

Sciences à l'École



2012

2013

Le Robot Caméléon



C.gENIAL

Fondation pour la culture
scientifique et technique

Lycée Louis-Le-Grand

JACQUIN Aymeric

LAZARD Benjamin

RAKOTOMALALA Adrielle

Introduction

Les animaux, qui ont souvent plusieurs prédateurs naturels, ont au cours de l'évolution développé de nombreuses techniques de camouflage. L'une d'entre elles consiste en un changement dynamique de leur couleur. Plusieurs espèces ont cette capacité, dont l'exemple le plus connu est le caméléon.

Le camouflage est également un enjeu important pour l'homme. N'avez-vous jamais rêvé de pouvoir vous fondre dans le décor ? En effet, même si l'homme n'a pas de prédateur naturel, la nécessité de se camoufler dans l'environnement pour échapper aux ennemis est apparue évidente durant les conflits qui ont émaillé l'histoire. Le camouflage est donc non seulement un enjeu militaire mais aussi une nécessité dans toutes les activités où l'homme souhaite évoluer dans la nature sans être vu (chasse, photographie animalière...).

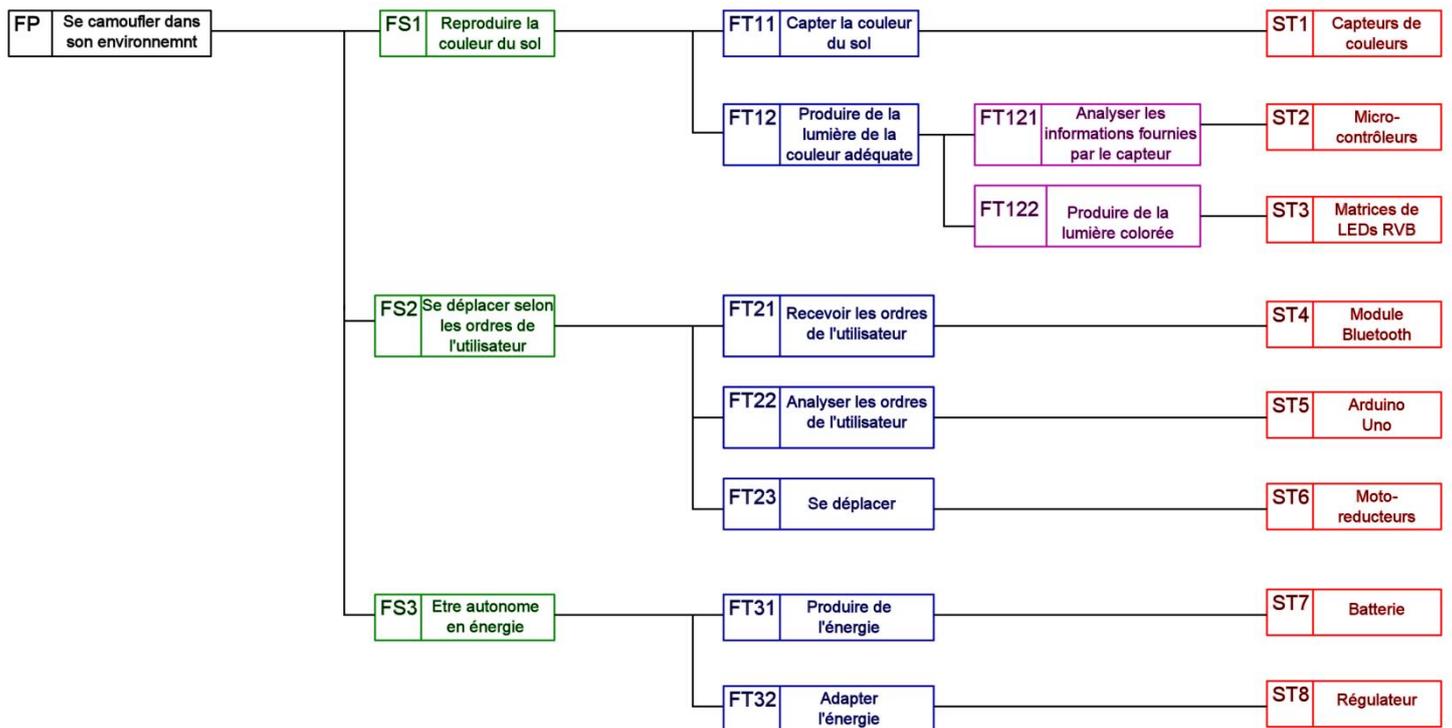
Nous avons donc choisi d'étudier les capacités du caméléon afin de mettre au point une application utile à l'homme : produire un robot capable de se fondre dans son environnement. La problématique de notre travail a donc été : comment un robot peut-il se fondre dans la nature en s'inspirant des techniques de camouflage du caméléon ?

Afin de se dissimuler dans son environnement, le caméléon provoque un changement dynamique de sa couleur de peau. La coloration du caméléon est principalement due aux chromatophores, des cellules de peau contenant des pigments colorés. Pour changer de couleur, celui-ci sécrète une hormone provoquant la contraction de petits muscles qui déforment les cellules pigmentaires, modifiant ainsi la répartition des pigments à l'intérieur des chromatophores.

