



Olympiades de physique 2008-2009

## Le Voyage des données



✚ Julien Bourgeois

✚ Timothée Scherrer

✚ Quentin Allender

## I - Introduction

## II - Les tests

- a. Le câble téléphonique
- b. L'ordinateur
- c. Hypothèse

## III - Modélisation virtuelle d'un circuit et formules

- a. Convertisseur Numérique-Analogique
- b. Convertisseur Analogique-Numérique

## IV - Le montage dans la réalité

- a. Réalisation du montage
- b. Critique des résultats

## V – Conclusion sur le modem

## VI - Chaîne d'acquisition

## VII – Conclusion sur la chaîne d'acquisition

## VIII - Bibliographie & remerciements

## IX - Annexe

## I. Introduction

Depuis longtemps, nous sommes passionnés par les ordinateurs et l'Internet. Aujourd'hui, en tant que développeurs néophytes, nous nous rappelons avec nostalgie l'époque où la connexion était coupée lorsque maman parlait au téléphone (voir annexe : Un peu d'histoire). Cet inconvénient venait du modem branché à la prise téléphonique : ce petit appareil qui est vendu par les fournisseurs d'accès Internet et qui ne permettait pas de communiquer simultanément par Internet et par le téléphone. Dans le langage courant, le modem désigne donc un appareil qui connecte l'ordinateur à Internet (visualisation de pages web grâce au navigateur, téléchargements, communications...)

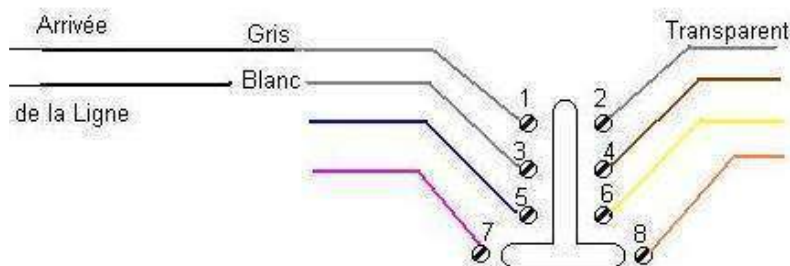
L'avancée technique fait que l'on peut maintenant téléphoner et « surfer » en même temps depuis chez soi. Aujourd'hui, seuls les modems ADSL sont présents sur le marché. Mais une question subsiste :

### En quoi le modem classique était-il indispensable à la communication entre un ordinateur et Internet ?

## II. Les tests

### a. Câble téléphonique

Le but de cette manipulation est de rechercher le type de données qui passent par le câble téléphonique.



*Schéma de la fiche téléphonique. Les fils gris et blanc qu'on voit en démontant le téléphone indiquent l'entrée et la sortie du courant.*

Nous tentons de mesurer la tension dans la prise téléphonique.

Nous utilisons un oscilloscope pour tester le signal.

Nous relierons les fils dans la prise téléphonique afin d'avoir un meilleur contact : après l'avoir démontée, nous coinçons chaque fil sous les vis 1 et 3 du schéma vu ci-dessus.



On branche ce système à l'**oscilloscope** (à l'aide de pinces crocos pour un meilleur contact):

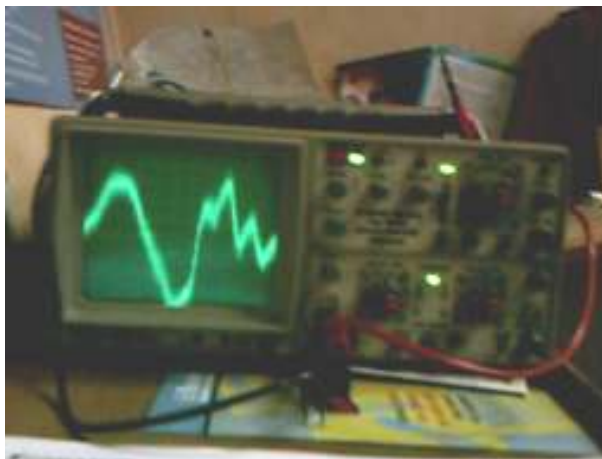
- **Combiné raccroché** : L'appareil nous indique une droite avec des parasites très minimes mais fréquents (très rapprochés). On reconnaît ici une tension continue.



- **Combiné décroché** : La droite devient une sinusoïde, la tension est donc alternative.

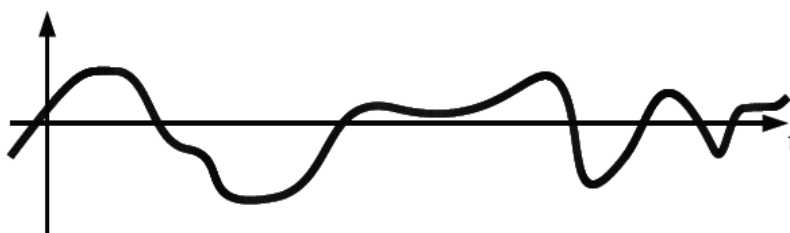


- **Combiné décroché + paroles** : La sinusoïde se déforme « aléatoirement » dans le temps.



Ces observations montrent que la tension mesurée varie dans le temps quand on parle dans le téléphone.

Signal analogique : Grandeur physique (ex : tension) qui peut se mesurer et varier dans le temps via des valeurs intermédiaires. Une telle courbe (ci-dessous) est par exemple une représentation d'un signal analogique :



Courbe du signal analogique

Conclusion : **Le test montre la présence d'un signal analogique dans le réseau téléphonique.**

## b. Ordinateur

Afin de savoir avec quel type de données l'ordinateur travaille, on réalise un test sur celui-ci :

On sait que lorsque l'on utilise une imprimante avec un ordinateur, il est nécessaire que celle-ci communique à l'ordinateur pour lui indiquer son état et s'il n'y a pas d'anomalies. Par exemple, généralement quand il n'y a plus de papier, un message s'affiche sur l'écran pour vous avertir. Cela est dû au fait que l'imprimante a envoyé un message à l'ordinateur pour lui dire « il n'y a plus de papier ».

Les données qui sont transmises par l'imprimante sont reçues telles quelles par l'ordinateur par le port parallèle. Après quelques recherches, on a déterminé que les données arrivaient par le port 379h de l'ordinateur (ce port correspondant à une adresse mémoire). Ces données sont donc directement interprétables par l'ordinateur. En lisant ces données avec un logiciel, on peut en déterminer le type. Nous avons donc réalisé ce logiciel et nous avons testé lorsque l'imprimante était dans des états différents. Voici ce que nous avons obtenu :

```
C:\Documents and Settings\Allender\Mes documents\Quentin\TPE\read.exe

=== port 0379 lecture ===

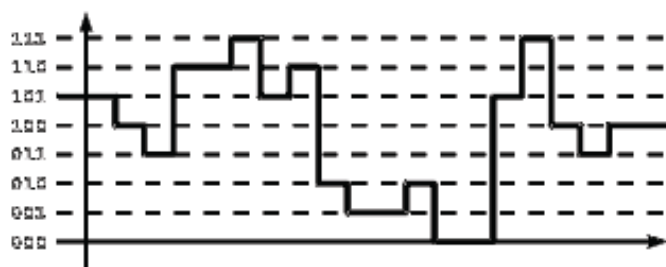
Choix d'utilisation :
  1. automatique
  2. manuel
2

Choix du nombre de bit a lire :
  1. 3 bits : utilisation avec le module d'acquisition
  2. 8 bits : lecture de l'octet complet
2

Nombre binaire : 10000111 ← Imprimante éteinte
Nombre binaire : 01011111 ← Imprimante allumée mais non prête
Nombre binaire : 11011111 ← Imprimante allumée prête
```

Quand on lit avec le logiciel l'adresse mémoire 379h, on obtient un nombre binaire, ce nombre varie en fonction de l'état de l'imprimante. Chaque bit (0 ou 1) du nombre binaire porte un message. Par exemple, le bit n°4 en partant de la droite est à 0 quand l'imprimante est éteinte et à 1 quand celle-ci est allumée.

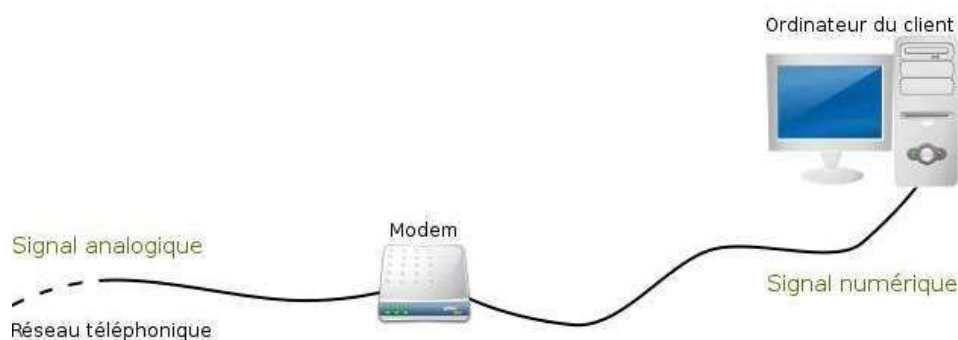
Un Signal numérique est une grandeur physique (ex : tension) dont les valeurs sont des nombres discrets, c'est à dire qu'elle prend une valeur précise à un moment donné sans transition avec la valeur précédente. La variation de ces nombres est donc discontinue et la représentation d'un signal numérique présente des angles droits :



Courbe du signal numérique

On constate donc, que les données que l'ordinateur reçoit de l'imprimante sont bien des nombres discrets, la courbe du signal numérique correspond parfaitement aux données que l'ordinateur reçoit de l'imprimante, **on en déduit donc que l'ordinateur fonctionne avec des données numériques.**

Résumons donc la situation : D'un côté on a constaté que le signal passant par le câble téléphonique est analogique. De l'autre, l'ordinateur ne travaille qu'avec des signaux numériques. **Entre les deux ; le modem.**



### c. Hypothèse

Nous savons maintenant que les données qui passent dans le câble téléphonique sont de type analogiques et que l'ordinateur fonctionne en traitant des données numériques. On a aussi remarqué que le modem est toujours situé entre le câble téléphonique et l'ordinateur. A partir de toutes ces informations, une hypothèse nous paraît évidente quand à la fonction du modem classique :

**Celui-ci aurait pour fonction de convertir les données analogiques du câble téléphonique en données numériques compréhensibles par l'ordinateur. Dans un même temps, il convertit les données numériques en données analogiques qui vont être transmises par l'ordinateur par le câble téléphonique.**

### III. Modélisation théorique d'un circuit et formules

Notre but : Réaliser un convertisseur numérique-analogique (CNA) qui sera suivi d'un convertisseur analogique-numérique (CAN) et qui nous permettra de déterminer si il est possible ou non de convertir des données numériques en données analogiques et inversement.

