

ESTACA Space Odyssey

# Bases d'électronique de télémesure

08/02/2002  
màj 02/2003  
ajout 02/2005

# Sommaire

<b>INTRODUCTION</b> .....	3
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	3
<b>CONDUITE DE PROJET</b> .....	4
<b>LES 10 COMMANDEMENTS</b> .....	5
<b>REALISER DES CARTES</b> .....	6
Les plaques d'essais .....	6
Les plaques « Véroboard » .....	6
Les techniques d'attaque chimique.....	6
L'étamage à froid ou comment joindre l'esthétique au fonctionnel.....	7
<b>L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL</b> .....	8
A quoi ça sert ?? .....	8
Comment ça marche ??.....	8
Différents montages.....	10
<b>LES SEQUENCEURS ELECTRONIQUES</b> .....	12
A quoi ça sert ?? .....	12
1 : Dispositif réglable en temps.....	12
2 : Dispositif de déclenchement non minuté.....	15
<b>TELEMESURE</b> .....	16
A quoi ça sert ?? .....	16
Comment ça marche ??.....	16
Télémesure Analogique : Norme IRIG.....	18
Le VCO XR 2206 .....	20
Télémesure Numérique : Norme FSK .....	22
Les Filtres de Butterworth : .....	25
Modulateur FSK & XR 2206.....	26
<b>ASTUCES</b> .....	27

# INTRODUCTION

Le présent document s'adresse à tous les membres de l'ESO qui souhaitent découvrir l'électronique ou approfondir leur connaissance dans un domaine particulier. Pour les parties séquenceur et télémètre, ce document ne se substitue en aucun cas au cahier des charges édité par l'ANSTJ.

Bien connaître les composants est une condition nécessaire à la conception et à la réalisation des montages électroniques. D'ailleurs, au stade des spécifications, la loi de Murphy (loi de la tartine beurrée ou de l'em...bêtement maximum) supplante la loi d'Ohm. En d'autres termes, la meilleure théorie ne remplacera jamais la pratique.

L'objectif de ce document est donc dans un premier temps de présenter les composants électroniques sous un aspect pratique, puis de les insérer dans des montages propres aux clubs aérospatiaux (séquenceur, télémètre...).

Ce document regroupe les créations de plusieurs auteurs.

Citons notamment Vincent Girard (Aop & télem), Sébastien Joannès (méthodes), Sébastien Belin (astuces),...

# REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont permis de réaliser ce document, que ce soit par les connaissances qu'ils nous ont transmises, par leurs éclaircissements ou encore par leur simple avis.

Nous adressons une mention particulière à Stéphane PIERRE-JEAN alias « Lapin » et Alain DARTIGALONGUE.

# CONDUITE DE PROJET

L'électronique doit être considéré comme un assemblage de « Mécano ». Il y a des règles à respecter (cf « les 10 commandements pour réussir en électronique ») et le montage doit s'effectuer avec beaucoup de rigueur. Tout comme les pièces « Mécano », la taille et la forme des composants sont normalisées. L'unité de longueur retenue n'est pas le millimètre mais le 10<sup>ème</sup> de pouce c'est à dire 2,54 mm (Eh oui, encore un coup des anglo-saxons).

Plusieurs étapes sont nécessaires pour mener à bien un projet d'électronique. Le temps consacré à la recherche de documentation et à la retranscription soigneuse des schémas ne sera jamais perdu. Aussi, il convient d'étudier les conditions d'emploi des composants avec le plus grand soin.

La première étape consiste à définir clairement le besoin en terme de fonctions. Il s'agit ensuite de rechercher de la documentation et recenser toutes les manières possibles de réaliser la ou les fonctions. Il est alors possible de réaliser quelques tests sur plaque d'essai pour s'assurer du fonctionnement de tel ou tel composant (en aucun cas, il ne faut commencer à tester le montage en entier).

La deuxième étape permet de retranscrire sur un schéma de principe la solution la plus adéquat pour le projet. Il s'agit de découper le montage en différents modules dont la combinaison permet de remplir la ou les fonctions désirées (module déclenchement, module génération de signal, module comptage...). Une étape de tests à plus grande envergure peut commencer en utilisant des plaques bakélites à bandes cuivrées (« Véroboard ») et en s'assurant que chaque module remplit bien sa fonction.

La troisième étape consiste à finaliser le schéma de principe tout en vérifiant que le montage global (assemblage des différents modules) fonctionne bien comme il faut. Il convient ensuite d'étudier l'intégration de l'électronique dans la fusée, c'est à dire l'agencement des composants sur la carte (zones de fixation ou zones indisponibles) et les dimensions utilisables par l'électronique en accord avec la conception mécanique.

Cette étape terminée, il ne reste (plus) qu'à router, insoler, percer, souder, tester et admirer.

Pour ceux qui comprendraient autant ces quelques paragraphes qu'une conférence en dialecte bantou non sous-titrée, il est vivement recommandé de lire le livre de Pierre Mayé « connaître les composants électroniques » disponible auprès du responsable électronique.

# LES 10 COMMANDEMENTS

Règles générales pour réussir en électronique :

- 1 Jamais tu ne paniqueras devant un schéma car si simple est la lecture.
- 2 Jamais pressé de finir tu n'attaqueras cette entreprise.
- 3 D'un multimètre tu t'équiperas car en cas de doute tu mesureras.
- 4 Toujours propre ton fer à souder tu garderas.
- 5 Support de circuit intégré tu utiliseras.
- 6 En cas de doute jamais tu ne souderas, mais les bonnes questions tu poseras.
- 7 Vérifier, vérifier et contre vérifier tu t'appliqueras.
- 8 Pas plus de 5 secondes le composant tu ne chaufferas, car courte connaissance tu auras fait avec lui.
- 9 Jamais tu ne blasphèmeras lors d'essais infructueux, je n'y suis pour rien ;, la boulette restera tienne.
- 10 Grande sera ta satisfaction quand première fois tu utiliseras ce montage.

