

Chapitre 13

Les fonctions logiques

L'électronique du robot Aibo utilise des fonctions logiques pour qu'il reproduise les attitudes d'un chien.

Les appareils qui nous entourent sont de plus en plus automatisés. De tels systèmes doivent être capables d'interpréter des informations transmises par des capteurs (mouvement, lumière, température, etc.), puis, en utilisant des opérations logiques, de commander un organe de puissance (moteur, caméra, lampe...).

Activité 1 Grandeurs logiques et grandeurs analogiques

Le signal électrique produit par un capteur, véhiculant l'information relative à la grandeur physique, peut être

- **analogique** : il est lié à la grandeur physique par une fonction mathématique et il peut prendre une infinité de valeurs comprises entre deux extrêmes. Ce type de signal est sensible aux parasites (dus, entre autres, aux émissions radio, aux lignes hautes tensions). Si la longueur du câble de transmission devient trop grande, cela peut altérer la forme et l'amplitude.
- **numérique** : il évolue entre deux (et seulement deux) valeurs, l'information est contenue dans une trame bien définie. Cela permet de minimiser l'influence des signaux parasites.

Observer les deux signaux ci-dessous visualisés sur l'écran d'un oscilloscope.

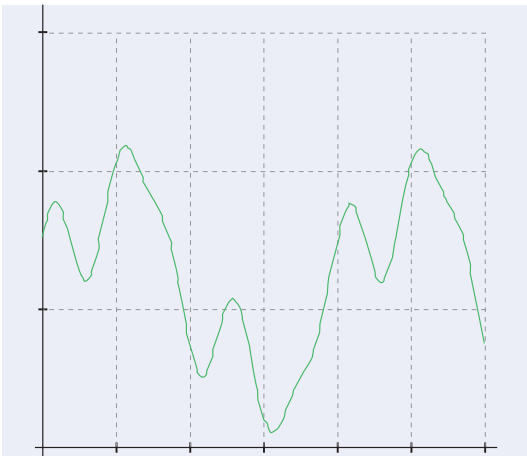


Fig 1 : micro captant une note jouée à la flûte

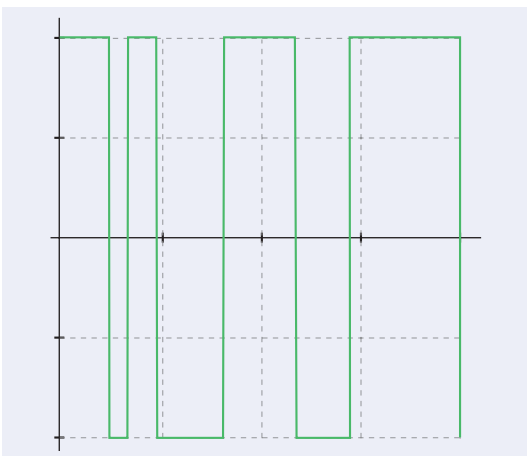


Fig 2 : signal de sortie d'un lecteur de codes-barres

1 Qu'est-ce qui différencie les deux signaux des figures 1 et 2 ?

Le premier est, car

Le second est, car

2 Dans la suite de ce chapitre, nous nous intéresserons uniquement à des **grandeurs logiques**, c'est-à-dire à des grandeurs qui ne peuvent prendre que deux valeurs.
Comment peut-on les représenter ?

3 On convient de noter les deux situations que l'on peut observer par les valeurs 1 et 0.
Ces deux chiffres n'ont pas en général une signification en tant que valeur numérique, mais un sens conventionnel comme par exemple le sens *marche-arrêt* (fig. 3) ou *vrai-faux*.



Fig. 3 : les deux états d'un interrupteur

Rechercher des situations de la vie quotidienne où l'information peut se traduire par une grandeur logique.

4 Rechercher des exemples précis de capteurs (lumière, humidité, mouvement...) capables de commander des dispositifs grâce à une fonction logique.

5 Avec quel montage faudrait-il utiliser un capteur KTY10 pour qu'il fournisse un signal de type « logique » ?
Quel est le rôle très courant de ce montage ?

