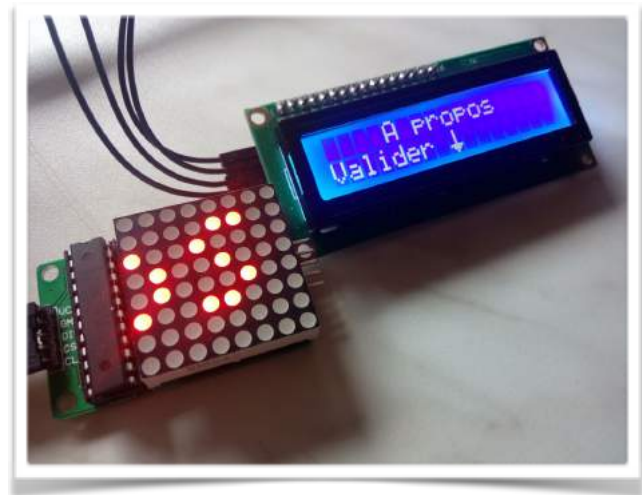
Il est sous licence MIT, autorisant quiconque à voir, modifier et redistribuer librement le code source.

2 - Applications

A - Interface et applications spéciales

Le casier possède deux principaux types d'applications : le menu, et les applications. Le menu permet de sélectionner et lancer une application à l'aide d'une interface simple : les boutons gauche et droite permettent de changer l'élément actuellement sélectionné (une application ou une catégorie d'application) et le bouton central de valider ou de lancer l'application sélectionnée.

Il existe une application spéciale nommée « À propos ». Elle affiche de succinctes informations sur le projet en lui-même et un lien vers une page de présentation de celui-ci. Mais ce n'est pas tout, cette application est également dotée d'un menu de réglages caché : en entrant une combinaison de touches prédéfinie, un nouveau menu s'ouvre, donnant accès à l'édition de différentes options, comme le laps de temps avant que l'économiseur d'écran se déclenche, l'intensité des LEDs et bien d'autres réglages pour chaque application.



Au bout de 15 secondes sans qu'aucun bouton n'ait été pressé, l'économiseur d'écran est lancé automatiquement. Il affiche des animations pouvant attirer l'attention des personnes alentour et baisse l'intensité des LEDs, permettant d'économiser la batterie lorsque le casier n'est pas utilisé.

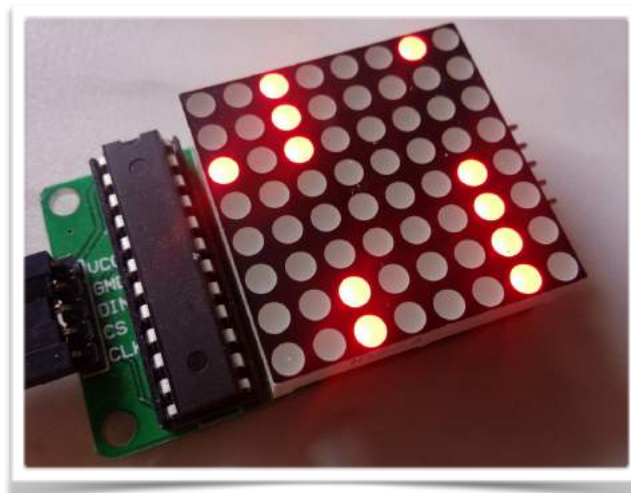
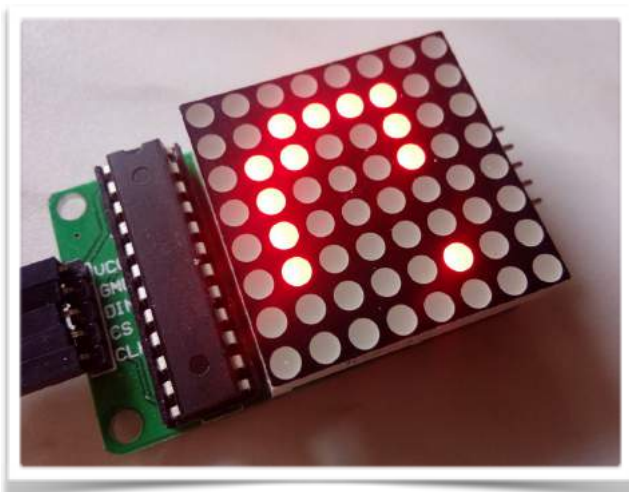
B - Jeux

Quelques jeux aux allures rétro sont disponibles sur le casier. Chacun affiche le jeu sur la matrice et le score du ou des joueurs sur l'écran LCD. Dans le futur, il sera possible d'entrer son nom dans le cas d'un record, et de voir le classement des meilleurs joueurs, à l'instar des bornes d'arcade présentes dans les anciennes salles d'arcade.

Voici la liste des jeux présents sur le casier :

- **Snake**, un jeu créé en 1970 puis popularisé par Nokia en 1990, étant un des premiers jeux disponibles sur téléphone portable. Le joueur contrôle un serpent devant manger des pommes qui apparaissent aléatoirement sur l'écran. Chaque pomme mangée augmente la longueur du serpent et apporte un point au joueur. Si le joueur heurte un mur ou sa propre queue, la partie est terminée.

