

Chapitre 22 - Les capteurs

Pratiquement toutes les grandeurs physiques peuvent être mesurées par un moyen électronique et le résultat peut être exploité pour une animation de réseau miniature ou bien un automatisme. Nous avons déjà donné quelques exemples dans les premiers chapitres concernant l'électronique câblée.

Les capteurs sont situés sur le réseau, analysés par un ou plusieurs modules Arduino, lesquels agissent pour créer des événements sur le réseau. La solution faisant appel à des microcontrôleurs est souvent la plus simple et la plus économique pour obtenir le résultat souhaité.

Ce chapitre va donc passer en revue un certain nombre de capteurs que vous pouvez utiliser dans des montages électroniques ou avec des modules Arduino pour donner vie à votre réseau. Certains de ces capteurs ont déjà été traités, aussi nous nous contenterons de rappeler à quel endroit vous pouvez les retrouver pour avoir plus de détails et des exemples d'application. Nous citerons des numéros de figures car celles-ci se repèrent bien mais les explications qui vont avec sont aussi d'un grand intérêt.

Capteurs à contact

Un simple bouton-poussoir est un capteur : il capte le mouvement de votre doigt qui appuie dessus pour provoquer une action. Cet appui ferme un circuit électrique, permettant au courant de passer et ce passage de courant est exploité dans le montage électronique.

Souvent ce bouton poussoir (B/P) est monté avec une résistance de pull-up ou pull-down, comme indiqué par la figure 18.3 ; dans ce cas, un appui fait basculer d'un état (LOW ou HIGH) vers l'état opposé. C'est ce qui est exploité par le microcontrôleur (μC). Relier un B/P à un module Arduino est très simple puisqu'il existe un mode avec résistance de pull-up incorporée, comme le montre la figure 19.3.

Un B/P utilise donc une entrée du module, mais plusieurs solutions existent pour économiser le nombre d'entrées quand on veut utiliser plusieurs B/P avec un μC : montage en matrice (figure 19.4) ou en diviseur de tension (figure 19.5 donnée pour des ILS (voir plus bas)).

Dans le même genre que le B/P, on peut citer l'interrupteur qui a la propriété de garder la position d'appui jusqu'à ce qu'on le manipule à nouveau pour lui faire retrouver la position précédente. On peut aussi citer le micro-switch (poussoir muni d'une longue tige comme le montre la figure 22.1) souvent utilisé pour repérer les fins de course de mouvement dans un montage mécanique (barrières de passage à niveau par exemple).



Figure 22. 1

Sur un réseau, pour repérer la position d'un train, on peut utiliser la pédale de voie (accessoire proposé par les industriels fabriquant des voies) qui ferme un contact à chaque passage d'essieu, c'est-à-dire trop souvent lorsqu'il s'agit de repérer un train. C'est pourquoi on utilise plutôt l'ILS (Interrupteur à Lames Souples) dont le contact est fermé sous l'action du champ magnétique d'un aimant placé sous

la locomotive ; on a alors une seule fermeture pour tout un train mais cette fermeture correspond à la détection de la locomotive et non du dernier wagon.

L'ILS nécessite d'équiper les locomotives d'un aimant. Pour éviter cela et repérer la position d'un train, on peut aussi faire appel à la coupure de voie qui consiste à isoler un petit tronçon de rail et c'est le passage des roues métalliques qui établit le contact entre cette portion de rail et le reste de la voie. Cette technique a été décrite avec la figure 10.6. L'inconvénient est que le signal obtenu est fortement parasité car le contact entre roues et voie n'est jamais parfait (car la pose de la voie n'est jamais parfaite) mais on peut améliorer ce signal avec un trigger de Schmitt comme le montre la figure 10.8. Cette solution se révèle très économique puisqu'un CI 7414 trigger de Schmitt peut traiter 6 contacts de voie à la fois et que la coupure sur un rail ne coûte rien.

L'inconvénient du B/P (ou équivalent) est qu'il produit des rebonds (voir figure 19.1). On peut traiter cela avec quelques lignes de programme si on fait de l'électronique programmable, ou bien avec quelques composants électroniques supplémentaires du genre bascule RS.

Toujours pour rester dans le domaine des capteurs à contact, le contacteur à mercure ou à bille métallique (voir figure 22.2) permet de détecter une inclinaison ; il est surtout utilisé en robotique mais il peut aussi l'être pour détecter une fin de course de mouvement mécanique (exemple : bras de manège de fête foraine). Suivant l'inclinaison du capteur, le mercure ou la bille métallique fait contact ou non entre plusieurs plots.