Activité 2 La fonction logique ET

Les mots *ET*, *OU*, *SI*, *NON*, associés au langage de la vie courante, ont un sens précis qui nous permet d'étayer notre raisonnement. En informatique, on utilise le sens de ces mots pour réaliser des opérateurs logiques qui sont à la base de toutes les fonctions d'un ordinateur. On appelle « porte logique » un circuit électronique élémentaire réalisant une opération logique.

A. La logique dans la vie quotidienne

« Je vais me promener *s'il fait beau* **et** *si j'ai terminé mes devoirs*. »

Si l'on note par 0 le cas où une situation n'est pas réalisée et par 1 le cas où elle l'est, on peut traduire la phrase ci-dessus par un tableau appelé **table de vérité** :

- *A* représente : il fait beau ;
 - *B* représente : j'ai terminé mes devoirs ;
 - *S* représente : je vais me promener.
- A* et *B* sont les conditions et *S* est le résultat logique.
- Recopier et remplir le tableau ci-dessous :

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>S</i>
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

B. La fonction ET réalisée avec des interrupteurs

Dans le montage de la figure 3, on attribue aux interrupteurs *A* et *B* la valeur 1 s'ils sont fermés et 0 s'ils sont ouverts. On attribue à la DEL l'état 1 si elle est allumée et 0 si elle est éteinte.

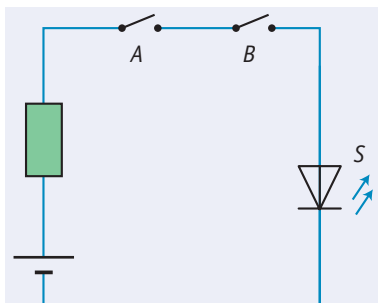


Figure 3

- 1 Remplir la table de vérité traduisant le fonctionnement du circuit précédent en essayant de trouver une méthode pour envisager tous les états possibles pour l'ensemble des entrées.

- 2 Comparer le résultat obtenu avec la table de vérité du paragraphe précédent.

- 3 Compléter la phrase : « La DEL s'allume..... ». Souligner les deux conjonctions utilisées dans cette phrase.

- 4 Il est possible d'augmenter le nombre d'interrupteurs : la fonction ET peut obéir à un nombre de conditions théoriquement infini. Combien de lignes aurait la table de vérité ci-contre si l'on avait mis trois interrupteurs en série au lieu de deux ?

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>S</i>
0	0	0	
0	0	1	

C. La porte logique ET

Un circuit intégré courant contient 4 portes logiques à deux entrées. Sa référence est 7408 en technologie « TTL » et 4081, en technologie « CMOS ». Son brochage est représenté par la figure suivante :

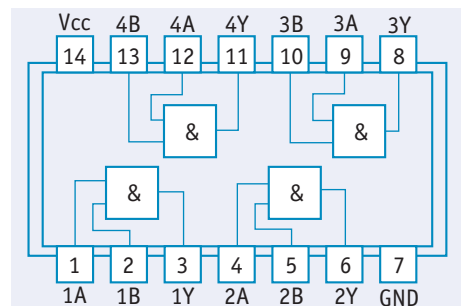


Fig 4 : Brochage du circuit 7408

Un circuit intégré a besoin d'énergie pour fonctionner : sa broche 14 doit être reliée au + de l'alimentation et sa broche 7 à la borne de masse. Cette tension d'alimentation est imposée à 5 V pour la technologie TTL, par contre, elle peut être choisie entre 3 et 18 V pour la technologie CMOS. Dans tous les montages suivants, l'alimentation des circuits sera fixée à 5 V.