Conceptualisation du robot

En nous inspirant de l'exemple du caméléon, nous avons donc défini la fonction principale de notre robot : se camoufler dans son environnement.

A partir de cette fonction principale, nous avons ensuite déterminé les différentes fonctions que notre robot se devait de remplir. Nous avons rassemblé toutes ces fonctions dans le diagramme FAST suivant, qui mentionne également les solutions technologiques que nous avons apportées.



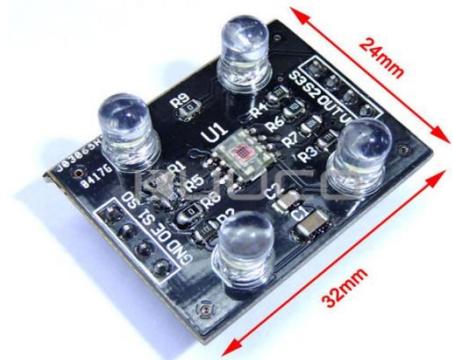
Par la suite, nous avons établi le cahier des charges fonctionnel du robot :

Fonctions de service	Critères d'appréciation	Niveaux d'acceptation	Tolérance
FS1: Reproduire la couleur du sol	Capture de la couleur du sol	Distinguer au minimum 100 couleurs différentes	± 20 couleurs
	Emission de lumières colorées	Produire au minimum 100 couleurs différentes	± 20 couleurs
	Rafraîchissement de la couleur	Au minimum 30 fois par seconde	± 3 fois/s
FS2 : Se déplacer selon les ordres de l'utilisateur	Vitesse de déplacement	0,1 m/s à 1 m/s	$\pm 0,1$ m/s
	Contrôle à distance	Pouvoir être contrôlé à plus de 10 m	± 2 m
FS3 : Être autonome en énergie	Autonomie	1 heure minimum	± 15 min
C1 : Ne pas être visible pour d'autres observateurs	Visibilité de haut	Ne pas être visible à plus de 25 m	± 5 m
	Visibilité de côté	Ne pas être visible à plus de 50 m	± 10 m
C2 : Résister et ne pas nuire à l'environnement	Nuisances sonores	Niveau sonore maximal de 20 dB	± 5 dB
	Résistance au choc	Résister à un choc pour une vitesse inférieure à 0,5 m/s	
C3 : Être esthétique et ergonomique	Encombrement	Dimensions maximales H = 10 cm L = 20 cm l = 20 cm	± 2 cm ± 5 cm ± 5 cm
	Masse maximale	3 kg	± 1 kg
C4 : Coûter un prix raisonnable	Coût maximal	450 €	± 50 €

Choix des composants

Afin d'être en mesure de connaître la couleur de son environnement, notre robot avait besoin d'un capteur de couleur. Nous avons eu recours au capteur TCS230, car celui-ci présentait différents avantages : une petite taille, un prix raisonnable, et une information délivrée facilement analysable. Ce capteur est implanté sur un petit module qui permet de simplifier les branchements, ainsi que d'éclairer de façon neutre le sol (en blanc) pour fournir ensuite une information plus juste.

Son principe de fonctionnement est le suivant : des photodiodes équipées de filtres de couleur rouge, verte et bleue réagissent à la lumière réfléchiée par le sol, et génèrent des signaux dont on peut analyser les fréquences, images de la couleur du sol.

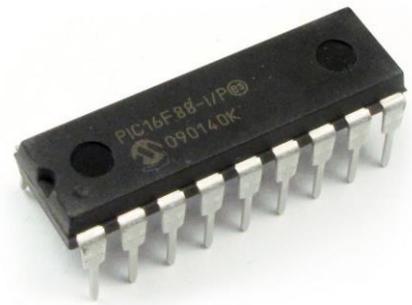


Pour restituer la couleur du sol, nous avons décidé d'utiliser des matrices de LEDs RVB 8x8, car elles constituaient la solution la plus adaptée : étant donné que nous avons prévu d'associer à chaque capteur une matrice (ce qui implique que toutes les LEDs d'une même matrice produisent une lumière de même couleur à un instant donné), ces matrices nous permettent de créer « une large zone de couleur uniforme » pour chaque capteur, ce qui aurait été difficile à réaliser avec de simples LEDs.

Par ailleurs, ces matrices de LEDs présentent d'autres avantages : la disposition des broches en deux rangées de 16 facilite les branchements, et leur luminosité, convenable (l'objectif du robot n'étant pas d'éclairer, mais seulement d'adopter une couleur), n'induit qu'une faible consommation d'énergie (l'intensité maximale du courant requise pour éclairer toutes les matrices de LEDs en même temps est de l'ordre de 1,5 A).