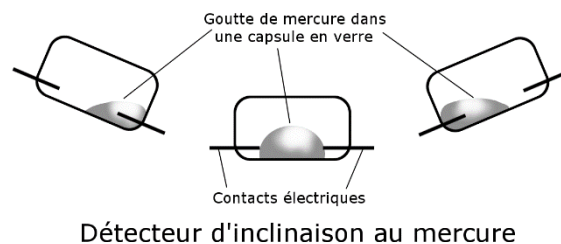


Figure 22. 2

Capteurs de température

Je ne crois pas qu'un capteur de température soit d'une grande utilité sur un réseau miniature mais je manque peut-être d'imagination. Néanmoins, ce capteur peut permettre de surveiller un montage électronique pour mettre en marche un système de refroidissement si nécessaire (ventilateur, module Peltier). Nous allons donc en dire quelques mots.

Le plus courant des capteurs de température est la thermistance qui est une résistance dont la valeur varie avec la température. Nous avons ainsi la thermistance à coefficient de température négatif (CTN) dont la valeur de résistance diminue quand la température augmente et la thermistance à coefficient de température positif (CTP) dont la valeur de résistance augmente quand la température augmente.

Dans le montage électronique, la thermistance est montée avec d'autres résistances en diviseurs de tension et c'est la tension aux bornes de la thermistance que le montage électronique mesure soit avec un ampli opérationnel (figure 13.12 où la thermistance peut être montée à la place de la LDR), soit avec un microcontrôleur capable de lire une tension avec son convertisseur analogique numérique comme il en existe sur le μC des modules Arduino. Ce montage reste simple mais nécessite d'être étalonné soit avec la datasheet du composant, soit en procédant à un étalonnage à partir de température connue avec précision.

Le capteur de température LM 35 est encore plus simple à utiliser avec ses trois broches qui le font ressembler à un transistor. Les deux broches externes sont la masse et la tension d'alimentation qui vaut 5 V et la broche du milieu est la sortie sur laquelle on récupère une tension proportionnelle à la température avec une sensibilité de 10 mV/°C. Cette tension peut encore une fois être lue avec une entrée analogique d'un μC ou d'un module Arduino.

Capteurs de luminosité

La cellule photoélectrique ou LDR pour Light Dependant Resistor, est une résistance dont la valeur varie en fonction de la luminosité. Encore une fois, on l'utilise avec un montage diviseur de tension et la tension obtenue au point milieu du montage dépend alors de la luminosité. Cette tension peut être utilisée comme un seuil exploité par un ampli-opérationnel (figure 13.12), seuil qui va déclencher l'allumage progressif des maisons d'un village du réseau miniature. Cette tension peut aussi être lue par le μC ou le module Arduino (avec l'ordre `analogRead`). Dans l'obscurité, la résistance des LDR est forte (environ 1 M Ω) et tombe à 100 Ω à la lumière ; en général, on exploite plutôt un seuil et il n'y a pas besoin d'étalonner finement la réponse de la LDR. Disposées sous les rails, les LDR peuvent constituer de bons capteurs de position des trains qui interceptent alors la luminosité ambiante (éclairage du réseau venant d'en haut) lorsqu'ils survolent les cellules photoélectriques.

La photodiode est aussi un capteur de luminosité qu'on peut considérer comme le contraire de la DEL (diode électroluminescente). En effet, la photodiode est conductrice que lorsqu'elle est exposée à une lumière suffisante (généralement dans le domaine infra-rouge). Ce composant est polarisé et la broche la plus longue est l'anode.

En associant une DEL et une photodiode l'une en face de l'autre, on réalise un capteur de position capable de réagir si un objet (par exemple un train) vient interrompre le faisceau lumineux. On parle alors de barrière infra-rouge comme le montre la figure 22.3. Les deux composants peuvent aussi être montés côte à côte pour réagir si une surface assez réfléchissante renvoie la lumière de la DEL vers la photodiode ; l'ensemble, placé sous la voie, forme un capteur capable de repérer une locomotive avec une étiquette blanche collée sous son châssis. Dans ce cas, un montage électronique très simple peut réagir au signal. Si l'étiquette est munie d'un code barre (même simplifié), le capteur peut envoyer un signal à un μC qui se chargera de l'analyser et sera ainsi capable de reconnaître le train.