# REALISER DES CARTES

## Les plaques d'essais

Elles se présentent sous la forme de plaques en plastique avec de petits trous reliés entre eux (connections visibles dessous). Les composants les plus variés peuvent y être enfichés. Vous y réalisez des connections en « pontant » avec du fil monobrin.

Avantages et inconvénients :

- câblage rapide sans aucune soudure,
- compatible avec les C.I.
- risques de courts-circuits ou de contacts malencontreux,

## Les plaques « Véroboard »

Sous ce nom barbare se cachent des plaques de résine rigide, sur lesquelles sont déposées des pistes en cuivre pré-percées de trous pour les pattes de composants.

Il en existe de deux types : les « à bandes » et les « à pastilles ».

- Sur les plaques « à bandes », on implante ses bêtes, on soude et on isole les portions de bandes cuivrées en les grattant au cutter ou avec une mini perceuse et une fraise. On peut dessouder sans décoller le cuivre !
- sur les plaques « à pastilles », vous devez réaliser des « ponts » de soudure (pâtés et bavures en perspectives) entre les pastilles pour matérialiser les fils de votre circuit. En cas de réchauffe pour désoudage, vous risquez d'ôter la pastille cuivrée.

Avantages et inconvénients :

- légèreté,
- dimensionnable à volonté,
- opérations de grattage dangereuses,

## Les techniques d'attaque chimique

La technique suivante est très couramment utilisée dans deux variantes. Elle peut également être employée en simple ou double face. Elle demande une attention particulière en raison de l'emploi de produits chimiques hautement corrosifs et agressifs pour nous ou l'environnement.

### Méthode de base

Vous avez besoin du matériel suivant :

- plaque de résine époxy ou bakélite recouverte d'une couche de cuivre métallique. La bakélite est à déconseiller car trop friable.
- perchlorure de fer ( $\text{FeCl}_3$ ),
- bac en plastique et gants

Cette technique consiste à attaquer la plaque sur laquelle seront préalablement dessinées et masquées des pistes. Lors du bain dans le perchlorure (très salissant !), les parties protégées resteront cuivrées, tandis que les autres auront été rongées donc mises à nu. Il faut faire attention à la durée du bain; à vous d'expérimenter en fonction de vos plaques ! Un truc : en chauffant ou agitant le bain, c'est plus rapide ...

A la fin de l'attaque, rincez à grande eau et nettoyez la plaque à l'éponge abrasive + détartrant ou acétone. Votre circuit est prêt à être équipé : percez, soudez, le tour est joué. N'oubliez pas que le cuivre est conducteur, évitez donc de manipuler le montage sous tension. Il est conseillé de le vernir après avoir implanté les composants.

### Plus Pro : exposé de la méthode

Ce qu'il faut savoir sur « la machine à bronzer les circuits »...

Les lampes à U.V. émettent une lumière agressive, même pour nous, ces rayons vont rendre sensible (soluble) à la soude toute résine exposée, et laisser inerte les zones non exposées : phénomène d'insolation (le soleil brille ... vous saisissez ?).

Entre les rayons U.V. et la résine, intercalons un calque sur lequel on a tracé des traits sombres, alors la résine se trouvant derrière ces traits ne sera pas soluble à la soude ! De là à remplacer les traits par un schéma de circuit électronique, vous avez tout compris !

Fabuleux, non ? Pensez à votre appareil photo, au projecteur de diapos, aux ombres chinoises, c'est pareil !

Revenons à nos moutons. Vous posez votre calque sur la vitre, puis la plaque (déjà coupée aux dimensions, adhésif de protection enlevés) puis refermez le couvercle; à partir de la mise en route, comptez environ une dizaine de minutes, variable selon les résines et la superficie.

Après l'insolation, le calque peut (c'est ça l'avantage) resservir. Vous devez tremper la plaque sensibilisée dans un bain d soude (gants obligatoires), puis la rincer à l'eau. Vous voyez alors apparaître le cuivre, sauf aux endroits masqués par les dessins du calque. Là aussi, faites des échantillons. Si vous utilisez de la lessive de soude (c'est moins cher), il faut la diluer dans l'eau à 1 pour 10. Si la solution est trop concentrée en soude, elle va attaquer toute la résine, même celle n'ayant pas été insolée !

La suite ressemble à du déjà vu. La plaque est trempée dans le perchlore, puis au bout du délai de rigueur, rincée. Normalement, vous avez attaqué le cuivre découvert, tandis que celui protégé par la résine est resté intact; enlevez maintenant la dite résine (éponge abrasive + acétone): le circuit est prêt à être câblé.

## **L'étamage à froid ou comment joindre l'esthétique au fonctionnel**

Une fois votre belle plaque réalisée, mais avant d'avoir soudé vos composants, il vous est possible pour le plus grand plaisir des petits et des grands, d'effectuer une superbe opération. En effet, une fois la plaque bien rincée et décapée, vous pouvez la plonger dans un bain d 'Etamage (solution d'étamage à froid devant coûter dans les 80 fr- 12 euros- la bouteille). Au bout de quelques minutes, vous aurez une belle plaque couleur argentée. Le dépôt chimique ayant eu lieu pendant le bain aura trois avantages :

- il évitera une oxydation du cuivre, source de faux contacts lors des soudures,
- il facilitera la soudure de vos composants,
- il vous offrira un aspect très propre d'un esthétisme certain.