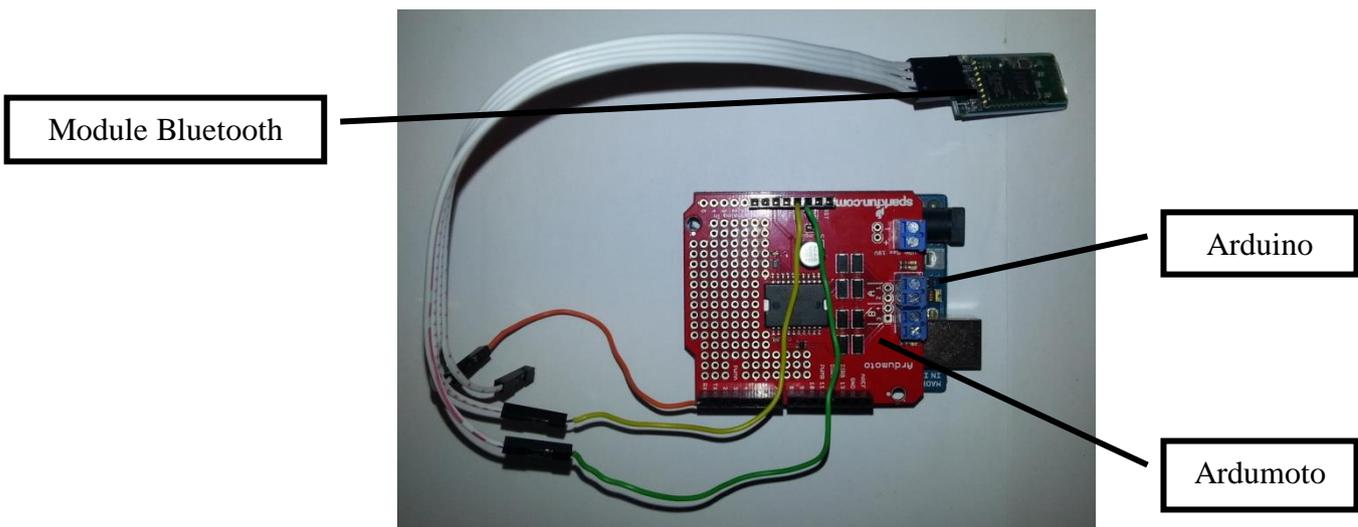
Afin de faire varier la couleur des matrices de LEDs RVB en fonction des informations envoyées par les capteurs, nous avons eu recours à un microcontrôleur. En effet, cette solution technique est la plus répandue dans les systèmes électroniques, lorsqu'il y a besoin de coordonner selon une logique complexe différents composants. Notre choix s'est finalement porté sur le PIC16F88, en raison des avantages qu'il présentait : une taille et une consommation d'énergie réduites, ainsi qu'une grande vitesse de calculs et une programmation simplifiée grâce au langage Flowcode®.



Pour rendre notre robot mobile, nous l'avons équipé de deux motoréducteurs, chacun composé d'un moteur 3V à courant continu, couplé à une roue en néoprène.



Afin de piloter notre robot à distance, nous avons besoin d'un système capable de commander les moteurs en fonction d'informations communiquées sans fil par l'utilisateur. Après plusieurs recherches, l'utilisation d'un smartphone, appareil en pleine expansion, nous a paru être la meilleure solution pour contrôler le robot. Pour réaliser ce système, nous avons décidé d'utiliser conjointement un module Bluetooth (pour recevoir les informations), une carte programmable : l'Arduino Uno (pour les traiter) et une interface de puissance : l'Ardumoto (pour simplifier la commande des moteurs).



