

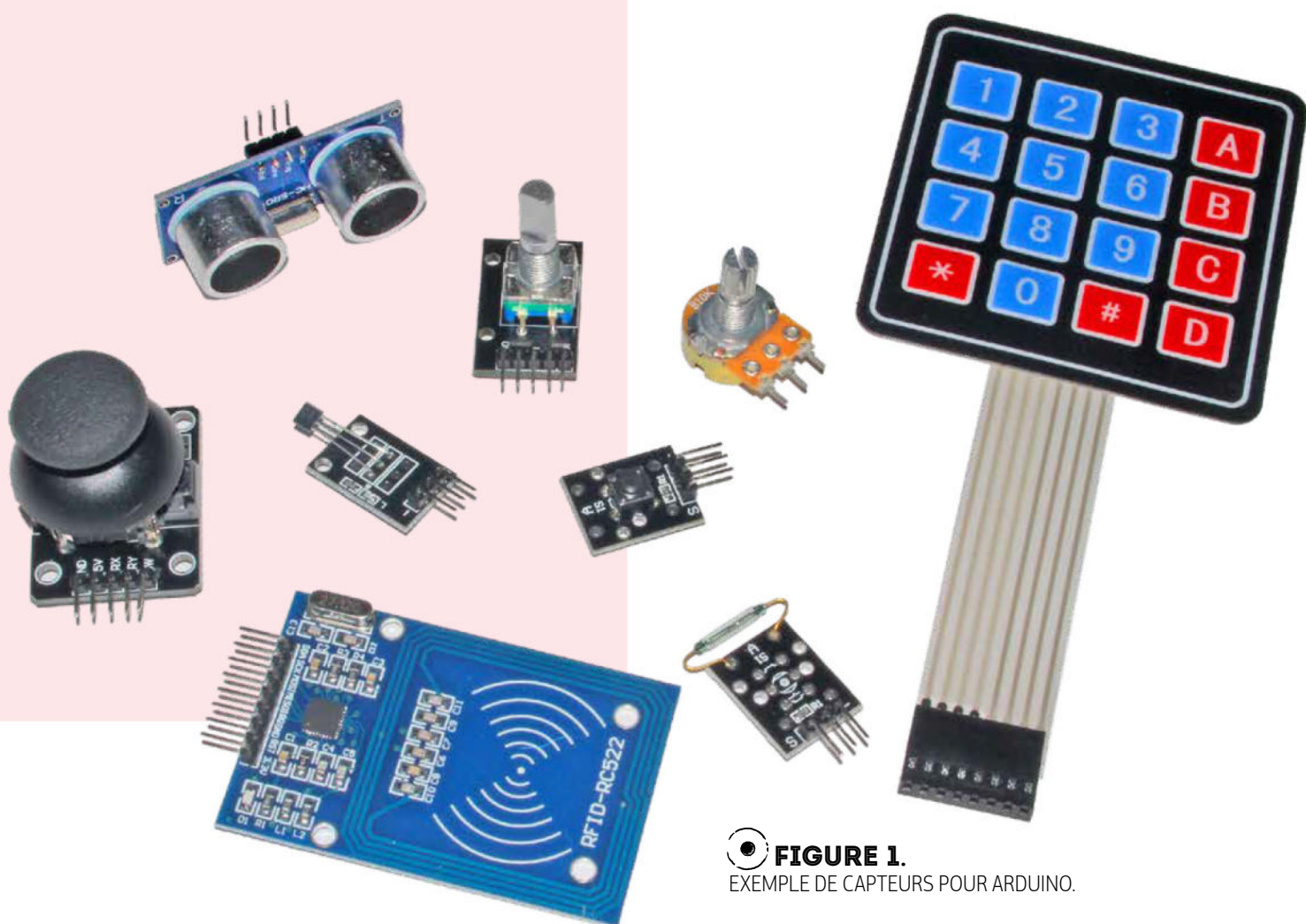


FIGURE 1.
EXEMPLE DE CAPTEURS POUR ARDUINO.

ARDUINO ET LE TRAIN MINIATURE

4^e partie : capteurs et actionneurs sur le réseau

Poursuivons la série pédagogique consacrée à Arduino. Après avoir vu le hardware (LR 924), puis le software (LR 925), étudions cette fois les capteurs et actionneurs qui nous permettent de créer des animations liées aux mouvements des trains.