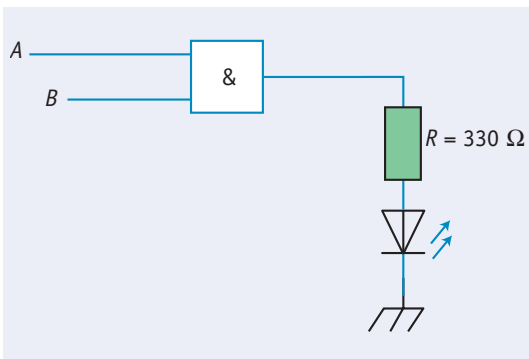
La tension présente sur les entrées est imposée par l'expérimentateur. Elle doit être comprise entre 0 et 5V, mais peut prendre a priori n'importe quelle valeur. L'entrée supporte aussi des tensions négatives de valeur absolue inférieure à la tension d'alimentation.

La tension de sortie est imposée par le circuit : elle ne peut prendre que les valeurs 0 et 5 V.

Les courants traversant les entrées du circuit sont très faibles, en pratique négligeables.

La sortie peut fournir un courant de quelques milliampères, suffisant pour allumer une DEL ou pour commander les entrées d'autres circuits logiques, mais incapable de commander des dispositifs nécessitant des puissances plus importantes, un petit moteur par exemple.

1 Réaliser le montage de la figure suivante :



2 Relier les entrées successivement au plus de l'alimentation et à la masse (moins de l'alimentation). Vérifier que la table de vérité correspond à celle écrite dans le paragraphe précédent.

D. Logique et tableur

Un logiciel appelé **tableur** est capable de gérer des fonctions mathématiques classiques, mais aussi les fonctions logiques.

1 Lancer le logiciel tableur et préparer un tableau comme celui qui figure dans la figure 5 ci-après.

Les deux premières colonnes A et B représentent les variables, c'est-à-dire les états que l'on imposera aux entrées A et B de la porte logique.

La troisième donnera le résultat de l'opération logique "ET".

La syntaxe qu'il faut respecter scrupuleusement est la suivante pour la case C2 : = ET (A2 ; B2).

En changeant les contenu des cases A2 et B2 qui ne peuvent contenir que 1 ou 0, noter le résultat affiché dans la case C2.

	A	B	C	D
1	A	B		S
2	1	0	FAUX	0
3				

Figure 5

2 Pour convertir le résultat VRAI ou FAUX en un état logique 1 ou 0, utiliser la fonction SI dont la syntaxe est :

=SI (condition ; résultat si vrai ; résultat si faux).

Dans la cellule D2, entrer la formule :

= SI (C2 = VRAI ; 1 ; 0).

Le logiciel traduit ainsi tous les « FAUX » par « 0 » et tous les « VRAI » par « 1 ».

Entrer cette formule dans la case D2 et vérifier son fonctionnement.

3 Regrouper les deux fonctions en une seule pour pouvoir se passer de la colonne C.

Recopier ensuite la formule vers le bas après avoir complété les colonnes A et B pour faire apparaître toutes les combinaisons des états logiques des deux entrées (figure 6).

	A	B	C
1	A	B	S
2	0	0	0
3			
4			
5			

Figure 6

Conclure.

Remarque : On peut obtenir un tableau identique à celui qui figure ci-dessus en conservant les quatre colonnes et en attribuant à la colonne C une largeur nulle.

Ainsi, elle n'apparaît pas, mais elle continue d'exister pour le tableur qui la prend en compte dans ses calculs. Les résultats apparaîtront dans la colonne notée D.

Activité 3 Caractéristique de transfert d'une porte NON

Les états 0 et 1 caractérisent la tension entre la borne d'entrée ou de sortie et la référence (masse ou borne - du générateur). Les tensions présentes sur les entrées pouvant être choisies entre 0 et la tension d'alimentation, comment le circuit va-t-il interpréter cette tension ?

1 La porte NON ne possède qu'une entrée. Compléter sa table de vérité sans réaliser d'expérience.

E	S

La sortie de la porte NON représente le complément de l'entrée. Elle s'écrit $S = \bar{E}$ (ce qui se lit E barre). Une porte NON (un complément) peut être représenté par « une petite boule » : $\overset{E}{\text{---}} \text{---} \text{---} \overset{S = \bar{E}}{\text{---}}$

2 Réaliser le montage de la figure 7 : la porte NON utilisée est l'une des six portes contenues dans un circuit intégré CMOS 4069 (voir le schéma en annexe). Ne pas oublier d'alimenter ce circuit intégré par un générateur de f.e.m. 5,0 V.