# L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

## A quoi ça sert ??

Les amplificateurs opérationnels sont des composants électroniques qui permettent de nombreuses opérations sur les signaux. Son nom indique clairement ses 2 objectifs :

- L'amplification de signaux
- Les opérations sur les signaux

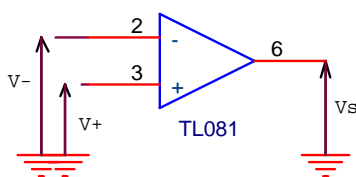
Le but de l'amplification de signaux est d'obtenir en sortie de l'A.O. (Amplificateur Opérationnel) un signal dont l'amplitude est amplifiée, c'est-à-dire modifiée. On peut avoir une amplification  $>1$  (augmentation de l'amplitude) ou  $<1$  (diminution de l'amplitude). Cela sert notamment lors de l'élaboration d'étages d'adaptation pour les capteurs.

Les opérations sur les signaux peuvent être des opérations élémentaires telles que l'addition ou la multiplication, mais ce peut également être des opérations plus complexes telles que la translation, l'intégration, la dérivation, la comparaison, ...

En somme, un A.O. est un composant qui permet de réaliser énormément d'applications dans l'électronique et plus particulièrement dans le domaine des télémesures et des minuteriers que l'on utilise dans les clubs aérospatiaux.

## Comment ça marche ??

Un A.O. est un élément de la famille des quadripôles. En effet, c'est un composant à 2 entrées (+ et -) et 2 bornes de sortie ( $V_s$  et masse). On peut donc le représenter sous la forme suivante (on ne représente pas la masse) :



On a 2 entrées : l'entrée - (inverseuse) et + (non inverseuse). Les signes ne veulent absolument pas dire que les tensions à rentrer doivent être du signe indiqué !!

Le principe de l'Amplificateur Opérationnel est basé sur le fonctionnement de l'ampli différentiel. C'est-à-dire que la tension de sortie est proportionnelle à son entrée. On a la relation suivante :

$$V_s = G.(V_+ - V_-)$$

$G$  est appelé *Gain en tension* de l'amplificateur différentiel.  
La différence des tensions est appelée *tension différentielle*.

Les 2 tensions  $V_+$  et  $V_-$  sont indépendantes l'une de l'autre.

On a alors les propriétés suivantes :

- L'entrée + est en phase avec la sortie :  $V_+$  du même signe que  $V_s$
- L'entrée - est en opposition de phase avec la sortie :  $V_-$  de signe opposé à  $V_s$ .

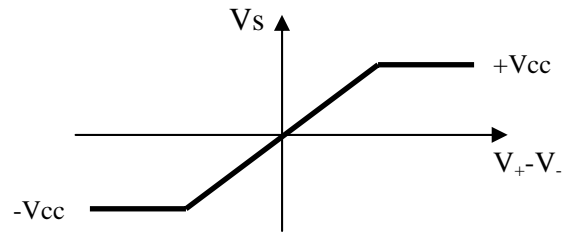


## Saturation :

Si la tension de sortie n'est plus dans l'intervalle formé par les tensions d'alimentation moins un volt (1V) en valeur absolue du composant, on dit que l'Ampli est *saturé*. On note en général, les tensions d'alimentation  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$ . On a donc saturation si on ne respecte pas : 
$$-V_{cc} + 1V < V_s < +V_{cc} - 1V$$

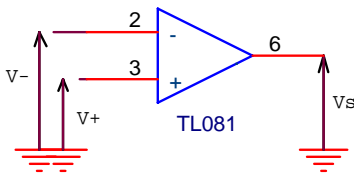
Ce comportement se caractérise par le fait que la tension  $V_s$  prend alors une valeur fixe qui est celle de la tension d'alimentation qu'elle vient de dépasser.

- Si  $V_+ - V_- > +V_{cc} - 1V$ ,  $V_s = +V_{cc}$
- Si  $V_+ - V_- < -V_{cc} + 1V$ ,  $V_s = -V_{cc}$

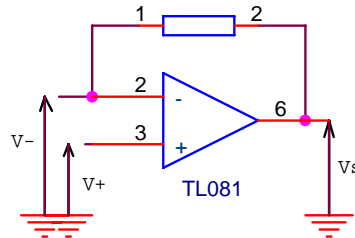


## Contre-réaction

La principale caractéristique de l'Amplificateur Opérationnel est son gain très élevé.  $G$  est alors appelé *Gain en boucle ouverte*. L'A.O. n'est jamais utilisé en boucle ouverte car son gain trop important le rend trop sensible aux parasites, à la température et aux variations de gain en fonction de la fréquence du signal d'entrée. Pour régler le gain, une partie du courant de sortie est ramenée à l'entrée – par un circuit de contre-réaction. Ceci se traduit ainsi :



*Sans contre-réaction*

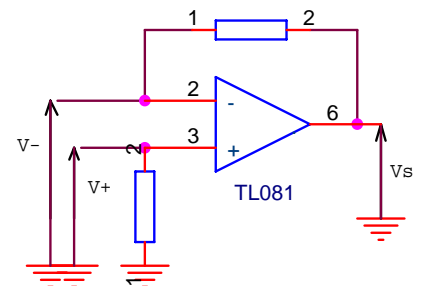


*Avec contre-réaction*

La bande passante de l'Ampli Op est la gamme de fréquence qu'il amplifie avec un gain supérieur à 1.

## Tension d'Offset

Quand les 2 entrées sont à la même tension  $V$ , la tension de sortie doit être nulle, mais ceci n'est jamais réalisé en pratique. On a une tension légèrement supérieure appelée *Tension d'Offset*. Pour compenser le courant d'offset (dû à la tension d'offset), on rajoute une résistance entre la borne + et la masse. On a alors le schéma ci-contre.