Texte et illustrations : Christian Bézanger

En fonction de l'information que les capteurs renvoient, on peut imaginer un programme qui gère la signalisation lumineuse ou bien la fermeture d'un passage à niveau ou encore une annonce faite en gare différente en fonction du type de train. Pour assurer ces animations, il faut des actionneurs que nous allons voir également. Capteurs et actionneurs sont donc indispensables pour donner vie à notre réseau miniature. ►►

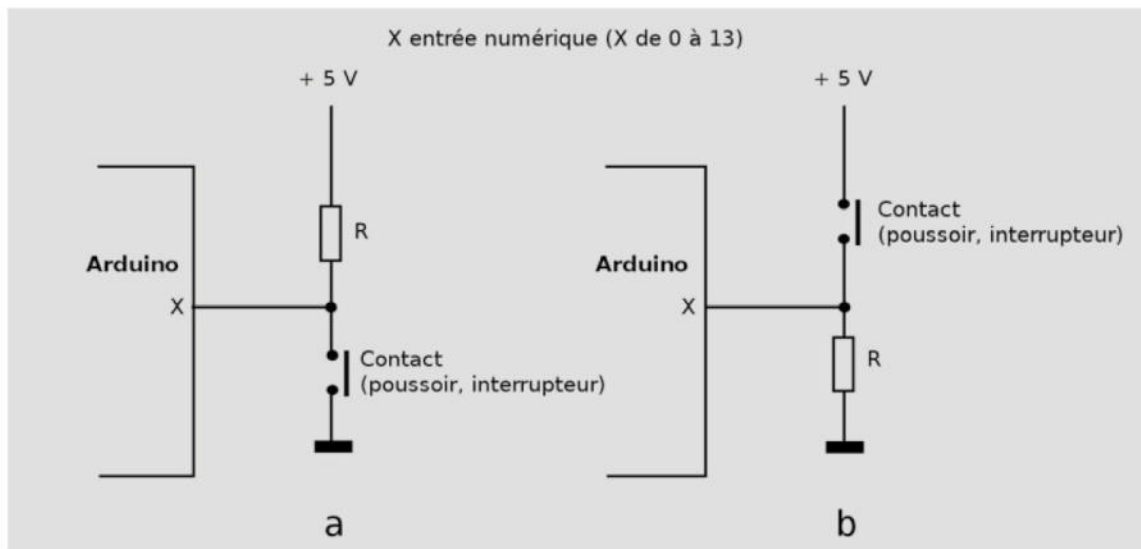


FIGURE 2.
B/P SUR ARDUINO.

» D'abord, quelques considérations

Un projet de modélisme ferroviaire est constitué de capteurs qui envoient des informations à une carte Arduino qui va les analyser pour prendre des décisions sur ce qu'il y a à faire sur le réseau et qui envoie des signaux à des actionneurs qui réalisent ces actions. Les signaux envoyés aux actionneurs ont parfois besoin d'être mis en forme ou bien amplifiés (par exemple pour commander un moteur électrique) et une petite interface électronique est alors nécessaire. Bien souvent, on la trouve sur internet sous forme de carte spécialisée (carte pour piloter un moteur DC ou pas à pas par exemple). Comme les cartes Arduino sont de plus en plus puissantes, on peut être tenté d'en acheter une plutôt musclée et de lui confier toute la gestion du réseau. C'est possible, mais chaque fois qu'on ajoute une fonctionnalité, cela risque de perturber ce qui fonctionnait déjà et une telle entreprise est plutôt réservée à ceux qui ont déjà une bonne connaissance de la programmation. Une autre solution est d'utiliser plusieurs cartes Arduino bon marché, chacune ayant sa propre tâche. La mise au point est alors plus simple et à la portée de quelqu'un qui débute. Par exemple, une carte Uno peut gérer le passage à niveau du réseau et ne faire que cela, alors qu'une autre carte Uno s'occupera des annonces en gare en fonction du train. Au besoin, les différentes cartes peuvent communiquer entre elles via un protocole comme l'I2C fourni avec l'IDE d'Arduino. Ceci étant dit, entrons dans le monde des capteurs.