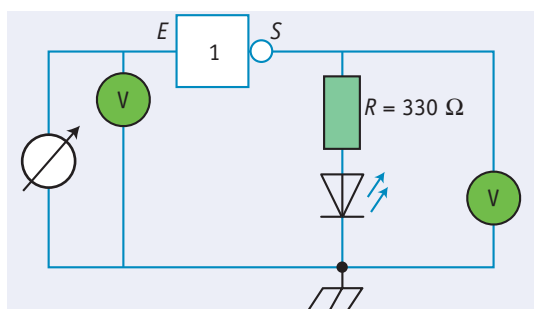


Figure 7

Faire varier la tension délivrée par le générateur (entrée E) sans dépasser la tension d'alimentation du circuit intégré et relever la valeur de la tension indiquée par le voltmètre mesurant la tension de sortie U_S (sortie S).

Compléter le tableau de valeurs ci-dessous et tracer le graphique correspondant en portant U_E en abscisse et U_S en ordonnée.

U_E (V)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
U_S (V)						
U_E (V)	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	
U_S (V)						

3 On appelle tension de basculement de la porte la valeur pour laquelle l'état de la sortie change brutalement.

Quelle est la valeur de la tension de basculement de cette porte ?

À quelle condition l'entrée est-elle :

- à l'état « 1 » ?
- à l'état « 0 » ?

Vérifier que le fonctionnement du circuit est conforme à la table de vérité.

4 Relier la sortie d'un générateur de fonction à la voie CH1 d'un oscilloscope (ou d'une carte d'acquisition).

Régler le générateur pour qu'il délivre une tension sinusoïdale d'amplitude 5 V et de fréquence comprise entre 100 et 1000 Hz. Régler le balayage de l'oscilloscope pour observer deux ou trois périodes.

Appliquer cette tension à l'entrée de la porte NON sans oublier de connecter la masse de l'oscilloscope au moins de l'alimentation.

Relier la sortie de la porte NON à la voie CH2 de l'oscilloscope ou de la carte d'acquisition.

Schématiser (ou mieux imprimer) les courbes obtenues et interpréter les variations de la tension de sortie.

Activité 4 Table de vérité d'une porte NON ET

La fonction NON ET est celle que l'électronicien utilise le plus couramment parce qu'en combinant plusieurs de ces portes, on peut facilement réaliser la plupart des autres fonctions élémentaires.

1 Réaliser le montage de la figure 8 ci-après. À quelle condition la DEL est-elle allumée ?

Construire la table de vérité du fonctionnement du montage en attribuant les valeurs 1 et 0 habituelles aux interrupteurs et à la DEL.

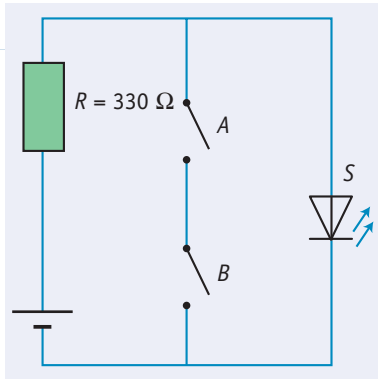


Figure 8

L'état de la sortie S est connu grâce à l'observation de la DEL.

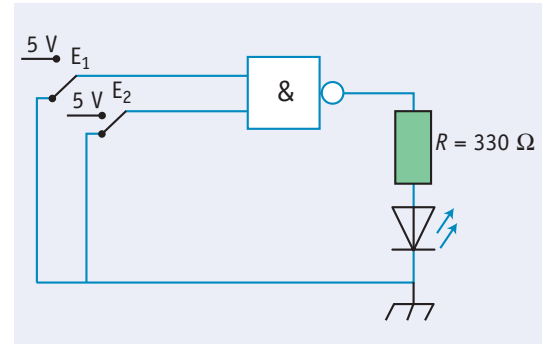


Figure 9

2 Réaliser le montage de la figure 9 : la porte NON ET est l'une des quatre portes contenues dans un circuit intégré 4011 ou 7400 (voir les brochages en annexe).