#### a. Le convertisseur numérique-analogique (CNA)

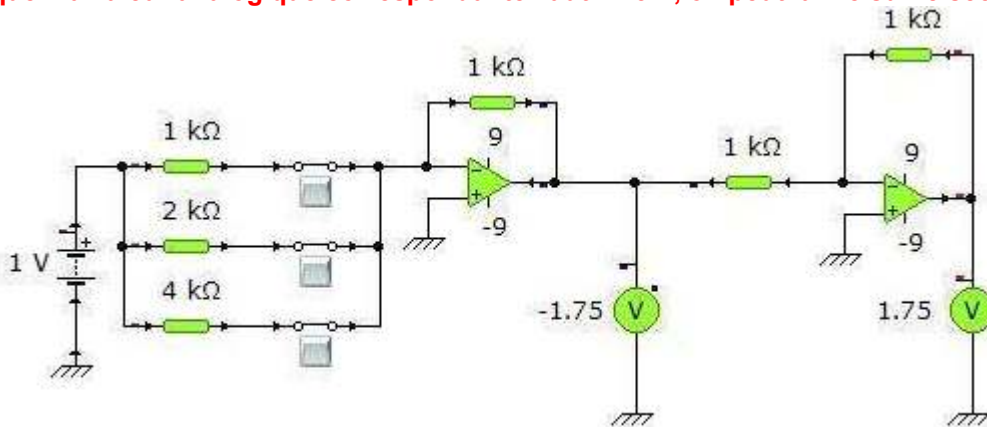
Le principe du convertisseur numérique-analogique est de convertir une valeur numérique (dans notre cas un nombre binaire) en une valeur analogique (dans notre cas une tension).

Définitions:

Le poids d'un bit dépend de la position du bit en partant de la droite. A la manière des dizaines, des centaines et des milliers pour un nombre décimal, ce poids croît d'une puissance de deux en allant de la droite vers la gauche comme le montre le tableau suivant :

|                |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nombre binaire | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| Poids          | $2^7$ | $2^6$ | $2^5$ | $2^4$ | $2^3$ | $2^2$ | $2^1$ | $2^0$ |
|                | =     | =     | =     | =     | =     | =     | =     | =     |
|                | 128   | 64    | 32    | 16    | 8     | 4     | 2     | 1     |

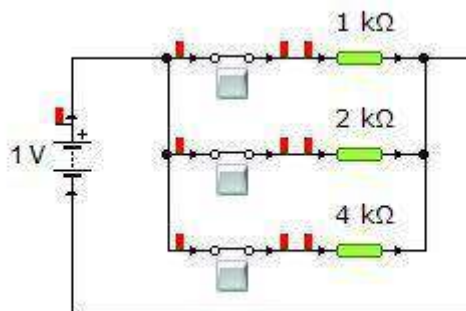
**Voici le schéma du montage que l'on veut réaliser. Dans le cas présent, le nombre binaire converti est 111, c'est la valeur numérique. La valeur analogique correspondante vaut 1.75 V, on peut la lire sur le second voltmètre.**



Convertisseur numérique analogique

L'idée de base de notre montage repose sur le fait qu'un interrupteur représente un bit du nombre binaire. Lorsque cet interrupteur est fermé, il représente la valeur 1. Lorsqu'il est ouvert, il représente le 0.

Prenons l'exemple du montage ci dessus. Tous les interrupteurs sont fermés : nous voulons transcrire le nombre binaire 111 en une tension proportionnelle à récupérer à la sortie du Convertisseur Numérique Analogique.



Pour notre exemple (le nombre binaire 111), cela fait :

|  |                     |                     |                      |
|--|---------------------|---------------------|----------------------|
| Nombre binaire                         | 1                   | 1                   | 1                    |
| Poids du bit                           | 4(=2 <sup>2</sup> ) | 2(=2 <sup>1</sup> ) | 1 (=2 <sup>0</sup> ) |
| Valeur de la résistance correspondante | 1/4                 | 2/4                 | 4/4                  |

Nous voyons dans ce tableau que la proportionnalité inverse est respectée. Mais pour obtenir des valeurs de résistances courantes, il faut multiplier ce coefficient par 4. On garde ainsi la proportionnalité et on obtient :

|  |                     |                     |                      |
|--|---------------------|---------------------|----------------------|
| Nombre binaire                             | 1                   | 1                   | 1                    |
| Poids du bit (= x)                         | 4(=2 <sup>2</sup> ) | 2(=2 <sup>1</sup> ) | 1 (=2 <sup>0</sup> ) |
| Valeur de la résistance correspondante kΩ. | 1                   | 2                   | 4                    |

En utilisant le montage amplificateur opérationnel inverseur suivant, on fait varier une tension  $U_s$  en fonction d'une autre tension  $U_{ref}$  et du rapport entre 2 résistances.

|   |                               |  |
|---|-------------------------------|--|
| <b>Montage Amplificateur Opérationnel Inverseur</b> | $U_s = -U_{ref} \frac{R'}{R}$ |  |
|---|-------------------------------|--|

La tension de sortie est négative, pour la rendre positive, on rajoute un deuxième montage amplificateur inverseur avec 2 résistances identiques.

Voici les valeurs qu'on obtient alors pour notre exemple :

|  |   |                     |                      |
|--|---|---------------------|----------------------|
| Nombre binaire                                       | 1   | 1                   | 1                    |
| Poids du bit (= x)                                   | 4(=2 <sup>2</sup> )   | 2(=2 <sup>1</sup> ) | 1 (=2 <sup>0</sup> ) |
| Valeur de la résistance correspondante kΩ.           | 1   | 2                   | 4                    |
| Résistance équivalente                               | $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$<br>$1/R = 7/4$<br>$R = 4/7 \text{ k}\Omega$ |                     |                      |
| Tension de sortie après le 1 <sup>er</sup> ampli op  | $U_s = -U_{ref} * R'/R = -1 * 1 / (4/7) = -7/4 = -1.75 \text{ V}$         |                     |                      |
| Tension de sortie après le 2 <sup>ème</sup> ampli op | $U_s = -U_{ref} * R'/R = -(-1.75) * 1/1 = 1.75 \text{ V}$                 |                     |                      |

En plaçant des résistances pondérées inversement proportionnelles au poids du bit correspondant, on obtient bien une valeur pour la résistance équivalente R qui est inversement proportionnelle à la conversion en décimal du nombre binaire.

En effet : Dans notre cas, le nombre binaire est 111 ce qui fait 7 en décimal ( $1*2^0 + 1*2^1 + 1*2^2$ ), la résistance équivalente est 4/7, elle est bien inversement proportionnelle à 7.

De plus, avec le montage amplificateur opérationnel inverseur, on obtient une tension égale à 7/4 (après inversion) qui est inversement proportionnelle à la résistance équivalente qui vaut 4/7.

La conversion en décimal de notre nombre binaire d'exemple vaut 7 et la tension de sortie vaut 7/4. On a bien un rapport de proportionnalité de 1/4 entre ces 2 nombres.



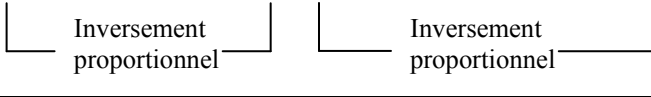
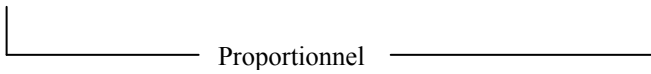
Généralisation :

Nous avons fait varier une tension proportionnellement au nombre binaire converti en décimal.

Pour ce faire, on a procédé en deux étapes :

- Premièrement, on a fait varier une résistance équivalente inversement proportionnelle à notre nombre binaire converti en décimal.
- Puis on a fait varier une tension inversement proportionnelle à cette résistance. De cette manière, la tension varie proportionnellement au nombre binaire converti en décimal.

