

## I) Introduction

Dans la manipulation précédente, on a vu le rôle important que joue le Convertisseur Numérique Analogique (CNA) dans la restitution des grandeurs analogiques à partir d'un stockage numérique sous forme binaire.

S'il est clair que ce stockage numérique est incontournable aussi bien pour des raisons de place occupée que de pérennité des enregistrements, il n'en reste pas moins que l'essentiel de notre univers est analogique.

Dès lors, la grande question est : « Comment passer d'un signal analogique à un signal numérique ? ». Et la réponse est évidemment : « En utilisant un convertisseur Analogique - Numérique ».

### 1) Exemple d'un signal sonore

Un orchestre joue une œuvre et il est enregistré. Comme on le voit lorsqu'une telle activité est filmée à la télévision ou qu'on se trouve dans la salle lors d'un enregistrement public, l'ingénieur du son chargé de cet enregistrement a disposé dans l'orchestre, à des endroits particuliers, des microphones qui vont lui permettre d'obtenir des signaux électriques, tous un peu différents les uns des autres, de la production sonore de l'orchestre, parce que le signal électrique produit par un microphone à un instant donné dépend du son reçu à cet instant par ce microphone et que ce son dépend surtout des instruments les plus proches de ce microphone (le son se propage à vitesse finie et s'atténue au fur et à mesure de sa propagation). Lorsque ces signaux sont encore enregistrés sur un magnétophone à bande multipiste, le stockage reste analogique. L'ingénieur combine ces différents signaux électriques à la table de mixage et élabore un signal pour chacune des deux voies de restitution sonore, de façon à obtenir un enregistrement en stéréophonie. Il cherche à conserver la couleur de l'orchestre, la dynamique de l'œuvre, son souffle poétique... mais tout ceci devra tenir sur le CD sous la forme de deux suites binaires.

### 2) Comment transformer sans dénaturer ?

Le signal sonore est continu et continûment variable (le silence est aussi de la musique). Par contre, la numérisation introduit un séquençage. Pour que cette discontinuité ne soit pas audible, il faut que sa fréquence soit très élevée, mais ceci augmente la quantité de données à obtenir. On a choisi un moyen terme, la fréquence de 44 kHz dont il a déjà été fait état dans le document précédent. La question est donc : « Comment obtenir à un instant donné une suite binaire qui représente ce qu'était le signal sonore élaboré à partir des différents sons reçus par les différents microphones à cet instant-là ? »

On voit qu'il faut donc disposer d'une horloge dont le rôle sera de donner les dates où le processus d'analyse doit être relancé et d'un système propre à transformer, sur un laps de temps inférieur à celui défini par l'horloge, le signal analogique en un signal numérique.

## II) Étude statique

Les paragraphes précédents ont montré que les deux difficultés sont la vitesse avec laquelle on doit procéder à l'acquisition numérique (problème de l'horloge) et la transformation analogique → numérique elle-même.

On se place donc dans une situation qualifiée de statique en ce sens qu'on étudie seulement le procédé permettant de remplacer une valeur continue par une valeur quantifiée.

On considère une tension  $U$  pouvant prendre toute valeur entre 0 et  $U_{\max}$ , la valeur de  $U_{\max}$  étant par exemple fixée à 5,00 V.

*Remarque* : si la valeur à transformer peut varier dans une zone plus étendue que l'intervalle  $[0; 5,00 \text{ V}]$ , deux cas peuvent être envisagés :

- on réalise une transformation de la tension maximale réelle en tension de 5 V et on perd en précision ;
- on augmente la tension maximale  $U_{\max}$ .

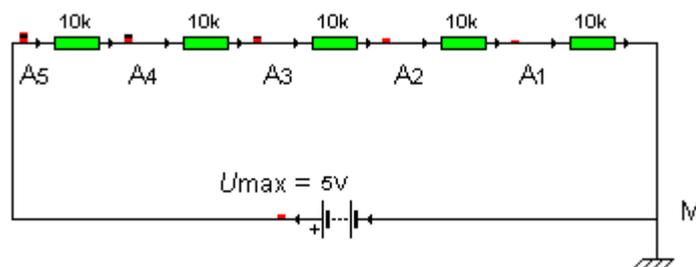


FIG. 1 – Schéma de cinq résistances en ligne

### 1) Analyse d'une ligne de résistances

Considérons une ligne de  $n$  résistances identiques (en série, donc) de valeur  $r$ , l'ensemble étant soumis à la tension  $U_{\max}$ . Avec le logiciel Crocodile Physics, réaliser un schéma du montage avec cinq résistances et un générateur de tension ajustable (voir figure 1). Placer des sondes de tension aux points intermédiaires. Placer la masse du circuit à la borne négative du générateur. Observer les potentiels des points intermédiaires quand  $U_{\max}$  varie.