Ne pas oublier l'alimentation du circuit intégré. Les entrées E1 et E2 seront reliées soit à la borne + 5 V (état 1), soit à la borne de masse (état 0).

Remplir la table de vérité ci-contre décrivant le comportement de la porte NON ET. Comparer ce tableau avec celui obtenu dans l'activité 1. Que remarque-t-on ?

A	B	S

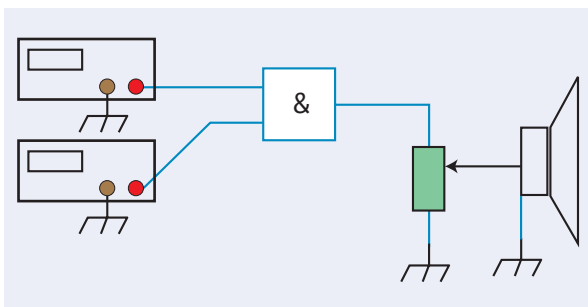
Activité 5 Chronogramme

Les tensions présentes aux entrées d'une porte logique évoluent au cours du temps. On appelle **chronogramme** un graphique représentant l'évolution de la tension présente aux différentes entrées et sorties d'une porte logique au cours du temps.

1 Montage

Les deux entrées d'une porte ET sont reliées aux sorties de deux générateurs de fonctions utilisés en mode TTL. Dans ce cas, ils délivrent des crénaux d'amplitude 5 V.

Régler le premier générateur sur la fréquence 2 Hz et le second sur 800 Hz. Relier la sortie de la porte ET à l'aide d'un potentiomètre à un haut parleur amplifié comme ceux que l'on utilise fréquemment à la sortie d'une carte son d'un ordinateur. (le potentiomètre est souvent intégré au haut parleur).



Décrire le son produit par le montage.

2 Pour comprendre le fonctionnement de l'expérience, nous allons étudier l'évolution des tensions des entrées et de la sortie de la porte ET, en supposant que la fréquence élevée est 8 Hz et non 800 Hz. Les deux premières courbes représentent les évolutions des tensions présentes aux entrées A et B en fonction du temps.

Sur le troisième graphique placé en dessous des précédents, tracer la courbe représentant l'évolution de la tension de sortie de la porte ET en fonction du temps. Pour cela, utiliser la table de vérité de la fonction ET. Conclure.



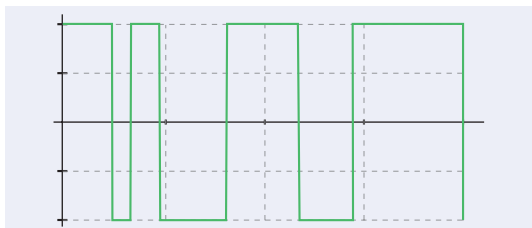
1 Signaux logique et analogique

- Signal analogique



Un signal analogique peut prendre toutes les valeurs entre deux extrêmes.

- Signal logique



Un signal logique ne peut prendre que deux valeurs différentes, notées valeur haute et valeur basse, ou zéro et un.

2 Tensions et courants d'entrée

La tension d'entrée peut évoluer entre $-V_{CC}$ et V_{CC} , V_{CC} désignant la tension continue d'alimentation. L'entrée est à l'état haut (ou 1) si la tension d'entrée est supérieure à $\frac{V_{CC}}{2}$.

Les intensités des courants circulant par les entrées sont très faibles (pratiquement nulles pour les CMOS).

3 Tensions et courants de sortie

La tension de sortie ne peut prendre que deux valeurs : la valeur basse (traduite par zéro) est nulle ; la valeur haute (traduite par 1) est égale à la tension d'alimentation.

L'intensité du courant délivrée (ou absorbée) par la sortie est faible.