On peut établir le tableau suivant pour notre montage qui est le récapitulatif des valeurs qu'on obtient pour les différents nombres binaires possibles :

| Nombre binaire | Conversion en décimal  | Valeur de la résistance équivalente R en kΩ | Tension de sortie en Volt |
|----------------|--|---|---------------------------|
| 000            | 0  | 0   | 0                         |
| 001            | 1  | 4   | $\frac{1}{4} = 0.25$      |
| 010            | 2  | 2   | $\frac{1}{2} = 0.5$       |
| 011            | 3  | $\frac{4}{3}$                               | $\frac{3}{4} = 0.75$      |
| 100            | 4  | 1   | 1                         |
| 101            | 5  | $\frac{4}{5}$                               | $\frac{5}{4} = 1.25$      |
| 110            | 6  | $\frac{4}{6}$                               | $\frac{6}{4} = 1.5$       |
| 111            | 7  | $\frac{4}{7}$                               | $\frac{7}{4} = 1.75$      |
|                |  |   |                           |
|                |  |   |                           |

Conclusion :

Pour déterminer la tension de sortie de ce montage, on a donc la formule suivante :

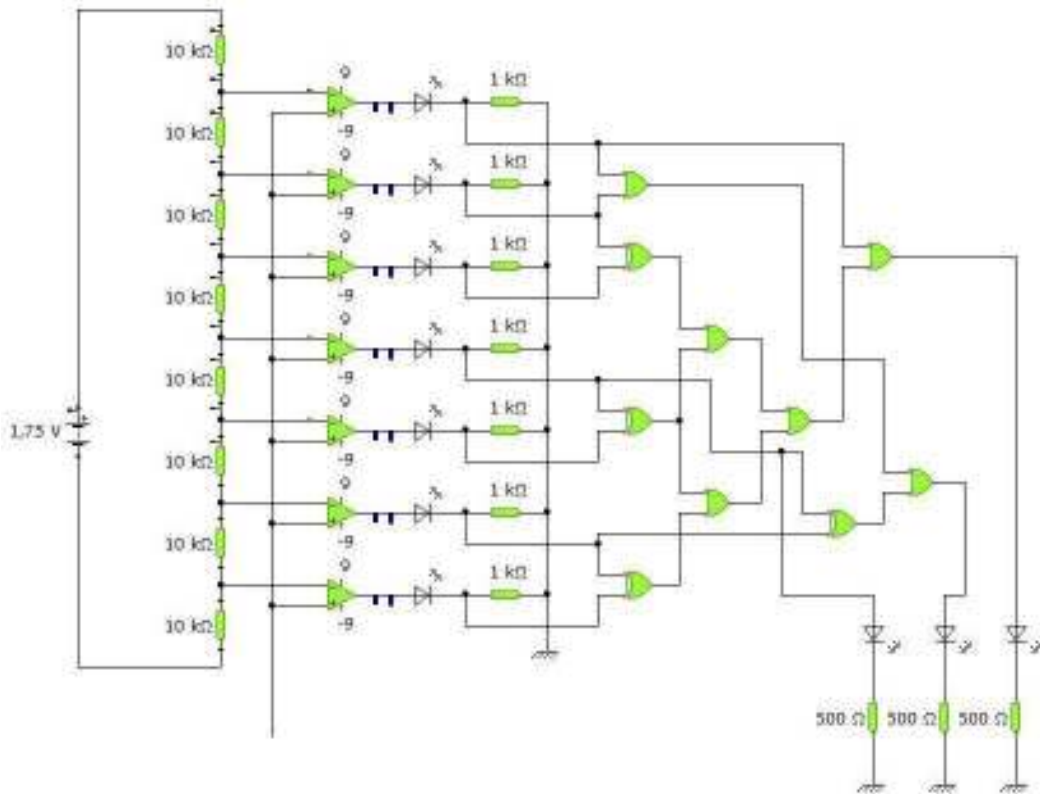
$U_s = x/4$  x étant la conversion en décimal du nombre binaire

$U_s$  varie proportionnellement au nombre binaire (ou sa conversion en décimal), ce qui est important pour la suite de l'expérience. En effet, si on veut retranscrire le nombre binaire entré grâce aux interrupteurs par la suite, il faut que la tension varie de manière proportionnelle.

## b. Le convertisseur analogique-numérique (CAN)

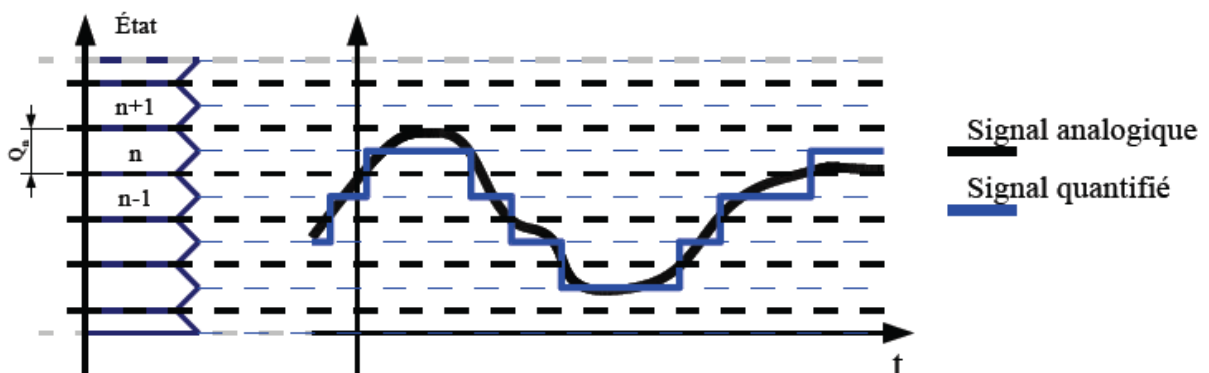
Le principe du convertisseur analogique-numérique est de générer à partir d'une valeur analogique, une valeur numérique (ici un nombre binaire codé sur 3 bits), proportionnelle à la valeur analogique entrée (pour nous une tension).

**Voici le montage à réaliser :**



La conversion analogique-numérique comporte deux étapes: la quantification et le codage.

- La quantification : convertir un signal analogique continu en une suite finie d'états discrets. On associe donc un état à un intervalle de valeurs de largeur  $Q$ , appelé pas de quantification.



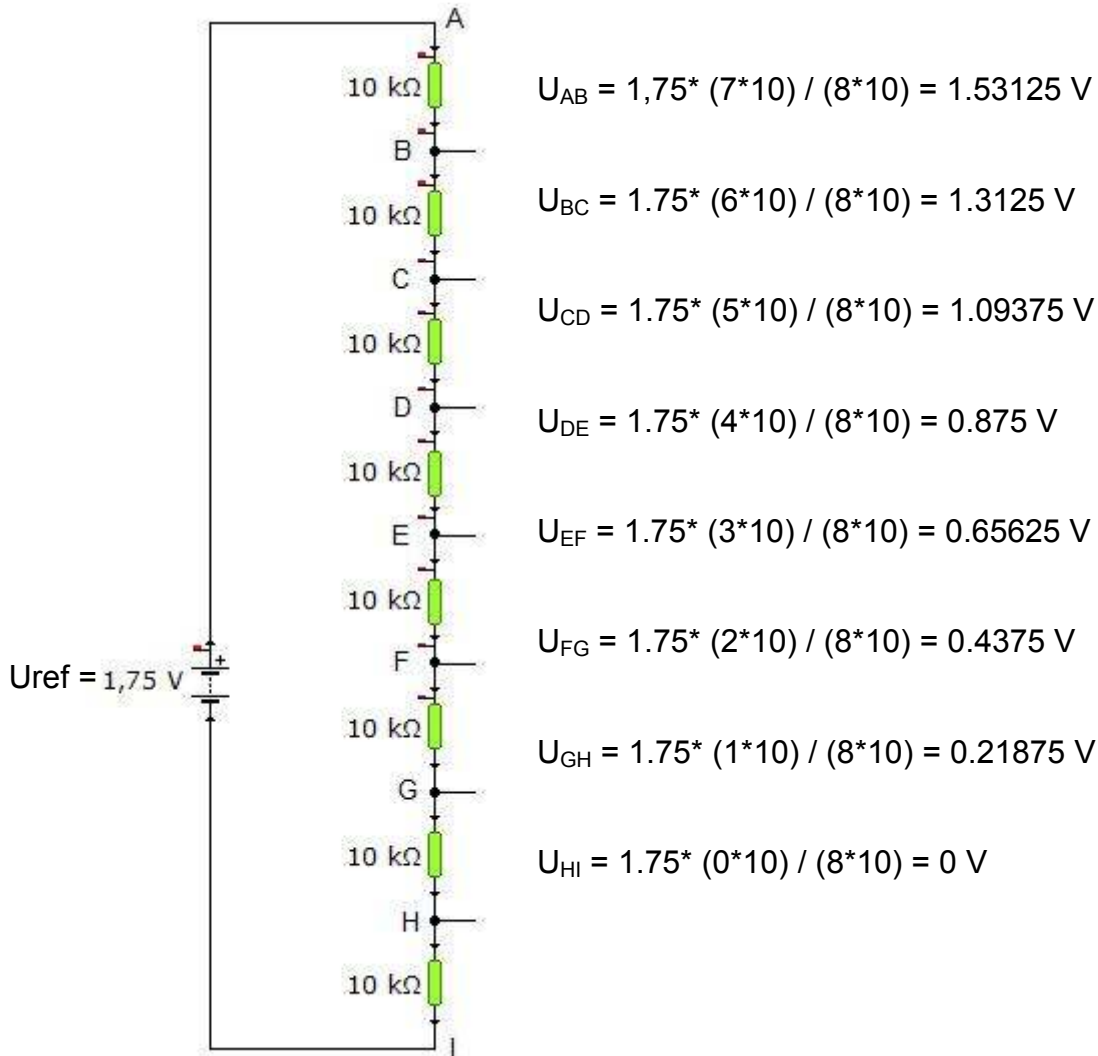
On va commencer par quantifier notre tension analogique. Pour cela, il faut une échelle de valeurs que l'on va définir en divisant une tension qui est égale à la plus grande valeur à convertir (pour nous, 1.75V). Chaque valeur analogique (tension) sera comparée à chaque valeur de l'échelle de tension pour déterminer dans quel encadrement elle se trouve. Pour obtenir cette échelle, on va utiliser un pont diviseur de tension dont voici la formule :

$$U_{\text{divisé}} = U_{\text{généré}} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Pour la tension en un point :

R1 correspond à la somme des résistances placée au dessus du point.