#### Question 1 :

Quelle relation voyez-vous entre  $U_{\max}$  et les tensions mesurées ?

#### Question 2 :

Déterminer les expressions littérales des tensions  $U_{A_iM}$  ( $U_{A_1M}$ ,  $U_{A_2M}$ ,  $U_{A_3M}$ , ...,  $U_{A_nM}$ ) en fonction de  $U_{\max}$ ,  $n$  et  $i$ .

En général, on utilise la notion de potentiel d'un point plutôt que celle de tension entre deux points. Ces notions en fait se confondent si on veut bien considérer les propositions suivantes :

- $U_{BC} = V_B - V_C$ , où  $U$  est la tension (ou différence de potentiel) et  $V$  est le potentiel ;
- par convention  $V_M = 0$ .

#### Question 3 :

Réécrire les réponses à la question 2 en utilisant la notion de potentiel.

#### Question 4 :

Appliquer la question 3 au cas  $U_{\max} = 5,00 \text{ V}$  et  $n = 5$ . Conclure.

### 2) L'amplificateur opérationnel (ou AO)

#### a) Généralités

Il existe de très nombreux modèles d'AO, qui sont plus ou moins spécialisés ; ils sont fabriqués en intégrant sur une même pastille de silicium monocristallin plusieurs centaines ou milliers de composants électroniques élémentaires.

Un AO est un transformateur de signal électrique. Cette transformation nécessite de l'énergie électrique, qui est apportée à l'AO par une alimentation spécifique.

Un AO consomme de l'énergie électrique et fonctionne en général avec deux tensions d'alimentation symétriques, continues et constantes, par exemple :  $+15 \text{ V}$  et  $-15 \text{ V}$ , tensions mesurées par rapport à la référence commune  $0 \text{ V}$ , potentiel de la masse, mais on peut utiliser des tensions différentes, quoique toujours continues, si besoin est.

Dans un montage expérimental il doit être alimenté AVANT de recevoir des tensions à modifier, et il faut supprimer toutes les tensions appliquées à l'AO AVANT d'arrêter son alimentation propre.

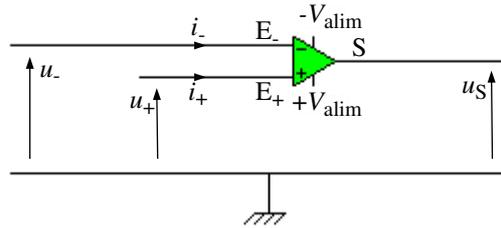


FIG. 2 – Schéma d'un amplificateur opérationnel

Faire attention lors du branchement de l'alimentation symétrique car la platine utilisée pour le montage ne possède pas de dispositif de protection contre une erreur de polarité lors du branchement de l'alimentation symétrique.

Un AO ne peut pas fournir des tensions supérieures (en valeur absolue) à la tension (positive) d'alimentation.

Un AO possède deux bornes d'entrées, entrée inverseuse notée  $E_-$  et entrée non inverseuse notée  $E_+$  et une borne de sortie, appelée S (voir figure 2). Il possède aussi deux bornes d'alimentation  $+V_{\text{alim}}$  et  $-V_{\text{alim}}$  ; deux bornes de décalage (offset), qui permettent un réglage fin de son fonctionnement et une borne de masse M. Le boîtier possède huit bornes, mais il y a une borne non reliée en interne.

#### b) Propriétés fondamentales

Un AO présente des résistances d'entrée extrêmement élevées, ce qui fait qu'il n'y a pratiquement pas de courant électrique qui pénètre dans l'AO par ses deux entrées. On a donc :  $i_- = 0$  et  $i_+ = 0$ .