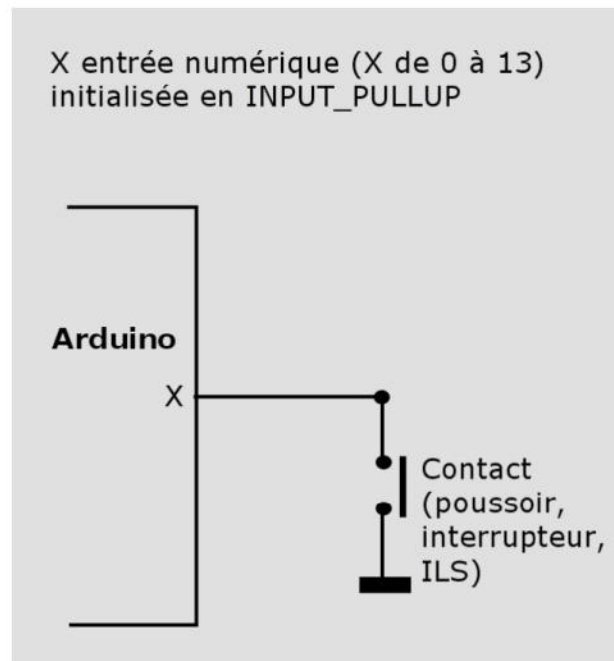


FIGURE 3.
ENTRÉE EN INPUT_PULLUP.

Deux types de capteurs

Les capteurs sont de deux types : numériques s'ils produisent un signal qui ne peut être que 0 V ou 5 V ou bien analogiques s'ils produisent un signal qui peut varier continûment entre 0 et 5 V. Souvent, c'est par variation d'une grandeur physique (par exemple la résistance d'une photorésistance sensible à la lumière) et cette grandeur physique doit être transformée en tension. Si le capteur délivre une tension supérieure à 5 V, celle-ci doit être ramenée dans l'intervalle 0-5 V et il existe des adaptateurs de tension sur le net pour faire cela. La figure 1 montre quelques exemples de capteurs.

Un simple interrupteur ou bouton-poussoir

Un simple interrupteur ou un bouton-poussoir (B/P) est déjà un capteur qui peut renseigner le microcontrôleur qu'une action est faite sur un pupitre de commande ou bien sur la voie du réseau dans le cas d'une pédale de voie. La figure 2 montre comment relier un poussoir (idem pour un interrupteur) à une entrée numérique d'Arduino. En absence d'action sur le B/P, l'entrée X est à une tension de 5 V (HIGH) dans le cas « a » et 0 V (LOW) dans le cas « b ». La résistance R est appelée résistance de pull-up dans le cas « a » et résistance de pull-down dans le cas « b ». Sa valeur est

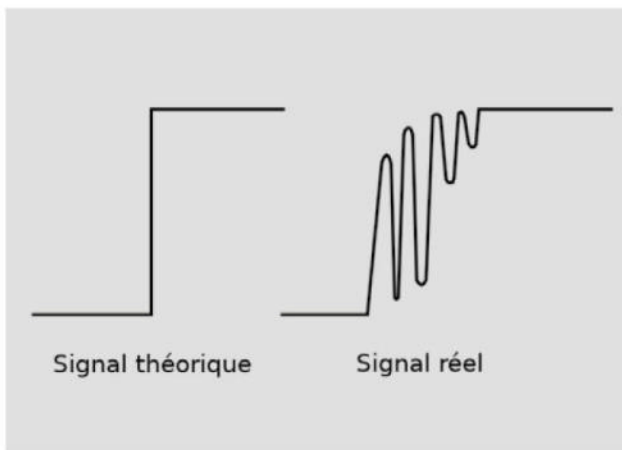


FIGURE 4. REBONDS.

de l'ordre de 10 kΩ. Pour lire la tension sur l'entrée X, on utilise `digitalRead(X)`. Exemple si X est l'entrée 4 :

```
tension_sur_4 = digitalRead(4); // tension_sur_4 vaut alors soit LOW, soit HIGH
Il suffit alors de faire un test if pour déterminer l'action à effectuer. Exemple pour le cas « a » :
if (tension_sur_4 == LOW) { // B/P appuyé, faire ceci } else { // B/P non appuyé, faire cela }
```

Remarquez le double signe égal à l'intérieur du test if, c'est important !