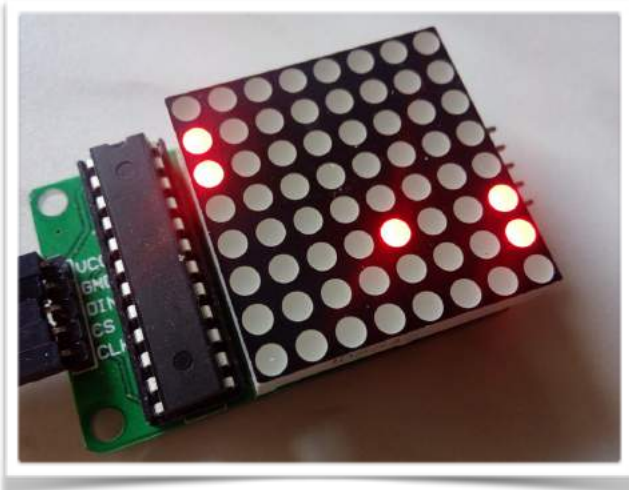
Par souci de résolution la matrice de LEDs, le joueur doit user de son imagination pour se représenter le serpent, et la pomme qui clignote pour faciliter son repérage.



- **Flappy Bird**, sorti en mai 2013 sur mobile, est un jeu qui met le joueur aux commandes d'un oiseau. Un seul bouton suffit à contrôler l'oiseau, qui avance en permanence mais qui descend petit à petit. Pour battre des ailes et faire remonter l'oiseau, il suffit d'appuyer sur un bouton.

Le but est d'éviter de faire rentrer l'oiseau dans des murs qui apparaissent au fur et à mesure de la progression. Chaque mur passé rapportant un point. La vitesse de l'oiseau, et par extension la difficulté, augmente progressivement.

- **Pong** est apparu en 1967 et est l'un des tout premiers jeux vidéo ayant existé. Il se joue à deux joueurs, chacun contrôlant une raquette qui peut se déplacer de haut en bas. Les joueurs doivent renvoyer une balle qui rebondit sur les murs et les raquettes. Si la balle passe derrière la raquette d'un joueur, ce joueur a perdu et le gagnant remporte un point. Comme pour **Snake**, la vitesse de la balle augmente petit à petit.



Ces trois jeux sont actuellement fonctionnels. D'autres sont prévus mais pas encore programmés ou seulement en partie :

- **Breakout**, un jeu de casse-briques de 1976 réalisé par Atari. Le joueur déplace une raquette et tente de faire rebondir une bille sur des briques pour les casser. Une fois toutes les briques cassées, un nouveau niveau apparaît.
- **Race** est une course de voitures. Les graphismes sont difficiles à imaginer sur un écran de si petite taille, mais le joueur déplacera latéralement la voiture qui avancera toute seule, et devra éviter les obstacles qui se mettent en travers de sa route.
- **Tron** sera un jeu à deux joueurs, qui reprend le concept de Snake en le mélangeant au film Tron : chaque joueur contrôle une moto et ne doit pas rentrer dans un mur ou dans les traînées que laissent les motos derrière elles.

C - Emploi du temps

Cette application n'est encore qu'un concept. Je n'ai pas encore eu le temps de l'implémenter mais elle devrait être disponible d'ici peu.

Le lycéen pourra, au lancement de l'application, jeter un coup d'œil à son emploi du temps de la journée en cours. Il pourra connaître la salle dans laquelle se déroulera le cours. Il pourra également voir les livres, cahiers et classeurs à prendre pour les prochaines heures de cours à venir dans la demi-journée actuelle, permettant d'optimiser le stockage de ses affaires et de réduire un éventuel mal de dos dû à une surcharge du sac à dos.

La partie suivante propose de nombreuses améliorations qui pourront être apportées à cette application pour la rendre quasi indispensable aux lycéens.

IV - Conclusion, travail restant et évolutions

Il ne reste plus qu'à placer les boutons et LEDs sur leur support respectif, puis souder la matrice de LEDs et enfin câbler le tout. Quelques applications doivent encore être développées, et seront terminées dans peu de temps. Quelques fonctions doivent également être implémentées comme l'extinction et l'allumage automatique du système en fonction de l'heure, ou encore l'alarme qui émettra un son lorsque le casier sera ouvert sans avoir entré un code auparavant, pour éviter le vol d'affaires.

En ce qui concerne l'application de l'emploi du temps, celle-ci pourrait être grandement améliorée avec une connexion Bluetooth au smartphone de l'élève, offrant à ce dernier la possibilité de modifier facilement son emploi du temps ou de noter d'éventuelles absences de ses professeurs. En poussant l'idée plus loin, le casier pourrait être connecté à internet en WiFi et communiquer directement avec le système de gestion des emplois du temps du lycée, pour prévenir directement des absences de professeurs, des affaires particulières à apporter en cours ou encore de devoirs à réaliser.

On peut imaginer de cette façon le système développé à grande échelle. Chaque élève aurait accès à ses informations directement depuis son casier. Certains composants comme le microcontrôleur ou l'horloge pourraient gérer plusieurs casiers à la fois pour réduire l'encombrement et la consommation.

Ce projet était (et est toujours pour quelque temps) très intéressant à réaliser, j'ai pris beaucoup de plaisir à travailler dessus, il m'a permis d'acquérir de nombreuses connaissances en fabrication, électronique et programmation : le code fait déjà 3000 lignes et d'autres milliers sont à venir.

L'idée qu'un simple casier peut être réinventé et devenir un outil innovant indispensable de la vie des lycéens montre à quel point la technologie peut faire des miracles.