## Tensions d'alimentation :

Pour obtenir une tension de sortie référencée à la masse, il faut alimenter l'Ampli-Op à l'aide de 2 sources continues **ayant une masse commune**. On dispose de 2 broches permettant de réaliser ceci. L'une d'elle est  $+V_{cc}$  et l'autre est  $-V_{cc}$ . Il n'est pas forcément nécessaire d'alimenter le composant en symétrique, c'est-à-dire en  $\pm 15V$  par exemple. On peut parfois trouver une alimentation en  $0/+5V$  ou  $0/-18V$  par exemple. Cela dépend de la valeur que l'on veut fixer pour les seuils de saturation de l'ampli.

## Différents composants :

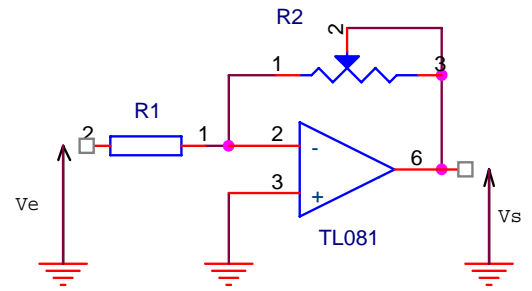
Il existe plusieurs types d'ampli-ops qui seront choisis en fonction de l'utilisation que l'on souhaite faire. Les plus couramment utilisés sont les Ampli-Ops de la famille TL 08x. Le x peut être remplacé par 1, 2, 4, ou 8. Ce chiffre représente le nombre d'Ampli-Ops indépendants présents dans le même composant. Ceux-ci sont utilisés pour tous les montages. Pour le montage de type comparateur, on préférera un LM 393 ou LM 311. En effet, ces Amplis sont spécialement étudiés pour fonctionner en comparateur.

# Différents montages

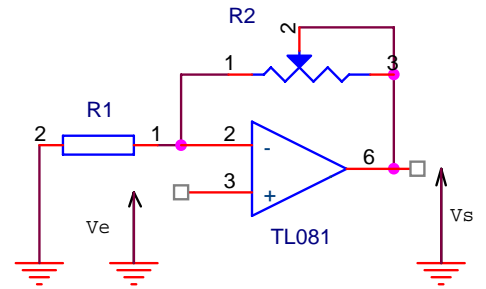
## Amplificateur inverseur

Le Gain est donc  $-R_2/R_1$ . On règle le gain en jouant sur la valeur de  $R_2$ , on peut aussi jouer sur la valeur de  $R_1$ , en inversant résistance et potentiomètre. En fait c'est préférable pour pouvoir passer rapidement à un sommateur. On peut noter qu'alors  $V_s$  est de tension inverse à  $V_e$ .

Ce type de montage est utilisé dès que l'on a besoin de multiplier un signal par une constante. Ce cas se présente notamment dans les chaînes de mesure et notamment dans les conditionneurs de capteurs, au niveau de l'étage de gain.



$$V_s = -\frac{R_2}{R_1} V_e$$



$$V_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_e$$

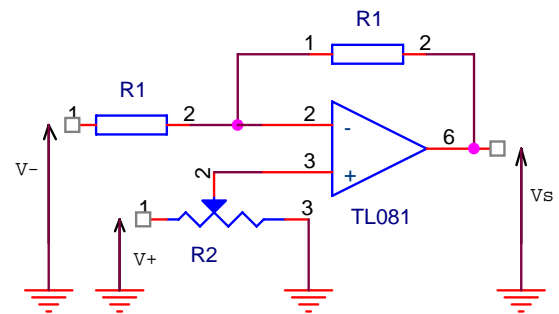
## Amplificateur non-inverseur

Ce type de montage est utilisé dans les mêmes conditions que le premier, mais présente l'avantage de ne pas inverser  $V_s$  par rapport à  $V_e$ .

## Offset

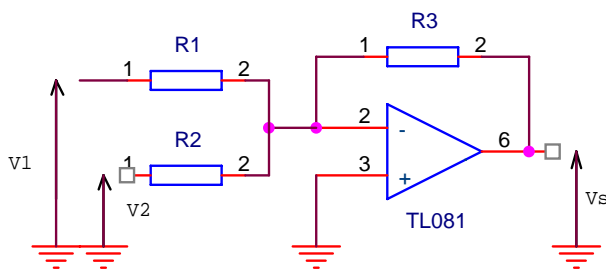
$\alpha$  est le pourcentage de résistance du potentiomètre entre les pattes 1 et 2 du potentiomètre. On applique en général le signal, sur lequel on veut ajouter l'offset, sur l'entrée inverseuse de l'A.O. Le réglage de l'offset se fait en réglant le potentiomètre à l'aide d'un oscilloscope en sortie ou d'un ohmmètre aux bornes du potentiomètre.

Ce type de montage est fait pour ajouter à un signal un décalage. Ceci est utilisé notamment dans les étages d'offset des conditionneurs de capteurs ou dans l'étage d'amplificateur de différenciation des conditionneurs de capteurs (permet de ramener une sortie de capteur en différentiel, i.e. 2 fils à une sortie sur 1fil).



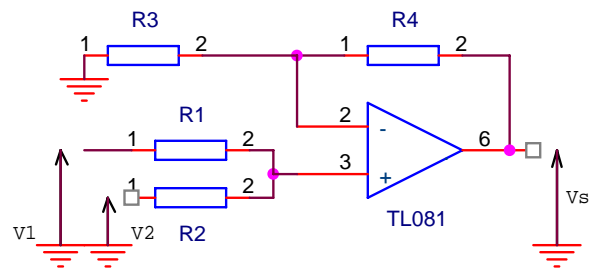
$$V_s = \frac{2}{1 + \frac{\alpha}{1 - \alpha}} V_+ - V_-$$

## Sommateur



Montage 1 & 2

$$V_s = -R_3 \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}\right)$$



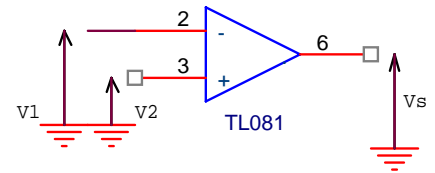
$$V_s = \left(\frac{R_4}{R_3} + 1\right) \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2}\right)$$

Ce montage permet de sommer 2 signaux ou plus. Les résistances  $R_1$  et  $R_2$  permettent d'affecter un coefficient à chaque signal dans la somme. On utilise ce montage sur les projets aérospatiaux, principalement sur les télémessures analogiques. En effet, cela permet de réaliser le sommateur permettant de regrouper les voies de télémessure sur une même ligne avant l'entrée de l'émetteur. On prend donc les résistances telles que l'on ait  $V_s = V_1 + V_2$ . Le montage 1 donne  $V_s$  inversé par rapport à l'entrée, ce que le montage 2 ne fait pas.