R2 correspond à la somme des résistances placée en dessous du point.



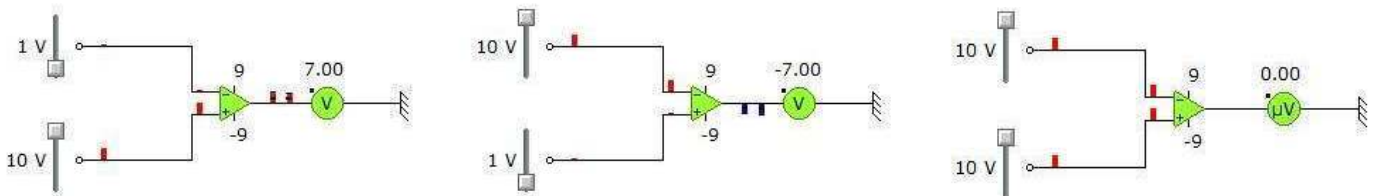
De cette manière, on obtient les encadrements suivants :

- 0 V ≤ U ≤ 0.21875 V
- 0.21875 V ≤ U ≤ 0.4375 V
- 0.4375 V ≤ U ≤ 0.65625 V
- 0.65625 V ≤ U ≤ 0.875 V
- 0.875 V ≤ U ≤ 1.09375 V
- 1.09375 V ≤ U ≤ 1.3125 V
- 1.3125 V ≤ U ≤ 1.53125 V
- 1.53125 V ≤ U ≤ 1.75

En prenant notre exemple (111), la tension reçue du CNA vaut 1.75V. Dans ce cas, cette tension se situe dans le dernier encadrement (rouge). On sait donc qu'il s'agit du plus grand nombre binaire.

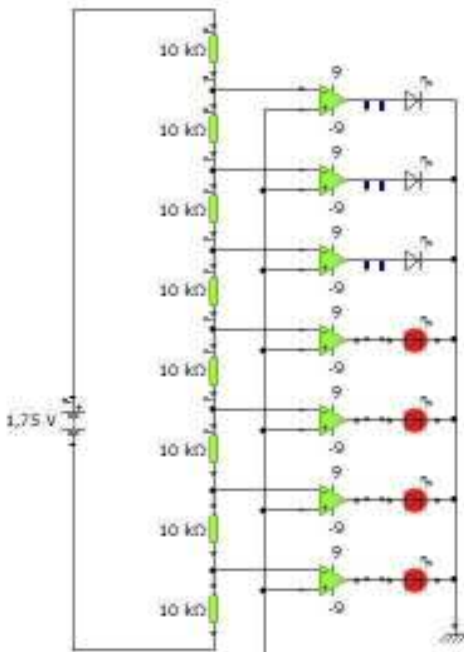
Si on prend un autre exemple, 010, la tension reçue du CNA vaut 0.5V. Dans ce cas, la tension se situe dans l'encadrement bleu.

Pour déterminer dans quel encadrement se trouve la tension envoyée, il faut la comparer avec notre échelle de tension. Pour cela, on utilise le montage amplificateur opérationnel comparateur :



Ce montage compare les deux tensions qui lui sont envoyées dans les bornes d'entrée E+ et E-. On observe que :

- Quand la tension à la borne E- est supérieure à la tension à la borne E+, l'ampli op génère une tension négative qui vaut dans le cas suivant environ -7V.
- Quand la tension à la borne E- est inférieure à la tension à la borne E+, l'ampli op génère une tension positive qui vaut dans le cas suivant environ +7V.
- Quand la tension à la borne E- est égale à la tension à la borne E+, l'ampli op ne génère aucune tension (0V).

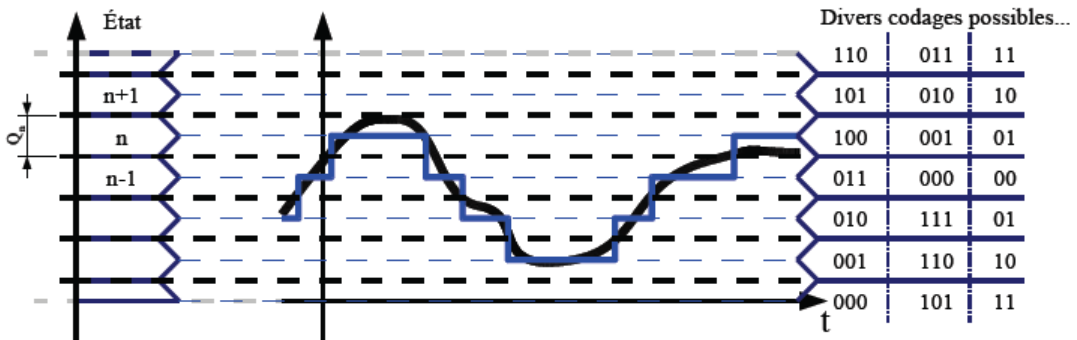


Si on relie la tension divisée provenant du pont diviseur à la borne E- de l'ampli op, et qu'on relie la tension de sortie du CNA à la borne E+, on compare ainsi notre tension analogique à une tension qui limite un encadrement, on peut ainsi situer dans quel encadrement se situe la tension analogique.

Ensuite on rajoute des diodes pour rendre visible le résultat de la comparaison, si la diode s'allume c'est que la tension de sortie de l'ampli op est positive, donc que la tension à la borne E- est inférieure à la tension à la borne E+, de ce fait la tension qui provient du CNA est plus grande que la tension divisée par le pont diviseur.

A ce stade du montage, nous avons réalisé la quantification du signal analogique. Le nombre de diodes allumées correspond à la quantification. L'étape suivante correspond au codage de cette quantification.

- Le codage : associer un nombre binaire à chaque état.



Pour réaliser ce codage, il nous faut utiliser les portes logiques.

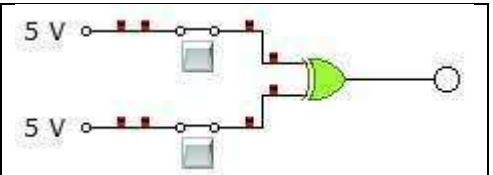
Les portes logiques ont un fonctionnement simple, elles reçoivent en entrée 2 tensions de 6V maximum. Si la tension d'entrée est comprise entre 0V et 2,5V exclu, elle sera interprétée comme la valeur logique 0 et comme la valeur logique 1 si elle est comprise entre 2,5V et 6V. La tension de sortie est soit 0V pour représenter la valeur logique 0 soit 5V pour représenter la valeur logique 1. On peut représenter le comportement des portes logiques par des tableaux appelés tables de vérité.

Nous représentons ci-dessus la table de vérité de la porte logique OU :

| Entrée 1 | Entrée 2 | Sortie |
|----------|----------|--------|
| 0        | 0        | 0      |
| 0        | 1        | 1      |
| 1        | 0        | 1      |
| 1        | 1        | 1      |

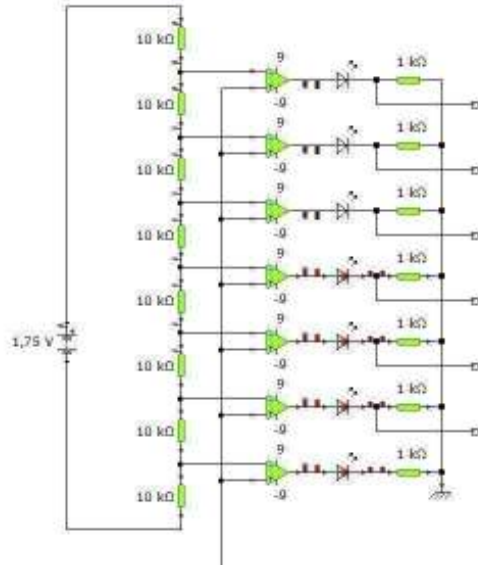
Nous représentons ci-dessus la table de vérité de la porte logique OU exclusif :

| Entrée 1 | Entrée 2 | Sortie |
|----------|----------|--------|
| 0        | 0        | 0      |
| 0        | 1        | 1      |
| 1        | 0        | 1      |
| 1        | 1        | 0      |



Il existe d'autre type de portes logiques mais nous nous contenterons de ces deux là car elles suffisent pour réaliser notre codage.

Avant de placer les portes logiques, il convient d'adapter la tension pour les portes logiques. On rajoute donc une résistance après la diode et on prend la tension divisée entre les deux. Si on prend des résistances de 1kΩ, la tension rentre bien dans les valeurs acceptées par les portes logiques.



Le montage est donc prêt à accueillir les portes logiques.

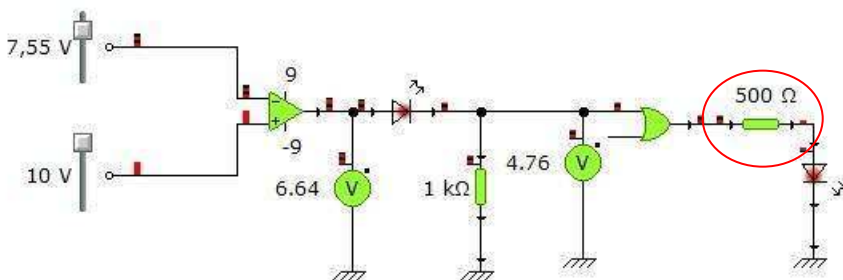
A la suite des portes logiques, on place des diodes qui vont symboliser le nombre binaire, ainsi quand une diode est allumée, elle représente un bit égal à 1, et quand elle est éteinte, elle représente un bit égal à 0.