Le microcontrôleur possède des résistances de pull-up internes de 20 kΩ qu'on peut activer par logiciel et qui évite la résistance R de la **figure 2a**. Dans ce cas, le montage est celui de la **figure 3**, le poussoir étant relié à la sortie X d'un côté et au GND de l'autre côté, et la broche X doit être déclarée en entrée par l'instruction `pinMode(X, INPUT_PULLUP)`.

Le traditionnel I.L.S

L'I.L.S (Interrupteur à Lames Souples) équivaut à un B/P sauf que c'est un champ magnétique qui ferme les contacts. Une locomotive munie d'un aimant sous son châssis peut donc être détectée chaque fois qu'elle survole un I.L.S. Le montage est identique à la **figure 2** ou à la **figure 3**.

L'inconvénient d'un I.L.S ou d'un B/P ou d'un interrupteur est que les lames mécaniques génèrent des rebonds. La **figure 4** montre le signal obtenu au lieu du signal théorique. Ces rebonds durent quelques millisecondes et il faut en tenir compte pour ne pas faire de fausses détections sur l'état du poussoir.

Capteur à effet Hall

Pour éviter les problèmes de rebonds, il vaut mieux utiliser des capteurs à effet Hall qui réagissent en présence d'un champ

magnétique, à la place des I.L.S ; il en existe de deux sortes, numériques ou bien analogiques et sont généralement constitués de trois broches, deux servent à l'alimentation et la troisième pour récupérer le signal. L'article <https://locoduino.org/spip.php?article273> traite des capteurs à effet Hall.

Capteur infra-rouge

Les capteurs infra-rouge (IR) sont constitués d'un émetteur et d'un récepteur de rayonnement infra-rouge. Rappelons que l'IR se situe au-delà du rouge dans le spectre d'émission de la lumière solaire mais ce rayonnement est invisible à l'œil humain alors qu'il peut augmenter la température d'un thermomètre. Émetteur et récepteur peuvent être positionnés de chaque côté d'une voie et envoient un signal lorsque le faisceau est coupé par la présence d'un train. Mais l'émetteur et le récepteur peuvent aussi être situés d'un même côté et le rayon émis se réfléchit sur la surface du train à détecter avant de revenir au récepteur qui donnera un signal comme le montre la **figure 5**.

Capteur à ultrasons

Les capteurs à ultrasons (HC-SR04 et SRF05) sont constitués d'un émetteur et d'un récepteur d'ultrasons travaillant à 40 kHz et permettent de mesurer la distance entre le capteur et le premier élément situé sur sa trajectoire de l'onde sonore. Ce type de capteur est assez peu utilisé en modélisme ferroviaire car il est difficile à dissimuler dans le décor du réseau. La **figure 6** montre un exemple de capteur à ultrasons.

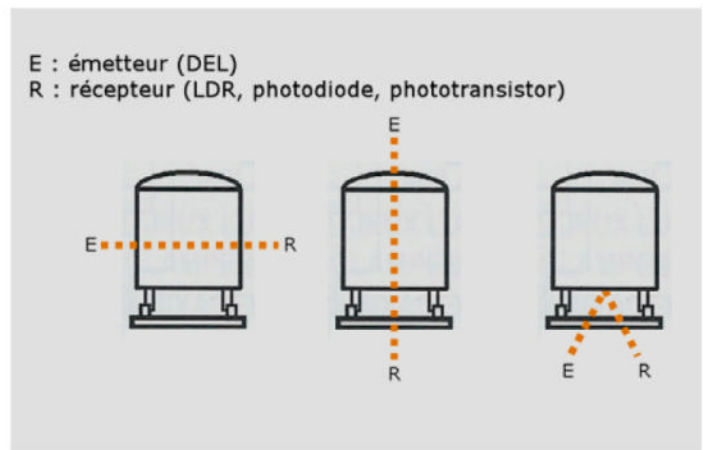


FIGURE 5. DÉTECTEURS IR.