Un AO peut fonctionner sous deux régimes : en commutateur (régime saturé) ou en amplificateur (régime linéaire). Dans le deuxième cas, la tension de sortie  $u_S$  est telle que :  $u_S = \mu(u_+ - u_-)$  où  $\mu$  est le coefficient d'amplification ( $\mu \gg 1$ ) et  $u_+$  et  $u_-$  sont les tensions (elles peuvent être variables) appliquées sur les entrées  $E_+$  et  $E_-$ . Ce régime ne peut se maintenir qu'à la condition que la relation :  $|u_+ - u_-| < \epsilon$  avec  $\epsilon \approx 0$  soit constamment vérifiée.

Dans le premier cas, l'AO échappe au régime précédemment défini parce que la différence  $|u_+ - u_-|$  est trop grande. Alors la tension de sortie est égale à  $+V_{\text{sat}}$  ou à  $-V_{\text{sat}}$  selon que  $u_+ - u_-$  est positive ou négative.  $V_{\text{sat}}$  et  $-V_{\text{sat}}$  sont de l'ordre de grandeur de  $V_{\text{alim}}$  et de  $-V_{\text{alim}}$  respectivement, mais inférieures en valeurs absolues. On dispose ainsi d'un montage qui ne peut donner que deux niveaux de tension sur sa sortie, donc on dispose de la possibilité d'un codage binaire.

#### c) Vérifications

##### i) Simulation

Réaliser le schéma de la figure 3 sur Crocodile Physics.

Observer la tension de sortie  $u_S$  selon les valeurs données à  $u_+$  et à  $u_-$ .

##### Question 5 :

Pour chacune des trois valeurs  $u_- = 0$ ,  $u_- = -400 \mu\text{V}$  et  $u_- = +400 \mu\text{V}$ , tracer les courbes  $u_S = f(u_+)$  et  $u_S = f(u_+ - u_-)$ .

##### Question 6 :

Vérifier la relation  $u_S = \mu(u_+ - u_-)$ . Calculer  $\mu$ .

##### Question 7 :

Que se passe-t-il si  $u_+ - u_-$  devient trop grand en valeur absolue. Que vaut  $V_{\text{sat}}$  ?

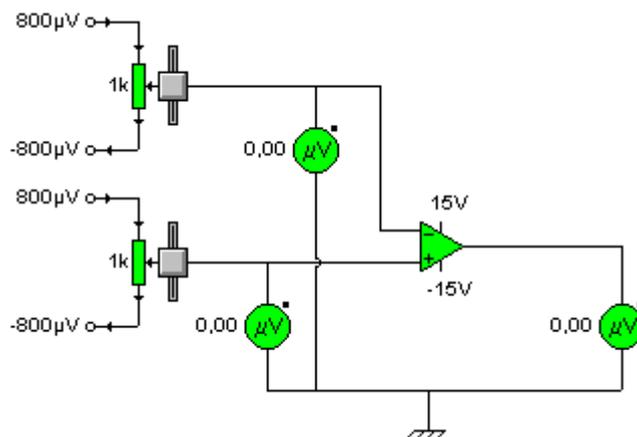


FIG. 3 – Schéma d'un AO alimenté par deux sources continues ajustables

**ii) Tracé en continu**

Ouvrir, dans Crocodile Physics, le fichier "AOLinOsc.cyp" (voir figure 4). Faire tracer et observer les deux courbes pour  $u_- = 0$ ,  $u_- = -400 \mu\text{V}$  et  $u_- = +400 \mu\text{V}$  (cliquer sur le bouton pause pour faire démarrer la simulation).

**Question 8 :**

*Expliquer la forme des courbes obtenues.*

**3) Comparateur**

Réaliser sur platine le montage de la figure 5, en prenant garde de monter les deux DEL en parallèle et en sens inverses.

**Question 9 :**

*Quelle relation observe-t-on entre les tensions  $u_+$  et  $u_-$  et l'allumage des DEL ? Que vaut la tension  $u_S$  lorsqu'une des DEL s'allume ?*

**Question 10 :**

*On appelle un tel montage « montage comparateur ». Que compare-t-il ?*

**4) Association de la ligne de résistances et de comparateurs à AO**

On veut numériser une tension  $V_{\text{mes}}$ .

Chacun des points  $A_1, A_2, \dots, A_{n-1}$  de la ligne de résistances (avec  $n = 5$ ) est relié à l'entrée  $E_-$  d'un AO monté en comparateur car on applique sur l'entrée  $E_+$  de chacun des AO le potentiel  $V_{\text{mes}}$  (voir figure 6).

Chacune des sorties est reliée à un voyant logique : il est éteint si  $V_S = -V_{\text{sat}}$ , allumé si  $V_S = +V_{\text{sat}}$ .