Pour déterminer les portes logiques, nous n'avons pas utilisé de méthode purement mathématique, mais plutôt expérimentale. Nous avons résonné avec des conditions, c'est-à-dire que nous avons relié le CNA au CAN en cours d'élaboration et nous avons regardé quelles diodes (celles situées juste après les amplis op) s'allumaient avec tel ou tel nombre binaire (représenté par les interrupteurs dans le CNA) et nous avons ainsi pu déterminer des conditions avec les diodes pour savoir quand les bits du nombre binaire sont égaux à 1 ou 0.

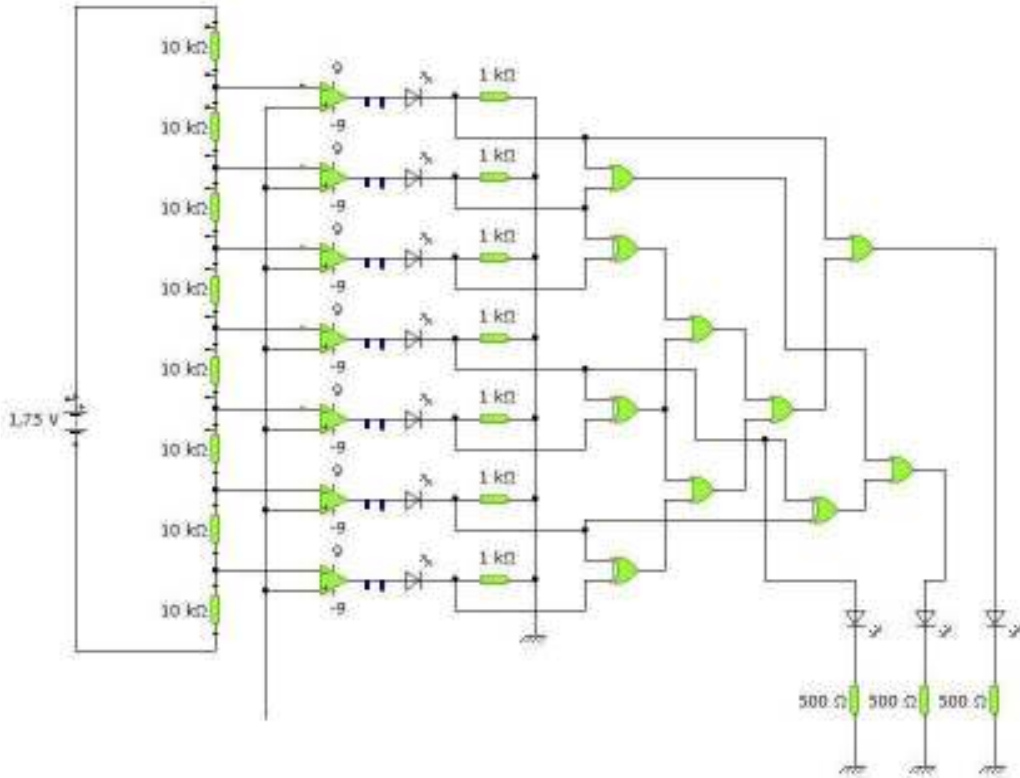
Avec notre exemple, 111 :

Toutes les tensions aux bornes des amplis op sont interprétées comme les valeurs logiques 1 donc au final, on a 3 tensions de 5V qui vont allumer les 3 diodes symbolisant les 3 bits : 111.

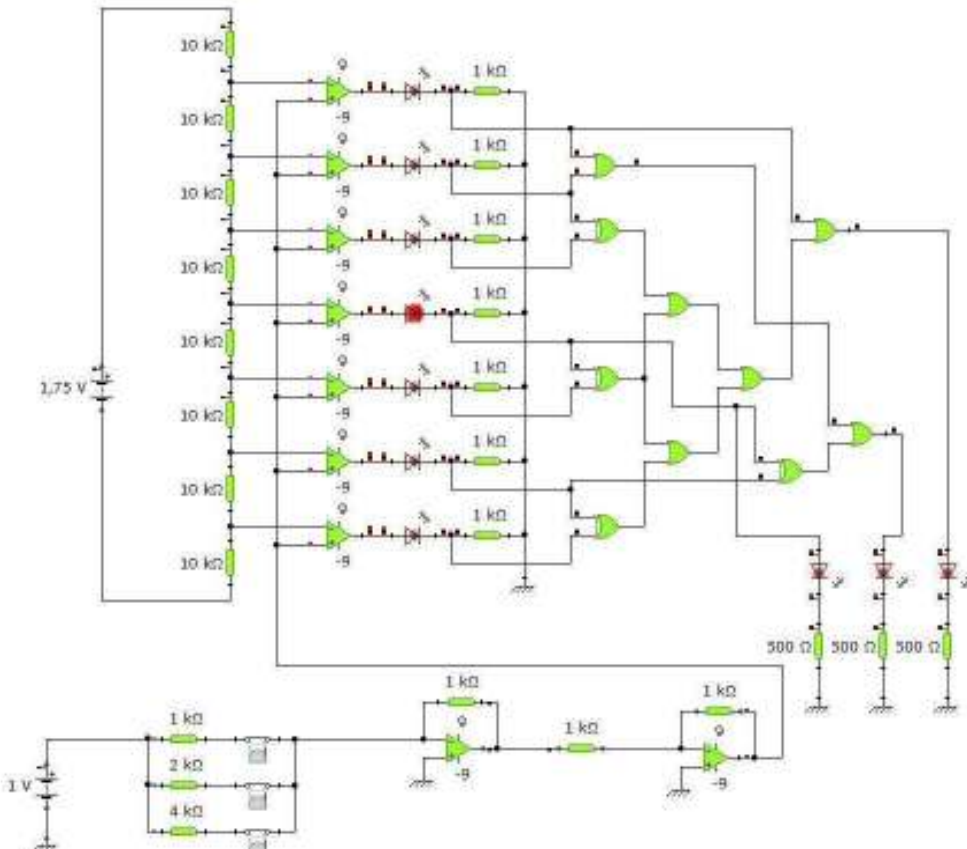
On ajoute une résistance pour réduire l'intensité à un niveau supportable par la diode et la porte logique.



On obtient finalement le montage suivant :



Pour tester notre CAN, on le relie au CNA précédemment réalisé et on vérifie la correspondance entre le nombre binaire représenté par les 3 interrupteurs dans le CNA et le nombre binaire représenté par les 3 diodes dans le CAN :



**Conclusion :**

La correspondance est bonne, notre CAN est fonctionnel en simulation, comme pour le CNA et pour prouver que la conversion analogique numérique est bien possible, il nous reste à réaliser le montage en réalité.

## IV. Le montage dans la réalité

### a. Réalisation du montage

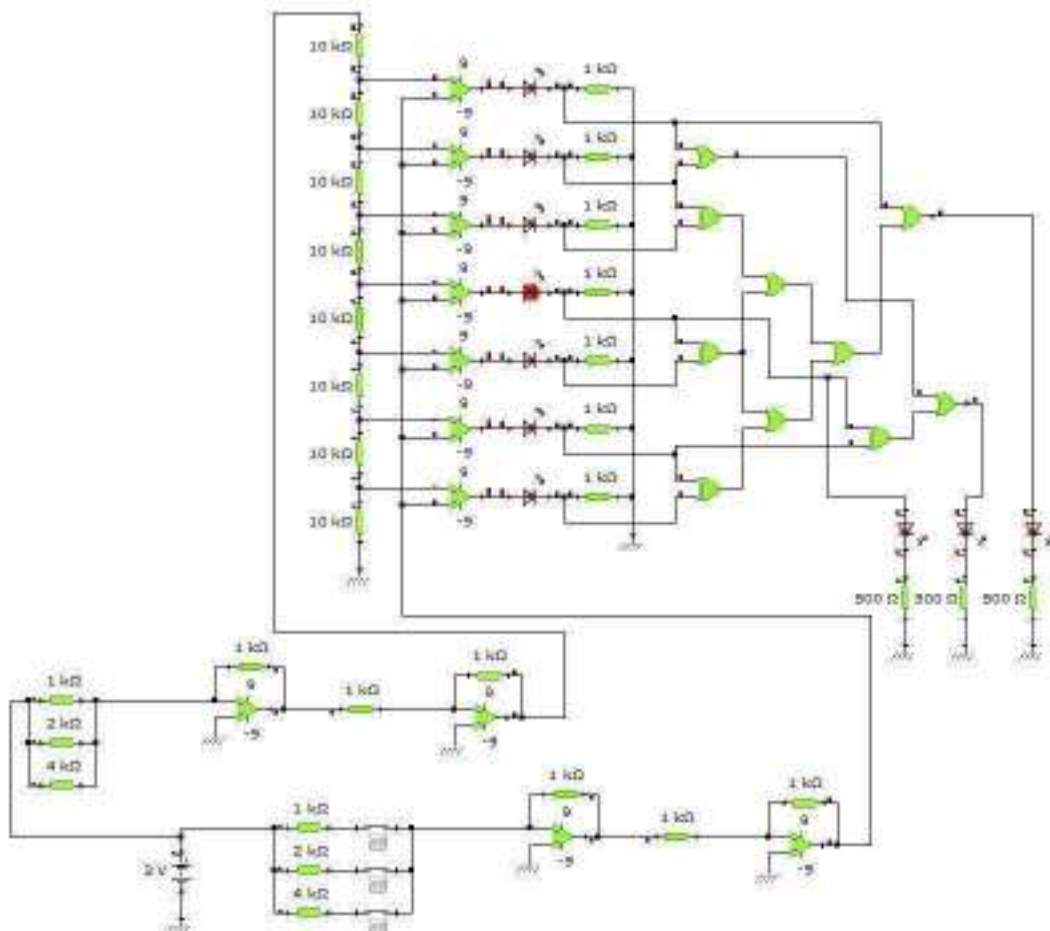
Lors de la réalisation du montage avec de vrais composants, nous nous sommes heurtés à un problème majeur : Nous n'arrivons pas à obtenir une tension de référence pour le CAN assez précise avec un générateur. Nous avons alors réalisé que si nous avions choisi une tension de 1V pour le CNA, c'est pour que l'ampli op ne sature pas, or nous avons prévu en simulation d'utiliser des amplis op alimentés en +9V et -9V. Mais maintenant, nous utilisons des amplis op alimentés en +15V et -15V donc on peut se permettre d'augmenter la tension sans que l'ampli op ne sature. Avec les générateurs que nous disposons, on peut obtenir au minimum 3V en continu, on teste donc si l'ampli op sature avec une tension de départ de 3V. Et surprise on constate que non, il ne sature pas. On décide donc d'utiliser une tension de 3V.