Il permet l'allumage d'une DEL ou la commande d'autres portes logiques.

4 Tables de vérité

Les portes logiques sont représentés par des symboles normalisés. Leur fonctionnement est traduit par une table de vérité.

nom français	non	et	ou	ou exclusif	non et	non ou	non ou exclusif											
nom anglo-saxon	no	and	or	exor	nand	nor	exnor											
symbole européen																		
symbole anglo-saxon																		
table de vérité	E	S	A	B	S	A	B	S	A	B	S	A	B	S	A	B	S	
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	
			1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
			1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1

1 Porte NON réalisée avec une porte NON ET

Il existe deux possibilités pour réaliser une porte NON en utilisant une porte NON ET.

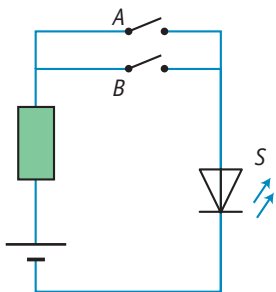
1. Rechercher ces deux possibilités en utilisant la table de vérité.
2. Comment câbler les deux entrées d'une porte NON ET pour obtenir une porte NON ?
3. Pourrait-on réaliser une porte NON ET à l'aide d'une porte ET à deux entrées ? Expliquer.

Pour les exercices 2 à 4, remplir la table de vérité et vérifier que le circuit réalise bien la même fonction.

2 Fonction OU

Je regarde la télévision si je suis fatigué ou s'il y a une émission intéressante.

- A = je suis fatigué ;
 B = il y a une émission intéressante ;
 S = je regarde la télévision.

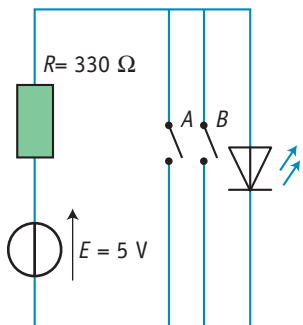


A	B	S
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

3 Fonction NON OU

J'aurai mon examen si je n'ai de mauvaise note ni en mathématiques ni en physique.

- A = j'ai une mauvaise note en mathématiques ;
 B = j'ai une mauvaise note en physique ;
 S = j'aurai mon examen.

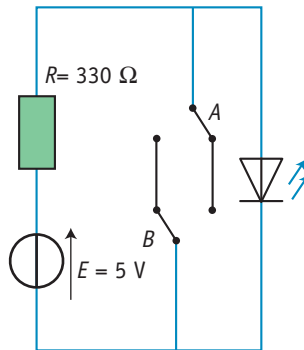


A	B	S
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

4 Fonction NON OU EXCLUSIF

Cette section comprend les élèves étudiant deux langues, vivantes ou mortes.

- A = étudier l'anglais ;
 B = étudier l'allemand ;
 S = appartenir à la section.

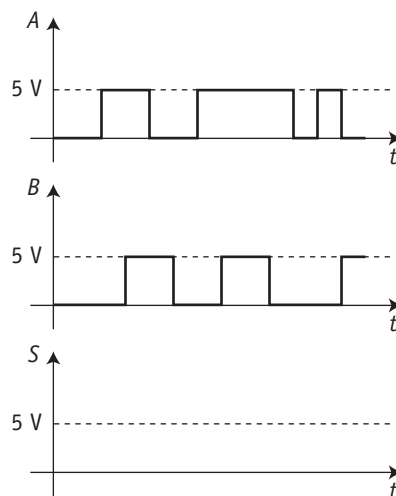


A	B	S
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

5 Évolution de la sortie d'une porte OU en fonction du temps

Les graphiques ci-dessous représentent l'évolution en fonction du temps des états des entrées d'une porte OU.

1. Écrire la table de vérité d'une porte OU.
2. Construire en utilisant le troisième système d'axes l'évolution de l'état de la sortie de la porte en fonction du temps.



6 Évolution de la sortie d'une porte OU EXCLUSIF

Reprendre l'exercice précédent en supposant maintenant que la porte réalise la fonction OU EXCLUSIF.