Capteur RFID

Les capteurs RFID sont certainement les plus prometteurs car ils sont capables à la fois de détecter la présence d'un train mais surtout de reconnaître le train. Pour cela, il faut munir la locomotive d'une étiquette RFID qui envoie un identifiant lorsqu'elle survole le capteur dissimulé sous la voie. Les capteurs RFID communiquent avec la carte Arduino soit en SPI, soit en I2C (deux modes de communication distinctes) ; il existe des bibliothèques (fonctions écrites par d'autres programmeurs pour utiliser des composants spécifiques) pour simplifier le travail de programmation. Attention, ces capteurs RFID travaillent généralement en 3,3 V. L'article <https://locoduino.org/spip.php?article248> explique l'utilisation d'un capteur RFID I2C pour effectuer des annonces en gare ►►

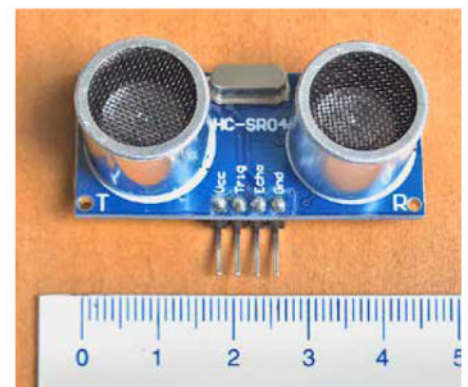


FIGURE 6. CAPTEUR À ULTRASONS.

» différentes selon le train qui arrive. La **figure 7** montre des capteurs RFID.

D'autres capteurs

Les détecteurs de présence (de trains) par consommation de courant sont intéressants car ils délivrent un signal en présence d'engins consommateurs tels que locomotive, voiture allumée ou wagon dont les essieux sont graphités. Il faut veiller à ce que la tension de ce signal soit ramenée dans l'intervalle 0-5 V pour être compatible avec la carte Uno, mais ces détecteurs sont ce qu'il y a de mieux pour détecter un train dans sa totalité et pas seulement la locomotive munie d'un aimant. La **figure 8** montre un détecteur de présence qu'on trouve couramment sur internet et qui déclenche un relais lorsqu'il détecte : l'état du relais peut être reconnu par Arduino.

La surveillance des capteurs

Disposer des détecteurs sur le réseau ne suffit pas, il faut aussi les surveiller pour voir ce qu'ils ont à dire. Cette surveillance peut se faire en interrogeant le capteur périodiquement pour constater s'il change d'état, mais l'intervalle de temps entre deux interrogations ne doit pas être trop grand pour ne pas louper d'événements. Ce type de surveillance est mis en œuvre dans l'article <https://loco-duino.org/spip.php?article261>, même si la technique des interruptions externes demande de prendre quelques précautions (il y a des priorités dans les interruptions même si elles sont toutes traitées et une ISR doit être la plus courte possible et on ne peut pas y mettre n'importe quoi). Les interruptions externes ont aussi été expliquées dans la fiche pratique III.66 du *Loco-Revue* de février 2021. Voici pour les capteurs les plus utilisés en modélisme ferroviaire. Nous allons maintenant décrire

les actionneurs. Une simple LED est déjà un actionneur qui reçoit une information de la part du microcontrôleur (allumée ou non) et cette LED peut trouver sa place soit sur le réseau (signalisation, animation lumineuse), soit sur un boîtier de commande du réseau pour signaler la position des aiguillages (TCO ou Tableau de Contrôle Optique) ou simplement signaler un défaut matériel ou logiciel. Le prochain article décrira ce qu'on peut faire des LED sur un réseau. En attendant, nous allons surtout évoquer les actionneurs qui permettent de créer du mouvement sur le réseau (aiguillage, barrières, portes, plaque tournante, pelleteuse, etc.).

Aiguilles à solénoïdes

Les aiguilles à double solénoïdes sont généralement actionnées par deux boutons poussoirs, chacun commandant le courant dans un solénoïde. Il n'y a rien de plus simple que de remplacer ces poussoirs par des mini relais (de type 1 RT, 1 contact repos-travail) commandés par Arduino, comme le montre la **figure 9**. Chaque relais permet de faire circuler le courant de la sortie accessoire du transformateur dans un solénoïde et assure l'isolation galvanique entre ce courant alternatif et la carte Arduino. Pour ne pas faire griller le solénoïde, il faut limiter la durée de l'impulsion à une demi-seconde maximum, mais ceci peut être fait avec la fonction delay vue précédemment et en remettant le relais à sa position neutre ensuite. La commande d'un mini relais se fait comme la commande

FIGURE 7.
DEUX CAPTEURS RFID,
LE PREMIER UTILISE
LE PROTOCOLE SPI
POUR COMMUNIQUER
AVEC ARDUINO, LE
SECOND UTILISE LE
PROTOCOLE I2C.