Maintenant, on réfléchit à comment obtenir la tension de référence du CAN.

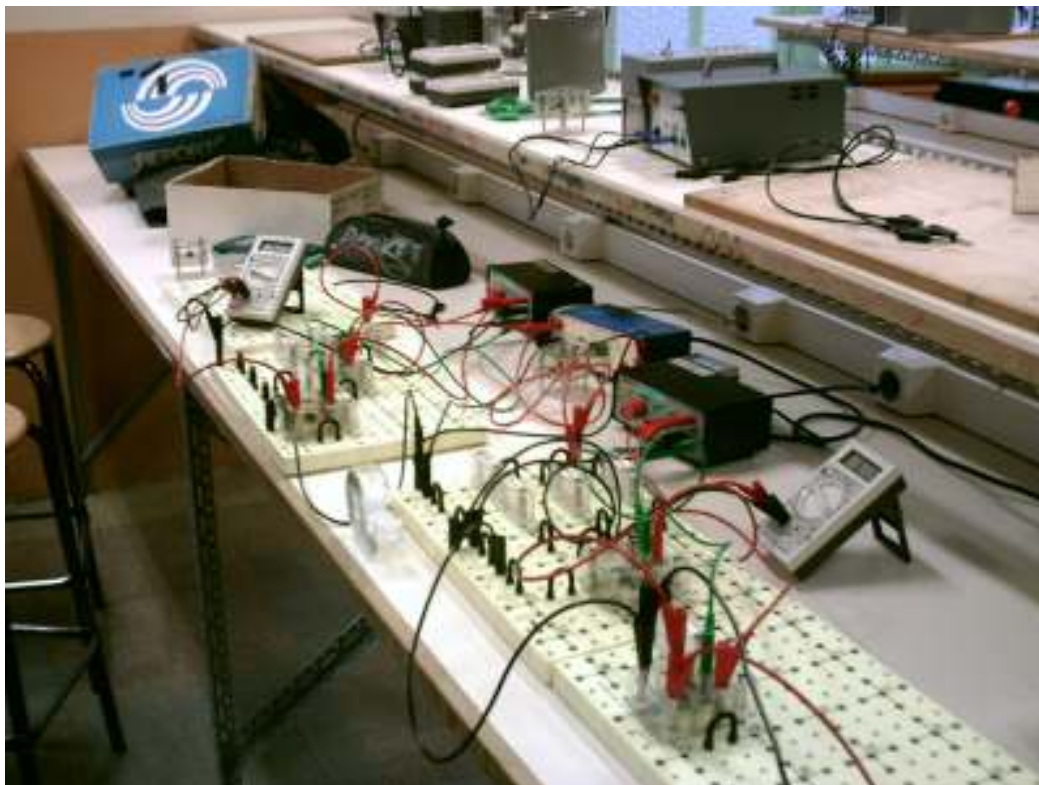
On sait que celle-ci correspond à la plus grande tension de sortie du CNA (voir partie sur la réalisation du CAN). Il nous vient alors une idée, si on reproduit le CNA dans sa configuration où il génère la plus grande tension, c'est-à-dire quand les trois interrupteurs sont fermés, on obtient la tension de référence qu'il nous faut !

Pour que cette tension soit bien la même que le véritable CNA, on utilise une seule alimentation pour les deux montages (le vrai CNA et celui qui génère la tension de référence du CAN), ainsi, si le générateur ne génère pas précisément du 3V, ce n'est pas grave puisque la différence de tension se répercute sur les deux montages.

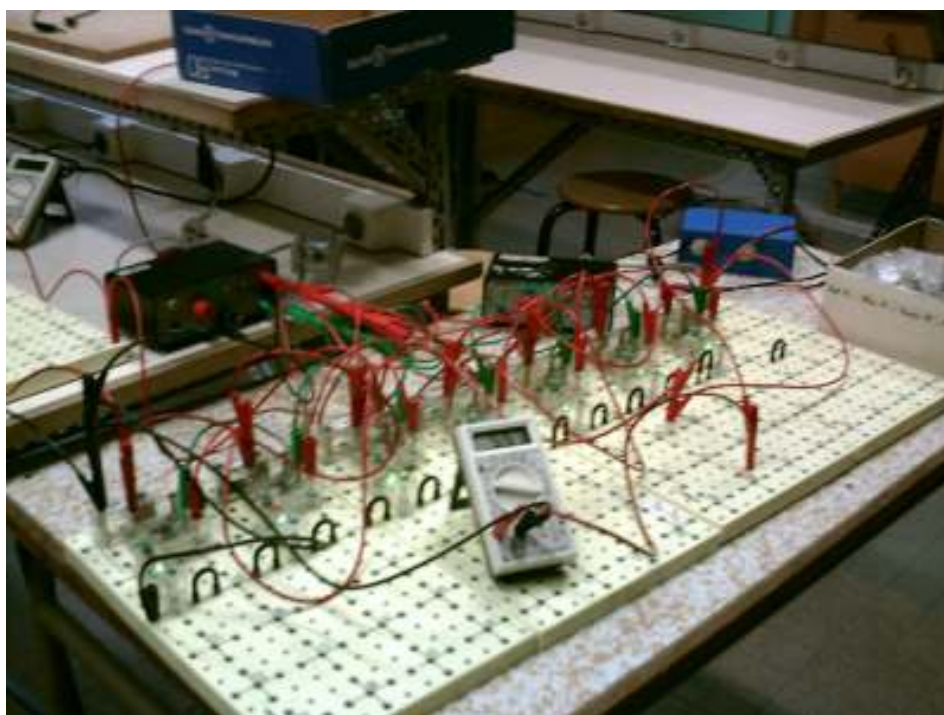
On réalise donc ce montage :



Montage final



*Le convertisseur numérique-analogique*



*Le convertisseur analogique-numérique*

Notre idée est bonne, le CNA et le CAN fonctionnent dans la réalité et non plus seulement en simulation !



## b. Critique des résultats

Notre montage est fonctionnel, la conversion numérique-analogique et analogique-numérique a bien fonctionné. Néanmoins notre montage ne reste qu'un modèle expérimental et à défaut de matériel, de place et de miniaturisation des composants disponibles, nous avons été obligés de choisir un nombre binaire de 3 bits. Certes nous avons pu prouver que les 2 conversions citées plus haut sont faisables, mais à petite échelle... En est-il vraiment de même à plus grande échelle, quand le nombre de bits augmente ? Est-ce que le type de convertisseur que nous avons réalisé pour une conversion 3 bits pourrait être utilisé à plus grande échelle ? Ces questions sont intéressantes, mais notre but était bien de prouver la faisabilité de cette conversion, ce que nous avons réussi. Pour l'instant, nous ne disposons pas d'assez de temps pour approfondir notre étude, nous allons donc pour l'instant nous contenter de nos résultats actuels.

De plus, la solution que nous avons décrite dans la partie réalisation du montage n'est pas parfaite car pour qu'elle fonctionne, il faut que les amplis op utilisés amplifient de la même manière que ceux présents dans le CNA, ce qui est plutôt difficile à obtenir du fait de l'imprécision des amplis op.

## V. Conclusion sur le modem

Nous sommes partis d'une constatation : Le modem était présent dans le system Arpanet et Internet. Cela nous a intrigué, nous avons donc posé la problématique suivante :

### En quoi le modem classique était-il indispensable à la communication entre un ordinateur et Internet ?

Nous avons commencé par chercher quel type de données passe par le câble téléphonique. Après avoir fait une expérience sur la nature de ces données, nous avons découvert qu'elles étaient analogiques. Ensuite nous avons cherché à savoir quel type de données l'ordinateur est capable de comprendre. D'après nos connaissances, nous avons réussi à déduire que l'ordinateur fonctionnait en binaire, il n'est donc capable de comprendre que les données numériques.

A partir de ces observations, nous avons émis une hypothèse quant à la fonction du modem classique :  
Si de chaque cotés du modem le type de données est différent, c'est que le modem joue le rôle de convertisseur.

Après avoir réalisé en simulation un montage capable de convertir les données numériques en données analogiques et les données analogiques en données numériques, nous sommes passés à la réalisation de ce montage dans la réalité. Nous avons rencontré des difficultés auxquelles nous avons remédié. Nous avons réussi à faire fonctionner ce montage, et cela prouve une chose, la conversion analogique-numérique et numérique analogique est effectivement réalisable. Puisque cette conversion est bien possible, c'est que le modem classique est bel et bien un convertisseur, sinon l'ordinateur et internet seraient totalement incapables de communiquer entre eux.

Notre hypothèse est donc validée. Le modem classique était indispensable à la communication entre un ordinateur et internet car il servait de convertisseur analogique-numérique pour que l'ordinateur puisse comprendre les données provenant du câble téléphonique et de convertisseur numérique-analogique pour transmettre les données émises par l'ordinateur sous forme analogique dans le câble téléphonique.