## Comparateur

(Se reporter à la doc sur les séquenceurs)

Avec le montage en comparateur, on ne travaille qu'en saturation. On peut donc régler les valeurs qu'on veut en +/- Vcc. Par exemple, on peut comparer 2 tensions et vouloir obtenir 5V si  $V_+ > V_-$  et 0V sinon. On met donc :  $+V_{cc} = 5V$  et  $-V_{cc} = 0V$ .

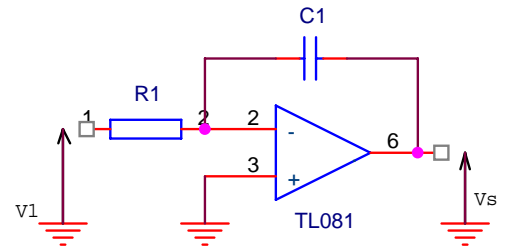


$$\begin{aligned} \text{Si } V_- < V_+ : V_s &= +V_{cc} \\ \text{Si } V_- > V_+ : V_s &= -V_{cc} \end{aligned}$$

Ce genre de montage est très utile pour créer des minuteries analogiques. On place la tension de charge d'un condensateur en entrée + et une tension de référence sur l'entrée - (ou l'inverse). On crée donc un signal qui passe de  $-V_{cc}$  à  $+V_{cc}$  quand le condensateur voit sa charge supérieure (inférieure respectivement) à la tension de référence. On peut également se servir de ce montage pour faire des remises à zéro automatiques, de la même façon que pour une minuterie, ce qui est très utile notamment pour les séquenceurs numériques.

## Intégrateur

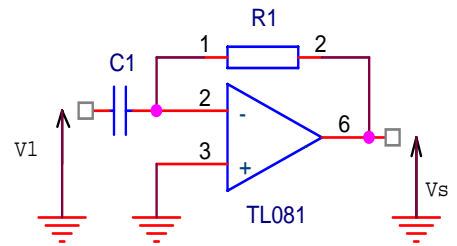
Ce type de montage est peu utilisé dans les clubs aérospatiaux mais il m'a paru indispensable de la présenter afin de créer une base de donnée un peu complète. Il permet notamment de faire de la résolution d'équation différentielle. On peut ainsi par exemple intégrer le signal d'un accéléromètre afin d'envoyer au sol la vitesse et ainsi d'éviter le post-traitement au sol.



$$V_s = \frac{-1}{R_1 \cdot C_1} \int_0^t V_1 \cdot dt$$

## Dérivateur

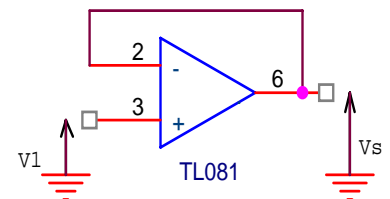
Ce type de montage est lui aussi peu utilisé par les clubs. Ce type de montage est très sensible aux perturbations du signal d'entrée. Il peut notamment servir à créer la courbe de vitesse d'un signal issu d'un capteur de position. Il permet également de détecter un extremum s'il est couplé avec un comparateur par exemple, afin de détecter quand un signal voit sa dérivée s'annuler. Cela peut notamment servir pour un séquenceur si l'on se base l'ouverture du parachute sur un capteur de position.



$$V_s = -R_1 C_1 \frac{\partial V_1}{\partial t}$$

## Suiveur

Il n'y a pas de formule correspondant à ce montage. En effet, son but est principalement de faire de l'adaptation d'impédance lorsqu'une source à haute impédance interne doit commander une charge à faible impédance. Il permet ainsi de fournir le courant nécessaire à la charge que ne peut pas fournir la source. Il permet aussi d'effectuer des mesures dans un circuit (par ex. dans un diviseur de tension), sans le perturber puisque l'entrée de l'AOP correspond à une impédance infinie.



Maintenant que vous avez vu à peu près tous les montages que l'on utilise, il ne vous reste plus qu'à passer à la pratique et à consulter les documents techniques des constructeurs (datasheet) pour choisir vos valeurs de composants passifs (résistances, condensateurs, etc...) et fixer votre alimentation.

# LES SEQUENCEURS ELECTRONIQUES

## A quoi ça sert ??

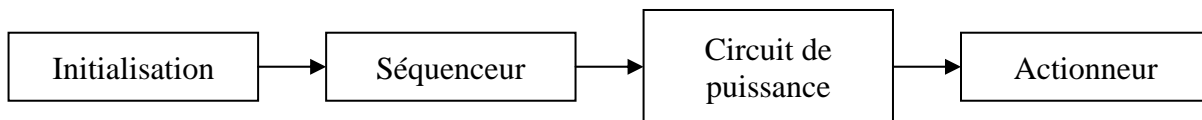
Le séquenceur est un élément de base de la fusée et une attention toute particulière doit y être accordée. Le cahier des charges précise que chaque fusée doit être munie d'un système permettant la mise en œuvre du ralentisseur à culmination, le but du séquenceur est donc de détecter le décollage et de commander le mécanisme de récupération en temps voulu.