E : émetteur (DEL)
R : récepteur (LDR, photodiode, phototransistor)

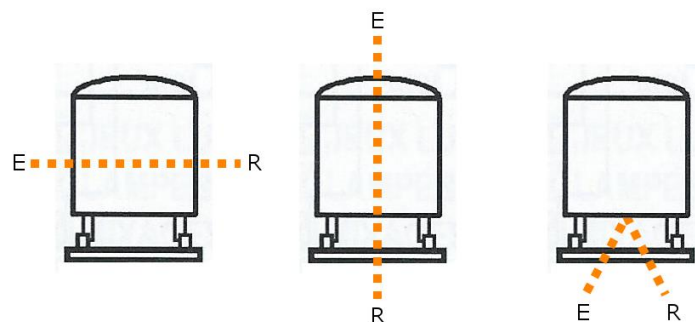


Figure 22. 3

Ces barrières infra-rouges sont extrêmement utiles dans les gares cachées pour indiquer à un opérateur quelles voies sont libres ou occupées.

Le phototransistor remplit la fonction d'une photodiode et d'un transistor amplificateur, ce qui donne une sensibilité bien supérieure à la photodiode (100 à 600 fois plus grande). Par contre, leur temps de

commutation est moins rapide, mais ceci n'a pas d'importance pour notre hobby. Lorsqu'il est éclairé, le phototransistor devient passant. On a déjà un peu parlé des phototransistors lorsque nous avons étudié les coupleurs optiques constitués, dans un même boîtier, d'une DEL et d'un phototransistor ; on se réfèrera aux figures 21.1 ou 21.5.

Les barrières infra-rouges (directes ou à réflexion) telles que nous les avons décrites plus haut peuvent servir de capteurs de positions précises en lisant des secteurs noirs ou blancs sur un disque en rotation (translucide pour une barrière directe et opaque pour une barrière à réflexion). Avec plusieurs capteurs, on peut réaliser un véritable codage en position comme le montre la figure 22.4 et ceci peut trouver une application pour toutes pièces en rotation sur un réseau ; le lecteur intéressé pourra se tourner vers des ouvrages de robotique où la méthode est souvent utilisée.

Exemple d'une roue codeuse à 100 positions

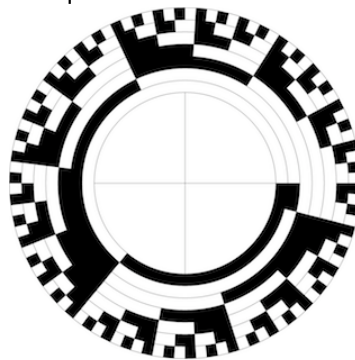


Figure 22. 4

Capteurs de champ magnétique

Ces capteurs réagissent à des champs magnétiques en utilisant un effet découvert par le physicien E. H. Hall et de ce fait appelé effet Hall : un champ magnétique perpendiculaire provoque une torsion des lignes de courant dans un semi-conducteur plat traversé par un courant. La trajectoire des électrons est modifiée et on assiste à une accumulation d'électrons d'un côté et un manque d'électrons de l'autre, ce qui équivaut à des charges positives. Il en résulte une tension électrique de Hall proportionnelle au flux magnétique B et au courant I et inversement proportionnelle à l'épaisseur de la plaquette semi-conductrice. Le semi-conducteur est généralement de l'indium dopé à l'arsenic ou à l'antimoine. Le courant circule entre les électrodes 1 et 2 du semi-conducteur et si un champ B s'exerce perpendiculairement, une tension apparaît entre les contacts 3 et 4 (voir figure 22.5).

En fonction de la sensibilité du capteur au champ magnétique, la distance aimant-capteur peut varier pour obtenir une réponse du capteur (consulter la datasheet du composant).

Pour repérer la position des trains sur un réseau, ces capteurs doivent être montés sous la voie (ou entre les traverses) et les locomotives doivent être munies d'un aimant présentant le pôle Sud vers la voie (donc vers le capteur) ; il est alors généralement plus simple et moins coûteux d'utiliser des ILS qui pourront réagir à un champ magnétique qui n'a pas besoin d'être orienté perpendiculairement.