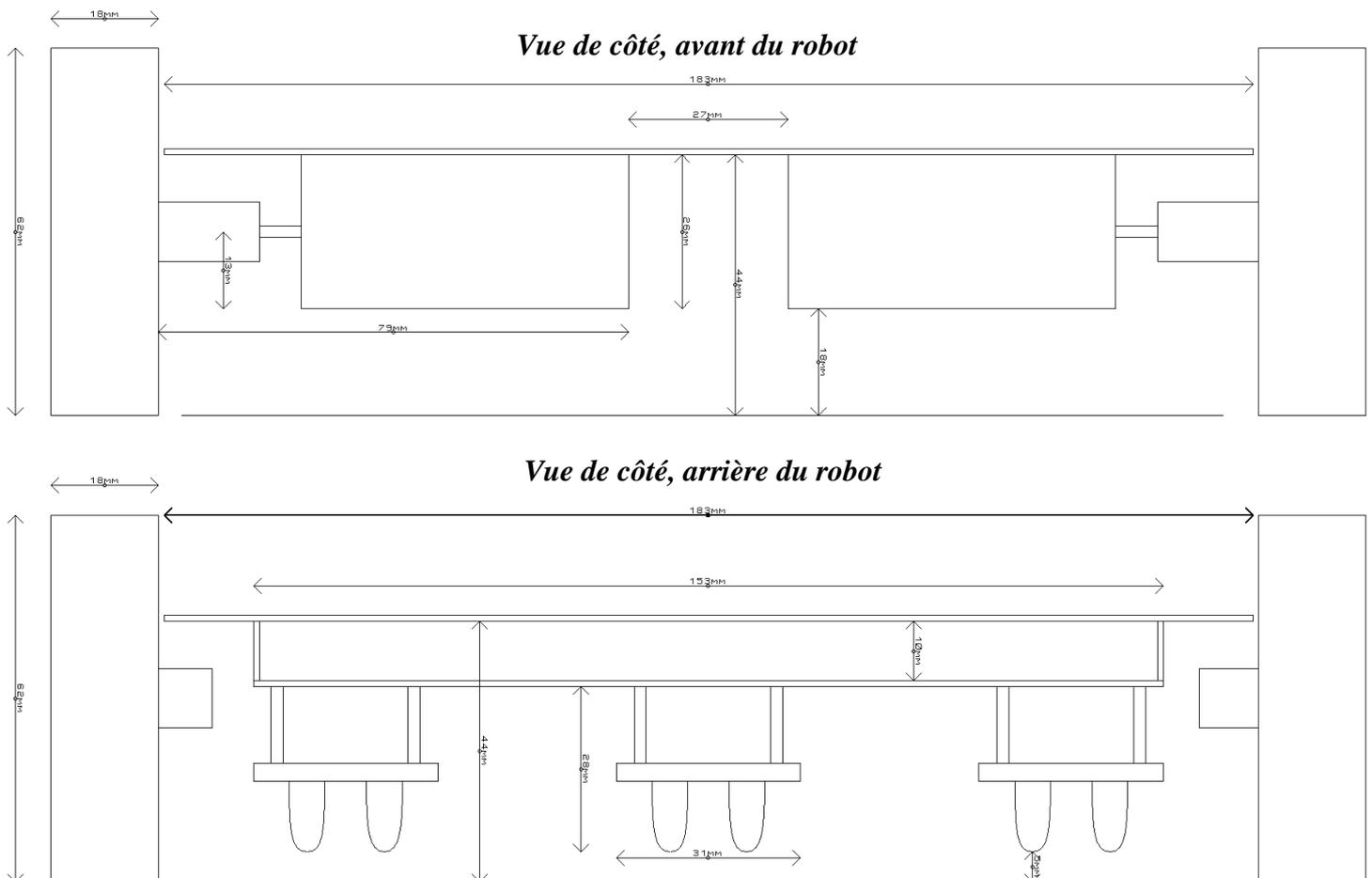
Afin de garantir l'autonomie énergétique de notre robot, nous l'avons doté d'une batterie Lithium-polymères, technologie assurant un des meilleurs compromis autonomie/intensité du courant délivré. La batterie choisie fournit une tension de 7,4 V pour une intensité de 3200 mAh.

La structure du robot

L'objectif de notre robot est de se camoufler dans la nature, et donc sur une surface multicolore. C'est pourquoi nous avons décidé de le doter de 9 zones de couleur indépendantes, chacune associant une matrice et un capteur. Nous avons fait en sorte qu'une matrice, positionnée au-dessus d'un capteur, prenne la couleur de la surface située juste en dessous d'elle. En revanche, le nombre de broches et la vitesse de calcul de nos microcontrôleurs étaient suffisants pour nous permettre de faire en sorte qu'un seul microcontrôleur pilote deux zones de couleur.

Nous avons imaginé une structure en 3 étages, élaborée autour de deux plaques de PVC :