Au moins deux types de dispositifs peuvent convenir pour agir à l'apogée :

-> Dispositif réglable en temps, déclenché au décollage et ajusté sur l'estimation du temps de culmination (simulation avec le logiciel « Trajec »).

-> Dispositif de détection de l'apogée par l'intermédiaire d'un ou plusieurs capteurs.

Ensuite, pour mettre en œuvre le ralentisseur, il suffit généralement d'envoyer un signal au circuit de puissance qui commande un actionneur (servomoteur, électrovanne, cisaille pyrotechnique, ...).



## 1 : Dispositif réglable en temps.

Une simulation « Trajec » permet de connaître avec une précision relativement correcte le temps que la fusée mettra pour atteindre l'apogée. Il suffit alors de réaliser un dispositif électronique capable de restituer ce temps à partir du décollage.

### 1-1 : séquenceur analogique

Une première possibilité consiste à utiliser la réponse progressive d'un circuit RC à un échelon de tension et comparer cette réponse à une tension de référence. Un signal de commande est alors généré lorsque la tension aux bornes du condensateur atteint et dépasse la tension de référence.

#### 1-1-1 : Rappel : réponse d'un circuit RC à un échelon de tension

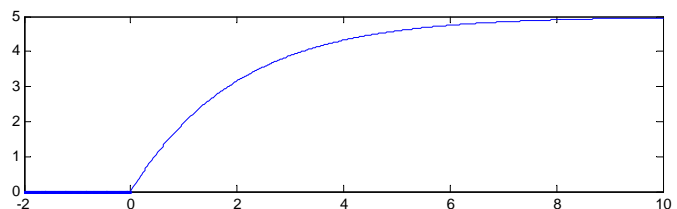
Considérons un circuit composé d'une résistance R et d'une capacité C, en série avec un générateur idéal de tension E et in interrupteur K. A l'instant t=0, on suppose la capacité déchargée et on ferme l'interrupteur K. la capacité va se charger progressivement jusqu'à ce que s'établisse à ses bornes une tension opposée à la force électromotrice E.

L'équation qui traduit l'évolution de la tension  $u_c$  est :

$$\frac{du_c(t)}{dt} + \frac{u_c(t)}{RC} = \frac{E}{RC}$$

L'intégration de cette équation donne :

$$u_c(t) = E \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$



### 1-1-2 : Mise en place du comparateur

Un comparateur est un système à deux entrées dont le signal de sortie dépend de la relation d'ordre entre les valeurs d'entrées. Une manière simple de réaliser un comparateur est d'utiliser un amplificateur opérationnel (AO) en régime non linéaire.

Supposons que le temps de culmination soit  $t_c$ . Avec les caractéristiques du circuit, il est possible de déterminer la tension atteinte aux bornes du condensateur à culmination  $U_c(t_c)$

Il suffit alors d'appliquer une tension de référence égale à  $U_c(t_c)$  sur l'entrée non inverseuse. Tant que  $u_c(t)$  reste en deçà de la valeur de référence  $U_c(t_c)$ , la sortie du montage reste à  $-V_{sat}$ . Dès que la tension atteint et dépasse  $U_c(t_c)$ , la sortie de l'AO passe à  $+V_{sat}$ .

Il y a bien une modification de l'état de sortie au bout d'un temps déterminé à l'avance.

~~Remarque : Le principe de ce montage réside sur le fait que la charge exponentielle peut être assimilée à une droite si le temps  $t_c$  est petit devant la constante de temps  $t = RC$  du circuit.~~

~~Il faut donc régler  $t$  de manière à ce que  $t_c \ll t$ . (correction mars 2003)~~

Dans la plupart des cas, une tension négative n'a aucune signification et afin de prévenir toute incompatibilité avec certains composants, il est préférable de porter la tension négative  $-V_{sat}$  à une tension neutre de 0 V.

Pour cela, il est bien sûr possible de redresser la tension par l'intermédiaire d'une diode ou d'utiliser des AO spécialement étudiés pour fonctionner en comparateur comme le 311, le 393 ou le 339. Pour ces AO, l'alimentation est seulement positive et donc compatible avec une logique 0-5V des circuits de puissance.

Ces composants peuvent être à collecteur ouvert et il est alors possible d'avoir une tension en sortie différente de la tension d'alimentation.

### 1-1-3 : Et en pratique, comment ça se passe ?

Initialisation (déclenchement au décollage).

Pour soumettre le circuit RC à un échelon de tension au décollage, il suffit de shunter le condensateur et d'arracher ce shunt au décollage. Une méthode simple consiste à utiliser un connecteur « Jack ». La partie femelle est fixée dans la fusée et la partie mâle qui réalise le shunt est reliée à la rampe de lancement

Référence de tension :

La référence de tension peut être obtenue par un montage diviseur de tension ou tout autre dispositif permettant d'ajuster la tension précisément.

Réglage du circuit RC :

Si cela est possible, le temps de déclenchement programmé doit être réglable dans une plage de  $\pm 50\%$  du temps de déclenchement prévu. Pour cela, en fixant la valeur de C, il est possible d'utiliser une résistance variable pour ajuster T. Afin de garantir une précision suffisante, il est préférable de minimiser la valeur de la résistance variable et lui adjoindre une résistance fixe.

## 1-2 : Séquenceur numérique.

Le principe de ce type de séquenceur repose sur le comptage d'impulsions générées à une fréquence connue. La technologie numérique permet donc de commander entièrement le séquenceur et de connaître à tout moment son état.

### 1-2-1 : Génération des impulsions.

Pour être compatible avec la majorité des compteurs, le signal correspondant à la base de temps doit être carré et de rapport cyclique élevé (le créneau positif doit avoir une durée comprise entre 95 % et 99 % de la période).