De nos jours, le modem classique n'est plus indispensable. Et pour cause, la technologie a progressé. Il est maintenant possible d'envoyer des données numériques par le câble téléphonique et ce grâce à la nouvelle génération de modem appelés « box ». Il est même possible de recevoir la télévision en même temps que l'internet et le téléphone grâce à ces petits boîtiers révolutionnaires. Et la science n'est pas prête de s'arrêter là car la recherche des débits les plus rapides amène une constante évolution des technologies en matière de transports de données...

## VI - Chaîne d'acquisition

Le modem est donc un convertisseur analogique-numérique et numérique-analogique. Dans ce cas, **le modem ne pourrait-il pas être utilisé dans un autre domaine qu'internet ?**

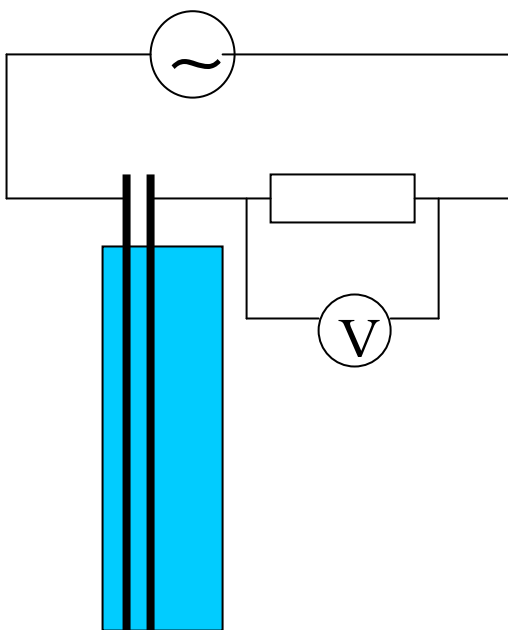
Il est vrai que dans le langage courant, le modem désigne un appareil qui connecte l'ordinateur à Internet. Et c'est d'ailleurs la première réponse qui vient à l'esprit quand on demande à quoi sert un modem.

Nous allons donc tenter d'utiliser le modem dans une chaîne d'acquisition. Nous utiliserons notre CAN pour convertir une donnée analogique en numérique pour pouvoir envoyer l'information sur un ordinateur.

La grandeur à mesurer que nous avons choisie est un volume d'eau de pluie de récupération par exemple.

Pour pouvoir utiliser notre modem, il faut que la grandeur analogique soit une tension. Nous réalisons donc le calcul du volume par conductimétrie.

Nous prenons 2 sondes en aluminium, une éprouvette de 1L et de l'eau de pluie, et un générateur de tension alternative pour éviter le phénomène d'électrolyse au niveau des électrodes.



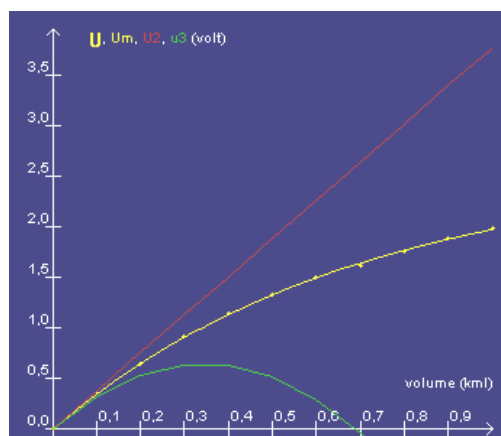
Ainsi nous faisons varier une intensité électrique en fonction de la quantité d'eau. En effet, plus il y a d'eau plus le courant peut passer. Pour obtenir une tension, il nous suffit de placer une résistance dans le montage. Avec la loi d'Ohm,  $U=R.I$ , notre résistance ne variant pas, la tension aux bornes de la résistance est donc proportionnelle à l'intensité dans le circuit.

A l'aide d'un GBF, nous générons une tension de 4.5V.

Nous utilisons une résistance équivalente de 66 Ohms car elle nous permet d'obtenir des tensions adéquates pour notre CAN.

Ensuite nous mesurons la tension tous les 100mL

| Volume (mL) | Tension (V) |
|-------------|-------------|
| 000         | 0.00        |
| 100         | 0.36        |
| 200         | 0.64        |
| 300         | 0.91        |
| 400         | 1.15        |
| 500         | 1.33        |
| 600         | 1.50        |
| 700         | 1.61        |
| 800         | 1.75        |
| 900         | 1.88        |
| 1000        | 2.00        |



Nous constatons avec grand étonnement que les tensions obtenues forment une exponentielle croissante (courbe jaune)

Nous pensions obtenir une droite car nous avons cru que la tension serait proportionnelle au volume d'eau, pensant qu'il n'y avait qu'un seul facteur qui varierait : la surface des sondes immergées.

Or nous constatons que ce n'est pas proportionnel. Certainement du fait d'un facteur que nous n'avons pas pris en compte.

Mais cela ne nous dérange pas, même si la détermination du volume sera un peu moins précise.

Nous définissons notre pas de quantification pour le CAN :

$$Q = U_{\max} / \text{nombre\_encadrements} = 2/8 = 0.25V$$

Puis on détermine les nombres binaires qu'on obtient en fonction du volume :

| Volume (mL) | Nombre binaire |
|-------------|----------------|
| 000         | 000            |
| 100         | 001            |
| 200         | 010            |
| 300         | 011            |
| 400         | 100            |
| 500         | 101            |
| 600         | 101-110        |
| 700         | 110            |
| 800         | 110-111        |
| 900         | 111            |
| 1000        | 111            |

On remarque que pour 600 et 800mL le nombre binaire peut être double du fait que la tension obtenue est égale à une des tensions qui délimite un encadrement et que par conséquent et à cause des imprécisions de la conductimétrie, on ne sait pas lequel de ces 2 nombres binaires va correspondre au volume.

Avec les nombres binaires qu'on obtient, on peut déterminer le volume comme étant dans l'un des encadrements suivants :

100mL < Volume < 200mL

200mL < Volume < 300mL

300mL < Volume < 400mL

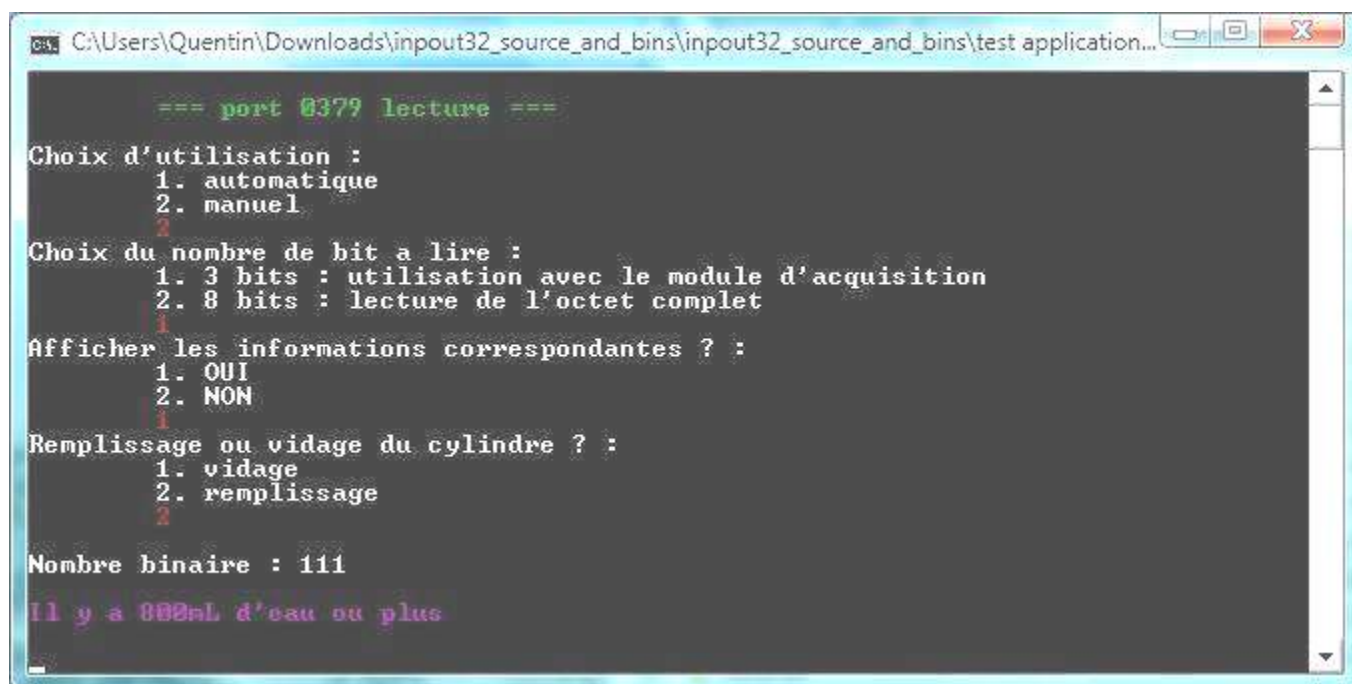
400mL < Volume < 500mL

500mL < Volume < 700mL

600mL < Volume < 900mL

Volume > 800mL

Pour que notre chaîne d'acquisition soit complète, on tente d'envoyer le nombre binaire à l'ordinateur par l'intermédiaire d'une petite carte d'acquisition de 3 bits et d'un petit logiciel maison en console dont voici une capture d'écran en fonctionnement :



```
C:\Users\Quentin\Downloads\inpout32_source_and_bins\inpout32_source_and_bins\test application...

=== port @379 lecture ===

Choix d'utilisation :
 1. automatique
 2. manuel
2

Choix du nombre de bit a lire :
 1. 3 bits : utilisation avec le module d'acquisition
 2. 8 bits : lecture de l'octet complet
1

Afficher les informations correspondantes ? :
 1. OUI
 2. NON
2

Remplissage ou vidage du cylindre ? :
 1. vidage
 2. remplissage
2

Nombre binaire : 111
Il y a 888mL d'eau ou plus
```

## VII. Conclusion sur la chaîne d'acquisition

Nous avons réussi à mesurer un volume d'eau (grandeur physique), par conductimétrie nous avons ensuite utilisé notre modem pour convertir la tension analogique obtenue en nombre binaire qu'on a envoyé à l'ordinateur pour pouvoir déterminer le volume d'eau. La chaîne d'acquisition est complète. Notre but était de montrer la diversité d'utilisation du modem, ce que nous avons réussi en montrant que le modem était aussi présent dans d'autres domaines que l'internet. Ainsi le modem est de nos jours fort utilisé pour la traçabilité des données. En effet, il est plus avantageux de stocker les données sur des supports numériques qui sont aujourd'hui fortement répandus. Le modem permet alors de passer de l'analogique au numérique et ensuite de traiter ou stocker numériquement les données sur ordinateur...