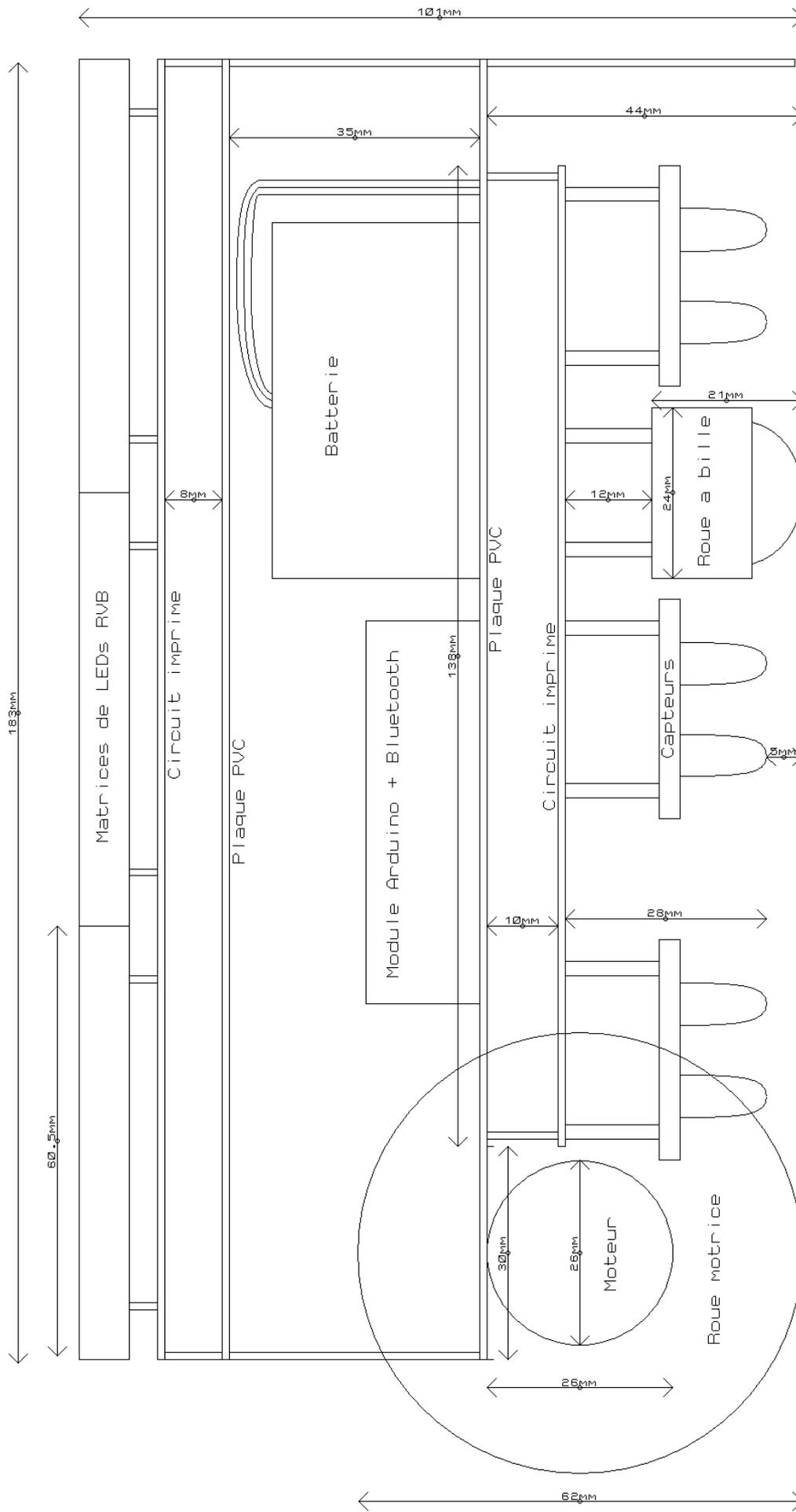
- La plaque du bas, au dos de laquelle se trouve le circuit imprimé qui comporte les capteurs, situés à proximité du sol. A côté du circuit sont fixés les moteurs, qui entraînent directement les deux roues motrices.



- La plaque du haut, qui sert de support au circuit imprimé comportant les matrices de LEDs RVB. Ces dernières sont donc placées au sommet du robot, de sorte qu'un observateur debout n'aperçoive que cette partie du robot.

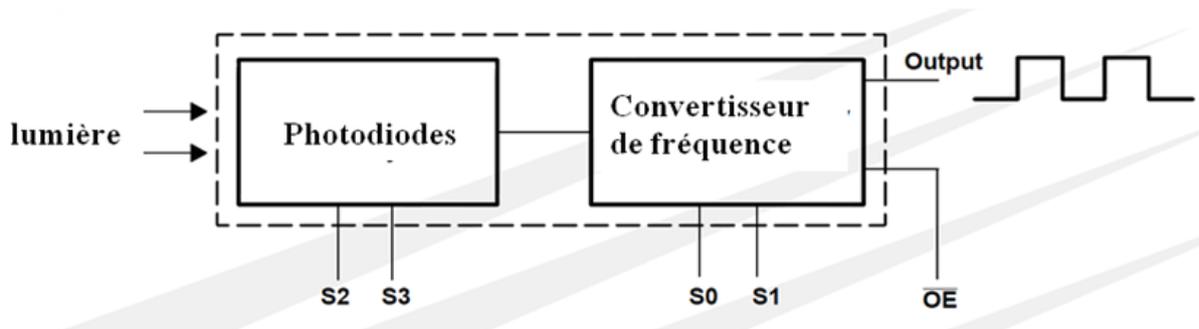
L'intervalle situé entre ces deux plaques est occupé par la batterie, ainsi que par les modules Arduino, Ardumoto et Bluetooth.

Les deux circuits imprimés communiquent à l'aide de nappes de fils. Le robot ainsi créé ne mesure qu'une dizaine de centimètres de hauteur et se présente, vu de haut, comme un carré d'une vingtaine de centimètres de côté (seules les deux roues motrices dépasseront légèrement du robot).



La capture et l'imitation de la couleur du sol

On rappelle que nos capteurs délivrent, pour chacune des trois composantes de la lumière (rouge, verte et bleue, selon le principe de la synthèse additive des couleurs), un signal électrique dont la fréquence dépend de l'intensité de la composante en question dans la lumière incidente.

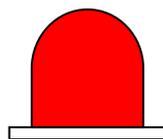


Notre programme, exécuté par le microcontrôleur, analyse en premier lieu ces signaux, qu'il reçoit sur certaines de ses broches, reliées aux capteurs, et détermine les fréquences correspondantes. A la suite de calculs, il en déduit ensuite les composantes de la couleur à restituer aux matrices de LEDs. Pour leur communiquer cette couleur, le microcontrôleur crée, à partir des valeurs précédentes, des signaux électriques de rapports cycliques adéquats, pour les appliquer à chacun des trois types de puces (rouge, verte et bleue) qui constituent les LEDs RVB de nos matrices. Ces puces sont reliées aux broches du microcontrôleur par le biais de transistors, utilisés en commutation (c'est-à-dire comme des interrupteurs : ils sont alternativement bloqués et saturés). Ceci va permettre de réguler l'intensité lumineuse du rouge, du vert et du bleu de chaque LED, et donc de reconstituer la couleur du sol de manière quasi-instantanée.