Il existe de multiples dispositifs permettant de générer de tels signaux, parmi lesquels :

- Les horloge à quartz (pour des fréquences plutôt élevées).
- Les multivibrateurs astables qu'ils soient à base de composants discrets ou de circuits intégrés (CI) (double inverseur + Rc, inverseur à trigger de schmitt, 555 ou tout oscillateur analogique).
- Les générateurs de fonction (VCO) comme le 8038 ou le 2206.

Attention, le niveau des impulsions doit être compatible avec la technologie employée pour les compteurs, généralement une logique positive 0-5V.

### 1-2-2 : Comment compter ?

Le moyen le plus simple de compter ces impulsions est d'utiliser une suite de bascules montées en série qui changent successivement d'état au rythme des impulsions.

La mise en série de nombreuses bascules peut poser quelques problèmes et pour compter, il est préférable d'utiliser des composants spécialisés dans ce type de tâches que l'on appelle naturellement compteurs.

De plus, il est souvent nécessaire de synchroniser un ensemble d'opérations de traitement d'information, c'est à dire de les référer à une horloge unique. Pour cela, il convient d'utiliser les compteurs synchrones dont les types sont très nombreux.

En effet, les compteurs synchrones sont proposés en CI sous un très grand nombre de références : 74160, 161, 162, 163, 190, 191, 192, 193, ...

Généralement, ils sont à la fois compteur et « décompteur » et ils peuvent souvent être prépositionnés sur une valeur donnée. Le signal d'horloge doit être présenté sur l'entrée Clk du compteur et l'entrée Enable doit être correctement positionnée de manière à autoriser le comptage. Tous les compteurs permettent de suivre en temps réel le compte et certains indiquent en plus la fin du compte.

### Compteur binaire ou BCD :

Le système de numération appelé binaire ne comporte que deux signes (0 et 1) contre 10 signes pour le système décimal. Ces deux systèmes sont basés sur le même principe de comptage puisque lorsque le rang des unités a utilisé tous les signes, on crée un 2<sup>ème</sup> rang, puis un 3<sup>ème</sup>, etc.

Ainsi	0	0
	1	1
	2	10
	3	11
	4	100
	...	...

Le code BCD (Binary Coded Decimal) a été créé pour rattacher le système binaire au système décimal, c'est à dire en créant des « unités de comptage » capables de compter de 0 à 9 et non au-delà.

Comme 9 est représenté par 1001 en binaire, il faut 4 rangs binaires (4 bits) pour représenter le système décimal. Ainsi en BCD, 24 est codé par 0010-0100 alors qu'en binaire « pur » ce serait 11000.

L'avantage d'un compteur BCD (4 bits) réside dans le fait qu'il permet entre autre de diviser par 10 la fréquence d'horloge initiale.

Prépositionnement à une valeur donnée :

Le prépositionnement sert à imposer une valeur déterminée aux sorties, par exemple si l'on veut compter à partir de 4 et non de 0.

1-2-3 : Et en pratique ?

Sans rentrer dans les détails, un dispositif d'initialisation doit permettre d'autoriser le compte ou le décompte à partir du décollage et il faut utiliser les réponses du compteur pour commander le circuit de puissance en temps voulu.

Pour obtenir un pas de réglage de 1 seconde, le plus simple serait de générer directement un signal de 1 Hz. Cependant, pour synchroniser au mieux le décollage avec l'autorisation de comptage, il est fortement recommandé d'utiliser un signal d'horloge de 10 Hz et d'employer un 1<sup>er</sup> compteur (BCD 4 bits) pour générer des impulsions toutes les secondes.

## 2 : Dispositif de déclenchement non minuté

Il est possible d'utiliser un autre paramètre que le temps pour commander le système de récupération. Par exemple, la commande du mécanisme de récupération peut coïncider avec la détection de l'altitude maximum. Dans ce cas, le séquenceur doit pouvoir gérer les ordres erronés du système de détection. Le cahier des charges précise que cet ordre doit impérativement passer par l'intermédiaire d'un séquenceur à « fenêtrage temporel ». C'est à dire que le séquenceur doit ignorer un ordre trop précoce et donner l'ordre de la mise en oeuvre du ralentisseur si la détection n'a pas fonctionné (ordre trop tardif).

Entre  $t=0$  et  $t=T1$  : période d'interdiction de commande

Pour  $t>T2$  le séquenceur donne l'ordre lui-même

# TELEMESURE

## A quoi ça sert ??

Le principal but d'une fusée expérimentale réside dans l'expérience qu'elle embarque. Afin d'exploiter les résultats, il est nécessaire de sauvegarder ces données. Cela peut être fait de 2 façons :

- Stockage à bord
- Stockage au sol

Ces données peuvent se présenter sous la forme de formats audio, vidéos, trame numérique, etc...

La télémesure est l'un des principaux moyens utilisés pour le stockage au sol. En effet, de cette façon les résultats expérimentaux seront sauvegardés quelle que soit l'issue du vol. De plus, sa mise en œuvre est relativement simple pour les clubs et est facilitée par l'existence d'un émetteur et d'un récepteur fournis par l'ANSTJ.

La télémesure consiste donc en une transmission permanente entre l'émetteur et le récepteur. L'émetteur va permettre d'envoyer les informations embarquées vers le sol. Il s'agit donc de comprendre les processus permettant de recevoir de manière optimale ces informations. Cela passe notamment par la constitution d'une *chaîne de mesure*.