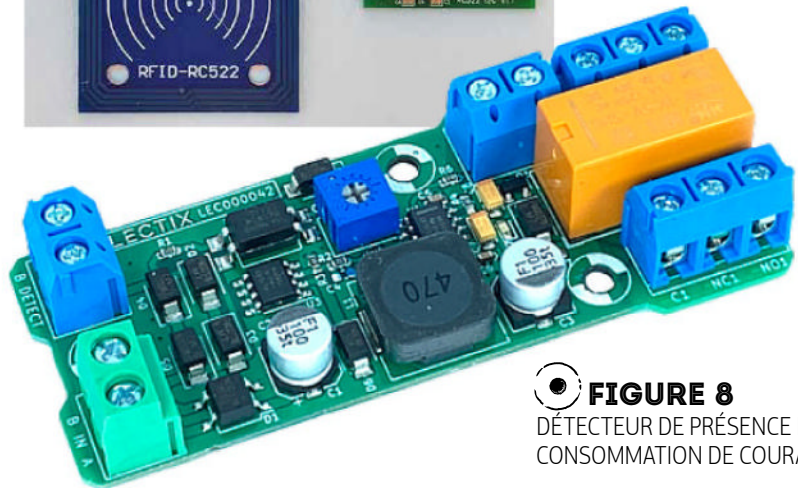
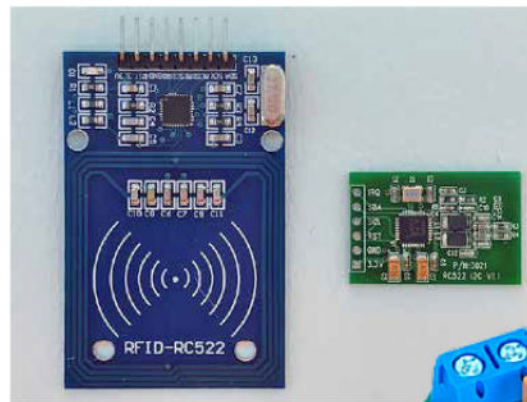


FIGURE 8
DÉTECTEUR DE PRÉSENCE PAR
CONSOMMATION DE COURANT.

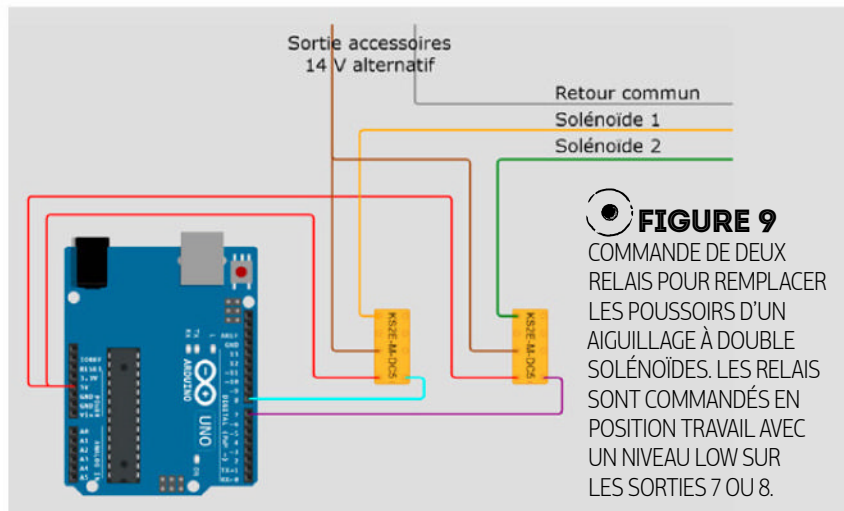


FIGURE 9
COMMANDE DE DEUX
RELAIS POUR REMPLACER
LES POUSSOIRS D'UN
AIGUILLAGE À DOUBLE
SOLÉNOÏDES. LES RELAIS
SONT COMMANDÉS EN
POSITION TRAVAIL AVEC
UN NIVEAU LOW SUR
LES SORTIES 7 OU 8.