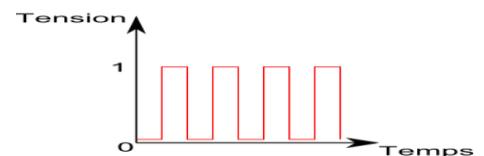
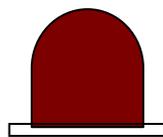
$$\text{Rapport cyclique} \Leftrightarrow \text{intensité lumineuse} \Leftrightarrow \frac{\text{temps matrice allumée}}{\text{temps total}}$$

Exemple de la puce rouge d'une LED :

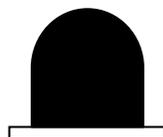
Rapport cyclique de 100 %
(intensité lumineuse maximale)



Rapport cyclique de 50 %



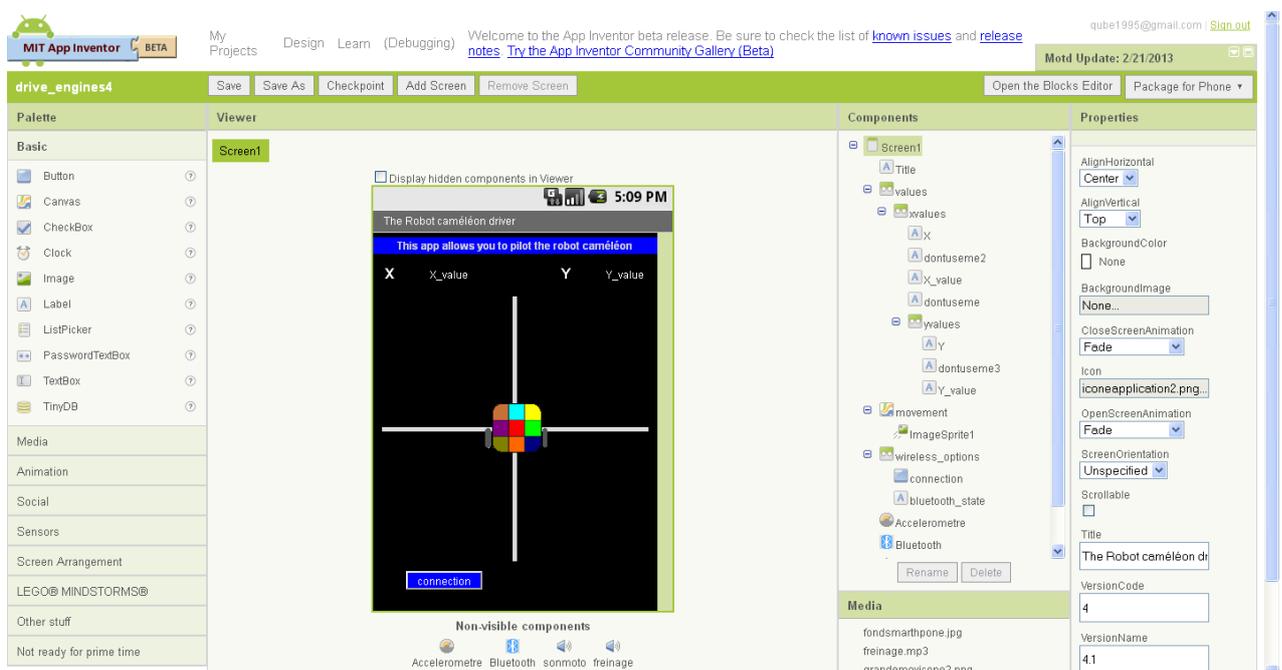
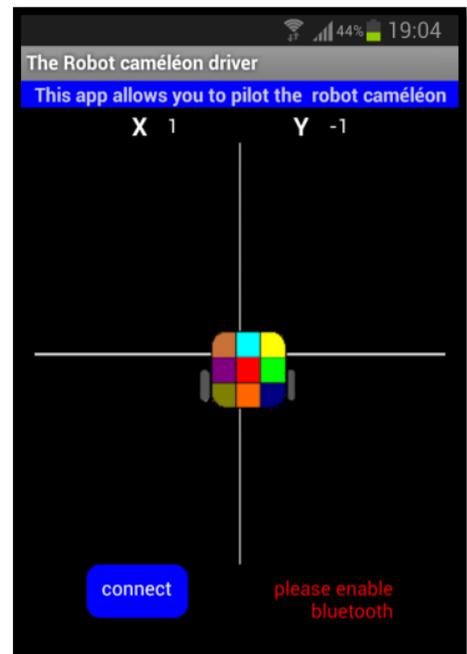
Rapport cyclique de 0 %
(puce éteinte)



Le pilotage à distance

Pour pouvoir piloter à distance notre robot, nous avons décidé de mettre en place une communication entre celui-ci et un smartphone, appareil en plein essor et rencontrant un véritable succès populaire. Nous avons donc dû développer deux programmes distincts, sur deux interfaces différentes, pour mettre en place cette communication : le programme pour le smartphone d'une part, et le programme pour l'Arduino d'autre part.