## VIII. Bibliographie

Cours de MPI de Seconde  
Encyclopédie Universalis  
Encarta 99  
Science et Vie Junior n°201 Juin 2006 T01409

### Sites web:

Wikipédia: [http://fr.wikipedia.org/wiki/Pagina\\_principale](http://fr.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale)  
<http://www.stielec.ac-aix-marseille.fr>  
<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=10886>  
<http://www.commentcamarche.net/contents/base/binaire.php3>  
[http://ylescop.free.fr/stien/CNA\\_principes.pdf](http://ylescop.free.fr/stien/CNA_principes.pdf)  
<http://www.commentcamarche.net/contents/base/binaire.php3>  
[http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/physique/elec/chap\\_can1.htm](http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/physique/elec/chap_can1.htm)  
<http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/index.htm>  
<http://eduscol.education.fr/D0030/c0tp13of.htm>  
<http://digidownload.libero.it/marthinet/0607/Se%CC%81ance%2018/correction18.pdf>  
<http://site.voila.fr/FASTOCHE/AmplificateurOperationnel/amplificateuroperationnel.htm>  
<http://www.stielec.ac-aix-marseille.fr/electrotech/cours.htm>  
[http://ylescop.free.fr/stien/CNA\\_principes.pdf](http://ylescop.free.fr/stien/CNA_principes.pdf)  
<http://www.commentcamarche.net/contents/format/analog.php3>  
<http://www.ac-grenoble.fr/webcurie/pedagogie/physique/mpi/seance10/mestens.htm>  
<http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/tribollet/SiteAmpliOp/C9-AmpliReel.html>  
[http://alexsoft.chez-alice.fr/cours/cm12.htm#\\_Toc452175350](http://alexsoft.chez-alice.fr/cours/cm12.htm#_Toc452175350)  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Quantification\\_\(signal\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Quantification_(signal))  
<http://eduscol.education.fr/D0030/c017bf.htm>  
<http://balderacchi.info/3/red.pdf>  
<http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e06trans.htm>

## Remerciements

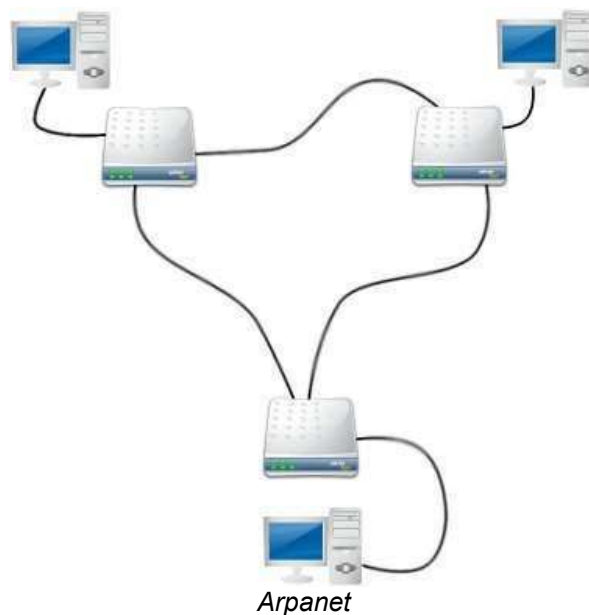
Nous tenons à remercier M. Thibaut qui a consacré beaucoup de son temps, sans qui nous n'aurions pas eu l'opportunité de participer aux olympiades de physique et avec qui nous avons eu la chance d'être soutenus, ainsi que M. Rousseau pour ses explications et ses informations précieuses. Nous remercions aussi toutes les personnes qui ont contribué plus ou moins fortement à la bonne réalisation de notre projet...

Nous tenons à remercier par ailleurs nos parents respectifs qui nous ont supportés avec patience, nous ont déplacés en voiture à chaque séance de travail et qui se sont levés à des heures indues pendant les vacances...

## IX. Annexe

### Un peu d'histoire...

L'émergence d'un réseau entre plusieurs postes informatiques provient de l'ancêtre d'Internet : **Arpanet**. Ce réseau de communication créé par le ministère de la défense Américain en 1969 est un acronyme de *Advanced Research Projects Agency Network*. Il relie plusieurs **bases militaires** en Californie et dans l'Utah. Outre les militaires, Arpanet est utilisé par les **chercheurs**. Plus tard en 1970, il s'étend aux **universités et aux entreprises**. Les données étaient transmises par un **circuit dédié** activé lors d'une communication. Chaque poste disposait d'un modem qui reliait ce circuit dédié à l'ordinateur. (Voir schéma ci-dessous)



On voit sur ce schéma que chaque poste est connecté à un modem lui-même relié directement à celui d'un autre poste. Ainsi, à cette époque, un **modem était indispensable** pour se connecter à un réseau (au début Arpanet). Les premiers modems étaient utilisés dans les années 50 pour le réseau du système de défense aérien SAGE aux États-Unis.

Rapidement, de nouveaux raccordements furent bientôt ajoutés au réseau et le nombre de machines connectées devint très vite conséquent :

-En **1974**, le protocole TCP/IP (Transmission Control Protocol et Internet Protocol) est créé pour uniformiser le réseau. Il permet d'attribuer une adresse à chaque ordinateur et instaure un certain nombre de règles pour la transmission des données comme le fractionnement des messages en paquets et l'acheminement des données par routage. Ce système est toujours celui utilisé de nos jours.

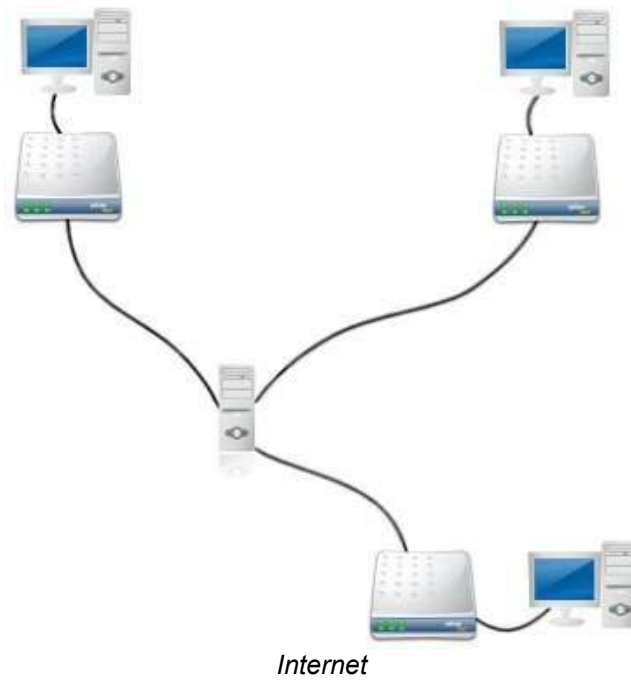
-En **1980**, Arpanet se divise en deux réseaux distincts, l'un militaire (DDN) et l'autre, universitaire (NSFnet), que les militaires abandonnèrent au monde civil.

-En **1984**, DDN et NSFnet comptaient déjà près de 1 000 ordinateurs à travers le monde. Cette même année, le CERN adopte ce réseau pour ses échanges internes. Puis un informaticien du CERN mit en ligne sur le site un ensemble de documents scientifiques rattachés les uns aux autres afin de faciliter les recherches; L'Internet est née.

Internet est simplement une mise au point de l'interface appelée **World Wide Web** qui permet à n'importe quel utilisateur de visualiser plus simplement des pages via un navigateur.

Cette ouverture d'un réseau au grand public a par conséquent grandement répandu le modem dans le monde. Ainsi, pour pouvoir se connecter à Internet, un utilisateur devait posséder un modem.

Ce système nécessite un serveur central. Ce serveur est relié au **réseau téléphonique** : l'utilisateur branche son modem à la prise téléphonique, et relie celui-ci à son ordinateur. (Voir schéma ci-dessous)



Le procédé de se brancher au réseau via la ligne téléphonique avait toutefois quelques défauts : premièrement, il ne permet **pas de se connecter et de téléphoner en même temps**, deuxièmement, la connexion était plutôt **lente**.

L'**ADSL** (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) était alors utilisé pour recevoir la télévision par le câble téléphonique. Mais le développement d'Internet lui a donné une autre fonction. Grâce à cette technologie, un utilisateur peut alors se connecter au réseau Internet **sans occuper une ligne téléphonique** et sa vitesse de connexion est améliorée. Les modems classiques ont par conséquent disparus du marché au profit des **modems ADSL**. Ces nouveaux modems présentent des fonctionnalités différentes des anciens, on les appelle « Box ».