FIGURE 10
SERVOMOTEUR.

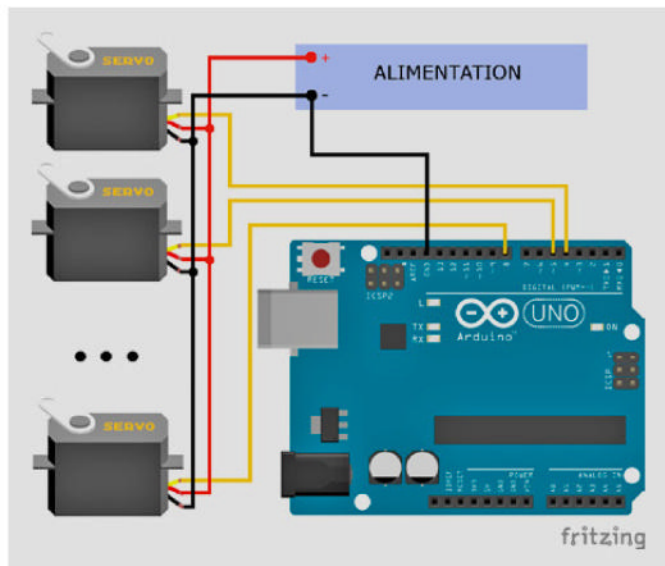


FIGURE 11
MONTAGE DE PLUSIEURS SERVOMOTEURS AVEC UNE ALIMENTATION SEPARÉE.

d'une LED avec la fonction digitalWrite déjà décrite. Les cartes relais du commerce sont généralement commandées par un niveau LOW sur la broche de sortie d'Arduino, tout comme c'est le cas pour les relais de la **figure 9**.

Servomoteurs

Le servomoteur utilisé en aéromodélisme (**figure 10**) est le meilleur moyen pour créer des mouvements lents et précis en position. Le palonnier du servomoteur peut effectuer une course de 180° et bien évidemment, une transmission mécanique doit exister entre lui et la chose à mouvoir ; celle-ci peut être une came, des engrenages ou une courroie. Ce palonnier peut se positionner au degré près et maintenir sa position. Une carte Uno peut gérer 12 servomoteurs. Un ou deux petits servomoteurs peuvent être alimentés directement par la carte Arduino mais pour des servomoteurs plus gros ou plus nombreux, il vaut mieux utiliser une alimentation séparée fournissant du 5 V continu (**figure 11**). Il existe une bibliothèque appelée Servo et décrite dans cette page <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/servo/> qui permet d'utiliser simplement les servomoteurs. Ceux-ci peuvent servir à motoriser une aiguille et à la déplacer lentement, à bouger des barrières de passage à niveau, à ouvrir des portes de remises, etc. Les mouvements ont lieu dans les deux sens. Le mouvement lent est obtenu par une suite de position-

nement de degré en degré au cours d'une boucle (for ou while) entre une position de départ et une position d'arrivée.

Moteurs à courant continu

Les signaux délivrés par Arduino sont trop faibles pour faire fonctionner un moteur à courant continu. Si on veut faire tourner un moteur DC dans un seul sens (cas d'un rotor d'hélicoptère ou d'éolienne), on peut faire appel à un transistor pour amplifier le courant de la sortie d'Arduino et si on utilise la PWM, on peut en plus faire varier la vitesse. Mais si on veut faire varier le sens de rotation et la vitesse de rotation, il faut utiliser un circuit appelé « pont en H ». Le mieux est d'utiliser un circuit intégré spécialisé ou bien la carte Arduino Motor

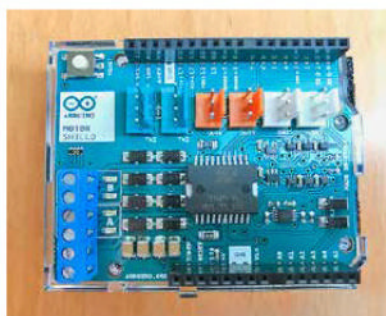


FIGURE 12
ARDUINO MOTOR SHIELD.