Nous avons conçu une application smartphone compatible avec le logiciel d'exploitation Android. Pour ce faire, nous avons utilisé l'outil de développement APPINVENTOR conçu par Google et repris depuis par le MIT. L'application que nous avons créée a pour objectif de recueillir les informations de l'accéléromètre du téléphone, afin de déterminer l'inclinaison de celui-ci, puis de les transmettre en Bluetooth à l'Arduino. L'interface de notre application permet à l'utilisateur de connecter facilement son téléphone au robot, de contrôler intuitivement, rien qu'en inclinant son téléphone, les mouvements du robot, ainsi que d'avoir un aperçu de sa vitesse et de sa direction, qui lui sont communiquées.



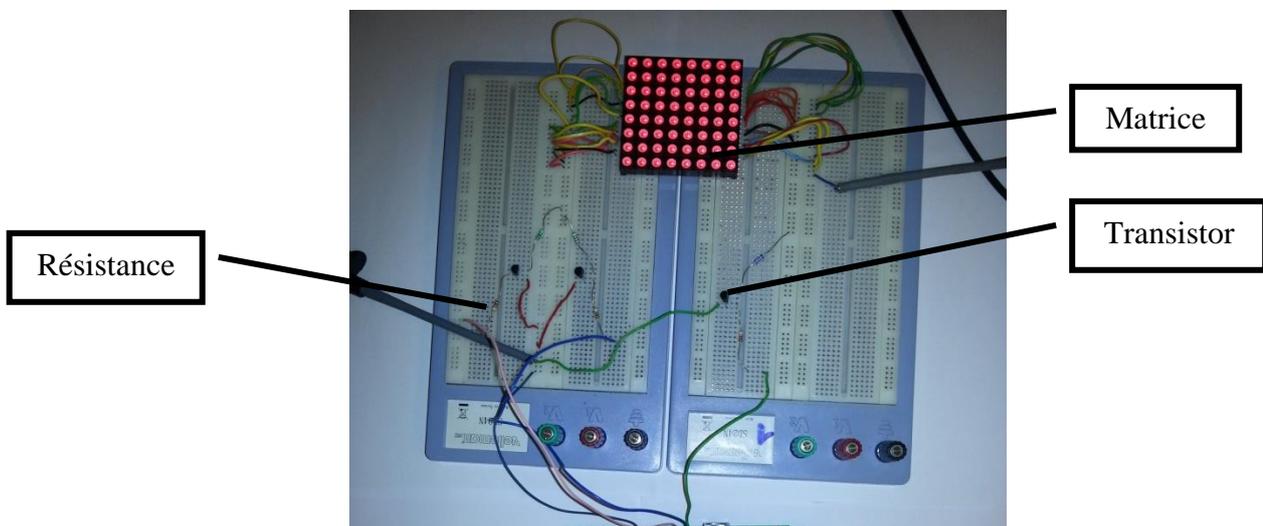
Nous avons ensuite réalisé en langage Arduino un programme capable de convertir l'information fournie par le smartphone (via le module Bluetooth) en un signal transmissible aux moteurs. Ce programme peut être résumé en deux étapes :

- Dans un premier temps, l'Arduino cherche à capter l'information « inclinaison du smartphone » : pour ce faire, le programme analyse le flux continu de données qu'il reçoit via le module Bluetooth, pour identifier les valeurs de variables, images de l'inclinaison du smartphone. Il va ensuite vérifier que ces valeurs sont plausibles, avant de les enregistrer.
- Dans un second temps, l'Arduino commande les moteurs : le programme effectue différents calculs à partir des données récoltées pour en déduire la vitesse et le sens de rotation de chacun des deux moteurs. En s'appuyant sur ces valeurs, l'Arduino génère alors des signaux électriques de rapports cycliques adéquats vers l'Ardumoto, qui va les organiser, tout en les amplifiant, pour commander les deux moteurs.