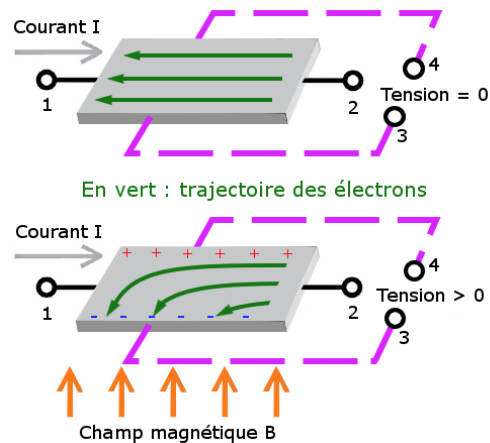


Figure 22. 5

Capteurs de son

Un simple microphone permet de capter un son. Si on associe un émetteur sonore capable d'émettre un son inaudible dans le domaine des ultra-sons avec un microphone, on peut réaliser un détecteur de présence d'obstacles et surtout connaître la distance de l'obstacle puisqu'on peut mesurer le temps d'aller-retour de l'onde sonore et qu'on connaît la vitesse de propagation du son dans l'air.

La figure 22.6 montre un tel montage. Quelques amateurs l'ont associé à un module Arduino pour déterminer la position d'un train à un endroit bien précis du réseau. Cependant, le dispositif est assez encombrant et difficile à dissimuler dans le décor. Ce capteur est plus adapté à la robotique pour constituer un capteur de proximité (mur, obstacle).



Figure 22. 6

Capteurs de tension

Il est extrêmement facile de détecter une tension dans un montage électronique, qu'il soit réalisé en électronique câblée ou en électronique programmable. Ainsi, un courant traversant une simple diode induit une différence de potentiel (tension) aux bornes de la diode. Ce procédé est utilisé pour réaliser des détecteurs d'occupation de canton.

La figure 22.7 montre le principe de détection. Lorsqu'un engin moteur se trouve sur la portion de voie, un courant traverse la diode et on a alors une tension à ses bornes. Le courant n'a pas besoin d'être très important : le dispositif peut détecter le courant qui passe par un produit graphité reliant les roues opposées d'un même essieu, ce qui permet de détecter aussi les wagons donc la totalité d'un train.

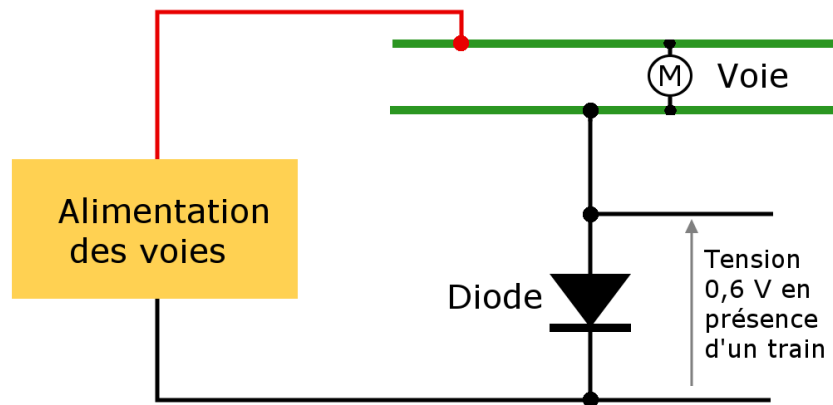


Figure 22. 7

Autres capteurs

Il s'agit là de capteurs qui trouveront difficilement une application au modélisme ferroviaire. On peut citer pour mémoire :

- Capteur de pression
- Capteur d'humidité
- Capteur de présence de gaz (comme CO₂ par exemple)
- Capteur de radioactivité

En consultant les sites de marchands de composants, vous trouverez peut-être des capteurs spéciaux que vous pourrez détourner de leur utilisation première pour une application au modélisme ferroviaire.

À retenir sur les capteurs :

- En modélisme ferroviaire, les capteurs servent surtout à repérer la position des trains sur le réseau.
- Les capteurs à contact sont les boutons poussoirs, les ILS, les pédales de voie, les sections de voie isolées, les contacts de fin de course et les contacts à mercure.
- Certains capteurs sont des capteurs d'ambiance (température, luminosité).
- Certains capteurs utilisent la réflexion d'un faisceau lumineux.
- Certains capteurs utilisent la réflexion d'une onde sonore (ultra-son).
- Certains capteurs réagissent à un champ magnétique.
- La présence d'un train sur un canton peut se faire par détection de courant.