L'ATELIER NUMÉRIQUE

Shield (**figure 12**, vingt-quatre euros fin 2023) qui permet de gérer deux moteurs DC sans avoir d'électronique à fabriquer ; toutes ces techniques sont décrites dans l'article <https://locoduino.org/spip.php?article213>.

Moteurs pas à pas

Le dernier moyen pour mouvoir un élément du réseau est le moteur pas à pas. Il permet un positionnement à la fois précis et possible à maintenir et c'est donc le composant idéal pour motoriser une plaque tournante. Il existe deux types de moteurs pas à pas : les unipolaires et les bipolaires. On peut par exemple utiliser le moteur unipolaire 28BYJ-48 qu'on peut trouver sur internet avec une petite carte de commande à base de circuit ULN2003 (**figure 13**). Son pas est de 5,625° et le moteur comporte une démultiplication par 64. Pour un moteur bipolaire, il faut utiliser un pont en H (comme le L293 ou L298). Une bibliothèque appelée Stepper peut gérer aussi bien les moteurs unipolaires que bipolaires. Toutes les explications et schémas de câblage sont donnés à cette page du site Arduino : <https://www.arduino.cc/en/Reference/Stepper>.

En résumé

Cet article déjà bien long ne nous permet pas de donner des exemples pratiques d'utilisation des capteurs et des actionneurs. Néanmoins, il renvoie au site LOCODUINO où vous trouverez des exemples concrets décrits en français. Le site d'Arduino donne également de nombreux exemples pour utiliser les servomoteurs et les moteurs pas à pas dont on peut s'inspirer pour ses propres montages (même si on ne parle pas l'anglais couramment). Le prochain article sera une récompense puisqu'il décrira quelques projets d'animation lumineuse sur le réseau avec aussi la signalisation SNCF. ■



FIGURE 13
MOTEUR PAS À PAS UNIPOLAIRE ET SA CARTE DE COMMANDE AVEC CIRCUIT ULN2003.



WWW. TRAIN-MODELISME.COM

La passion des trains miniatures !



Les rames voyageurs
Les locomotives
Les autorails
Les voitures et wagons
Les rames urbaines
Les trains de travaux



Les trains à crémaillère
La gamme économique
Les rails et accessoires...
Le digital et l'alimentation...
Le décor, la caténaire, la signalisation...
Les coffrets, l'entretien...



Prix compétitifs, STOCK important avec gestion en temps réel, expéditions 24 H !

Commandes en ligne par CB ou E-card, par courrier et par fax 02-54-28-75-01 !



Train Modélisme Rte d'Angles 36220 Néons/Creuse Tél 02-54-28-59-66 RCS 433 831 039 trainmodelisme@orange.fr

BOURSE FERROVIAIRE DE L'ESPACE CHARENTON 75012 PARIS

DIMANCHE 17 NOVEMBRE 2024 DE 9H30 À 14H

DIMANCHE 15 DÉCEMBRE 2024 DE 9H30 À 16H

LA SEULE MANIFESTATION RÉGULIÈRE EN RÉGION PARISIENNE !

ESPACE CHARENTON
327 RUE DE CHARENTON 75012 PARIS
Métro ligne 8 ou Tramway : Porte de Charenton

Entrée : 6,50 euros Buvette sur place
Contact : SDMF tél. 06 12 94 82 31 sdmf@wanadoo.fr

M. CITERNE

Trains Miniatures N - HO

Occasions - Dépôt-Vente

Digital • Roco • Lenz • Zimo • Trix

VENTE PAR CORRESPONDANCE

Ouvert du mardi au samedi-: 9h-12h30 et 14h- 19h

21 Bd du Temple - 75003 Paris

Tél/fax 01.42.78.00.16

Métro-: République - Filles du Calvaire, Bus 20 - 65 - 96

COLLECTION
B.A.-BA
DU MODÉLISME FERROVIAIRE

*Derniers
livres parus*

**LES INCONTOURNABLES
DU MODÉLISME FERROVIAIRE !**



4,99 €
le livre



L'écrin
17,90 €

Commandez dès maintenant sur trains.lrpresse.com ou via le bon de commande en fin de numéro