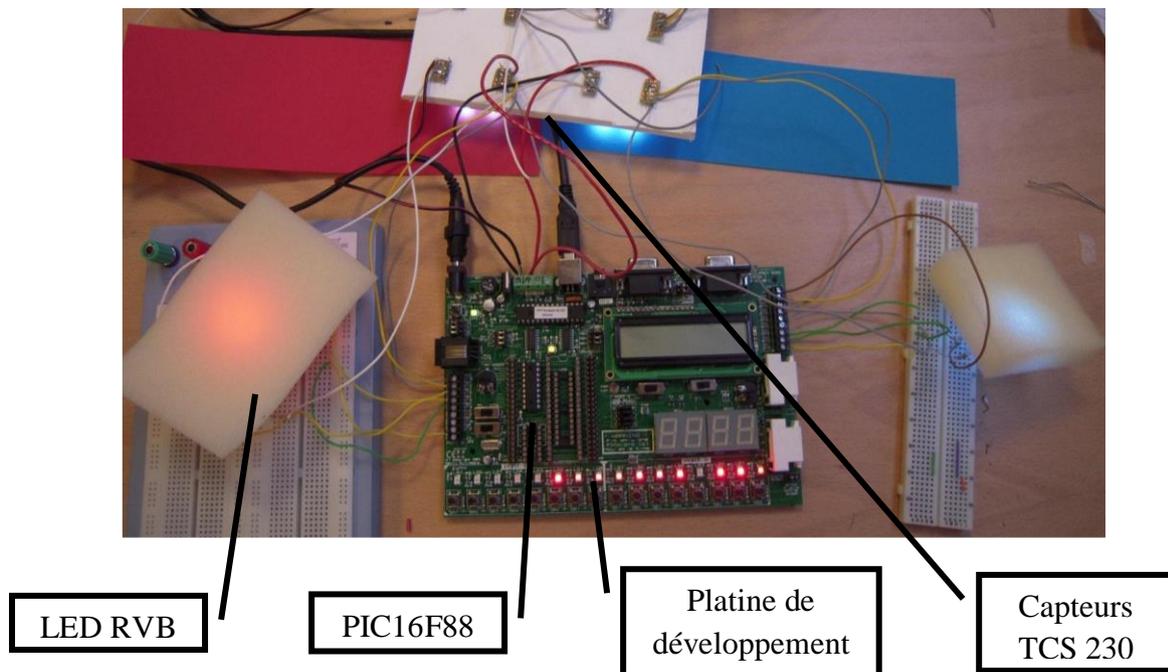
Les étapes de la réalisation

Avant de passer à la réalisation concrète de notre robot, nous avons testé nos différents programmes, ainsi que les composants nécessaires à son fonctionnement.

Les matrices de LEDs RVB ont ainsi fait l'objet de tests poussés afin qu'elles produisent une lumière de la couleur la plus précise possible. En effet, les trois puces émettrices (rouge, verte et bleue) d'une même LED n'ont pas les mêmes spécificités : leurs intensités lumineuses n'étant pas identiques. Aussi, afin de préserver les LEDs d'un courant trop important, mais également afin de faire en sorte que chaque puce émette de la lumière de même intensité pour une même tension d'alimentation, nous avons dû placer des résistances aux bornes de la matrice. Un calcul de résistances a donc été réalisé, afin de faire en sorte que les matrices émettent un blanc uniforme lorsqu'elles sont alimentées avec la tension maximale délivrée par la batterie (7,4 V). Ces tests nous ont permis de valider le fonctionnement des matrices, mais également des transistors qui y seront couplés.



Ensuite, nous avons testé le programme du PIC16F88 par le biais d'une platine de développement, reliée à deux capteurs et à deux LEDs RVB (jouant le rôle de deux matrices), ce qui nous a permis de valider son fonctionnement.



De même, nous avons réalisé un montage pour tester le fonctionnement du programme Arduino ainsi que du module Bluetooth. Ces tests nous ont permis de vérifier que l'Arduino recevait et interprétait correctement les informations envoyées par le smartphone.

Après que nous avons vérifié que tous nos composants répondaient à nos attentes et que nos programmes fonctionnaient correctement, nous sommes passés à la réalisation virtuelle des circuits imprimés avec le logiciel Proteus®.

Nous prévoyons maintenant de souder les composants sur les circuits imprimés, et d'assembler les différents éléments du robot.

Applications

Notre prototype se contente de se camoufler lui-même. Seulement, développée et perfectionnée, la technique de camouflage qu'il utilise pourrait servir à dissimuler des objets d'une certaine taille, et ce dans de multiples domaines.

Par exemple, l'approche d'animaux sauvages par un robot photographe pourrait ainsi être facilitée avec un robot comme le nôtre, et de même, un véhicule militaire pourrait se fondre dans la nature, en exploitant la technique de camouflage de notre robot.

Par ailleurs, si l'on s'intéresse uniquement à la faculté que notre robot a de reconnaître la couleur du sol, on peut imaginer de multiplier les parcours possibles pour les robots suiveurs de lignes (dans les hôpitaux par exemple), en créant des chemins de différentes couleurs.

Résumé du projet :

Le but de notre projet est de réaliser un petit robot mobile, pilotable à distance grâce à un smartphone, et capable de se camoufler dans son environnement en prenant la couleur du sol sur lequel il évolue. Pour cela, nous avons utilisé des matrices de LEDs RVB couplées à des capteurs capables d'identifier la couleur du sol, ainsi qu'un système en mesure de recevoir et d'interpréter les informations délivrées par le smartphone, pour ensuite commander les moteurs, qui assurent la mobilité de notre robot. Ce dernier est doté de différentes zones indépendantes, chacune pouvant prendre la couleur d'une partie du sol sous le robot (celui-ci peut ainsi se camoufler sur un damier multicolore). Le principe de notre robot pourrait par exemple servir dans le domaine militaire, permettant ainsi de camoufler des systèmes conséquents comme des chars. On peut aussi imaginer, suivant le même principe, des robots d'espionnage, de photographie animalière, etc...