**Question 11 :**

*Combien de nombres binaires peuvent être écrits avec 4 bits ?*

**Question 12 :**

*Le potentiel  $V_{\text{mes}}$  peut varier entre 0 et 5 V.*

*Si on fait varier lentement  $V_{\text{mes}}$  de 0 à 5 V, comment va évoluer l'allumage des voyants logiques branchés sur les sorties des AO ?*

*En déduire combien de nombres binaires peuvent être affichés avec ce montage. Conclure.*

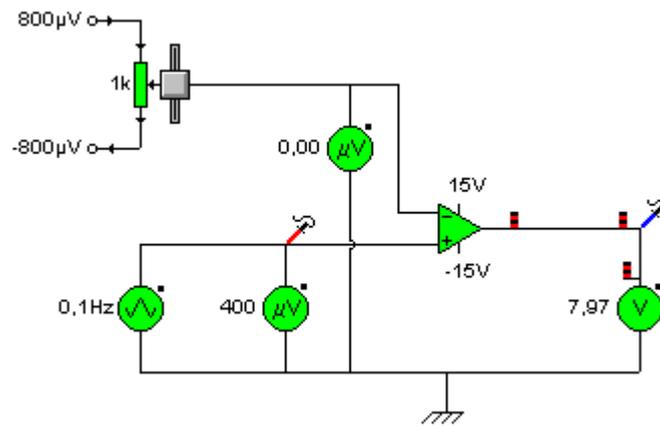


FIG. 4 – Tracé en continu

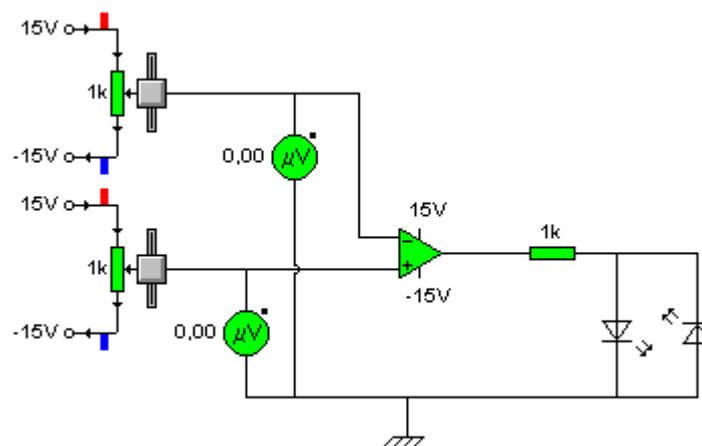


FIG. 5 – Montage d'un AO avec deux DEL en sortie

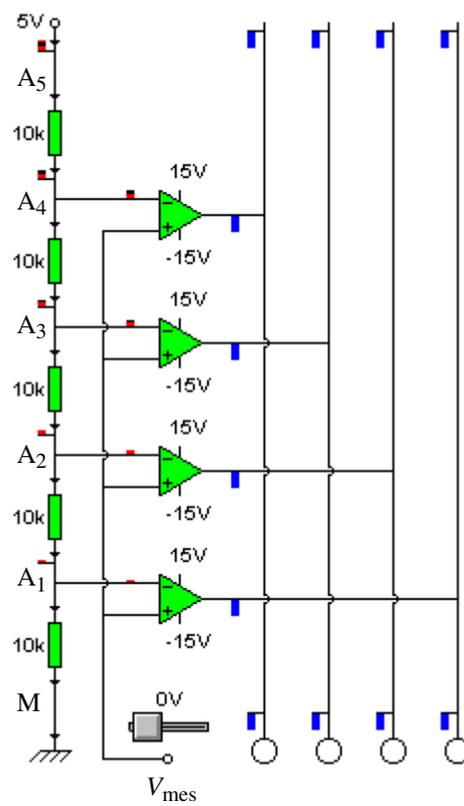


FIG. 6 – Ligne de résistances et comparateurs

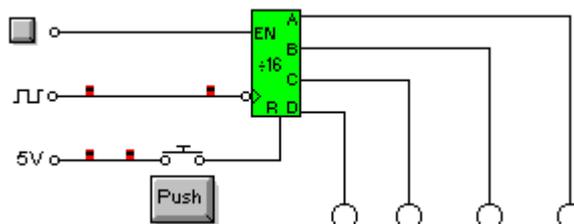


FIG. 7 – Compteur

### 5) CAN à rampe numérique

Le montage précédent impose autant d'AO utilisés en comparateurs qu'il y a de niveaux de tensions de référence. Pour réduire le nombre des composants, on peut vouloir utiliser un seul AO. Mais il faudra lui associer successivement les différentes tensions de référence, de manière automatique.

Un nouveau matériel est nécessaire : le compteur (voir figure 7).

Il existe des compteurs binaires à 4 bits. Un tel composant dispose de broches d'alimentation, de 3 entrées logiques, de 4 bornes de sortie.

Son rôle est de présenter sur ses bornes de sortie, avec un rythme défini par une horloge externe, un état qui passe successivement par toutes les valeurs de 0 à 15, en mode binaire. On peut voir le fonctionnement d'un compteur en ouvrant le fichier "Compteur.cyp" dans Crocodile Physics. Le bouton branché sur l'entrée EN met en marche ou arrête le compteur. Celui branché sur l'entrée R le remet à 0. L'horloge est branchée sur l'entrée >. Les sorties A, B, C et D sont reliées à des voyants logiques.

#### Question 13 :

*Quelle sortie correspond au bit de poids le plus fort du compteur ? Laquelle correspond au bit de poids le plus faible ?*

En l'associant à un convertisseur numérique-analogique, on peut obtenir une tension dont la valeur évolue en marches d'escalier, entre 0 et une valeur maximale, qui sera ici de 5,0 V (figure 8). On peut voir fonctionner une rampe en ouvrant le fichier "Rampe.cyp". L'idée est ensuite de lui associer un AO monté en comparateur : le comparateur compare alors la tension produite par la rampe et la tension à numériser (voir figure 9).

#### Question 14 :

*Comment fonctionne le montage simulé (fichier "RampeComp.cyp") ? Comment peut-on s'en servir pour numériser une tension ?*

#### Question 15 :

*Est-ce que le temps de numérisation d'une tension est toujours le même ? Pourquoi ?*

### 6) CAN à approximations successives

À suivre. . .

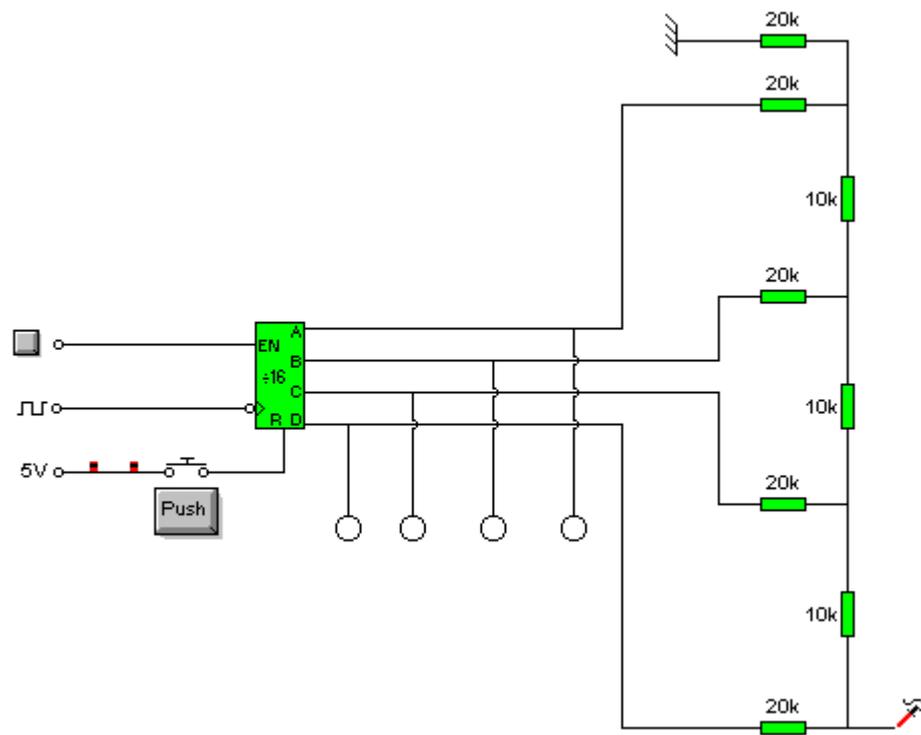


FIG. 8 – Rampe numérique