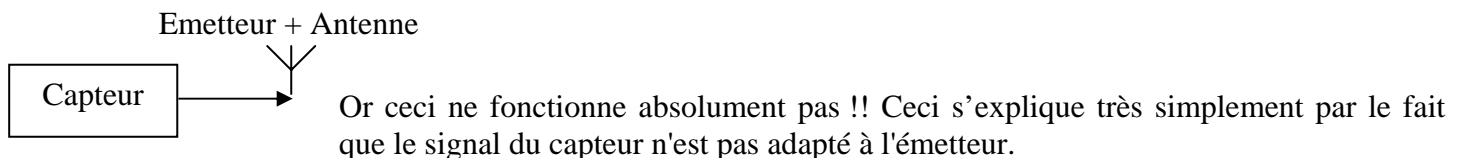
## Comment ça marche ??

Prenons un exemple :

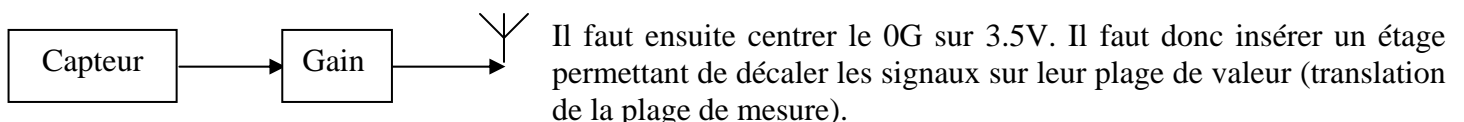
Un capteur nous donne une plage de valeur entre  $-15G$  et  $+20G$  et qui délivre alors une tension entre 0 et 7V.

La plupart du temps, les capteurs fonctionnent de manière analogique en amplitude variable. C'est-à-dire que la sortie du capteur est une grandeur dont la valeur varie de manière continue au cours du temps.

Le premier réflexe est de se dire qu'il suffit de connecter la sortie du ou des capteurs à l'entrée de l'émetteur de la façon suivante :

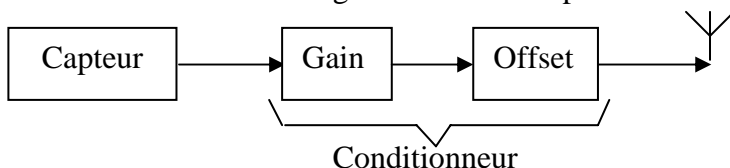


Il faut donc **amplifier** le signal des capteurs (en augmentation ou en diminution voire en le déplaçant). On transforme la chaîne de mesure de la façon suivante :



Cet étage de décalage s'appelle un étage d'**Offset**.

On est alors dans la configuration suivante pour notre chaîne de mesure :

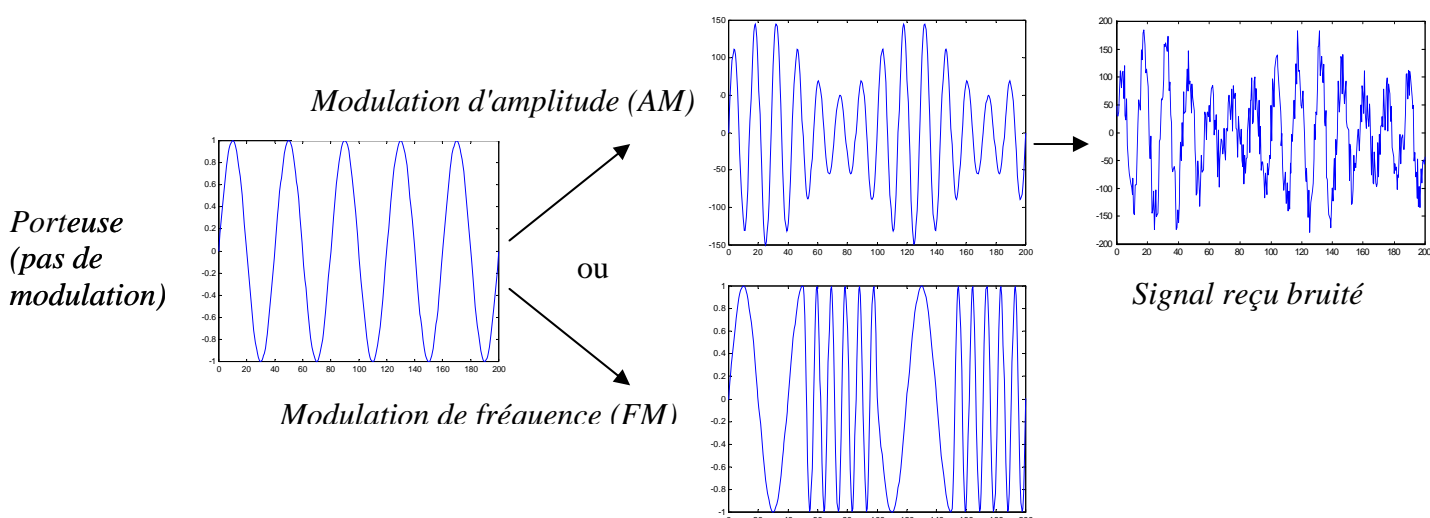




## Modulation & Porteuse :

Les principes de Traitement du Signal montrent qu'un signal dont la fréquence est très élevée résiste très bien aux différentes sources de parasites. On émet donc sur des fréquences de l'ordre du MHz. Par exemple, l'émetteur pour Fusex de l'ANSTJ, le Toucan, émet sur 137.95 MHz. On se sert donc d'un signal sinusoïdal de fréquence élevée pour "porter" les informations. C'est la composante principale (1<sup>o</sup> harmonique lors de la décomposition en série de Fourier) du signal, c'est-à-dire la plus énergétique. Elle est appelée *fréquence porteuse ou porteuse*. Elle ne comporte aucune information en elle-même.

Il faut donc greffer à ce signal, le signal comportant les informations à émettre. Ce signal va donc modifier l'allure de la sinusoïde au cours du temps en fonction des données des capteurs. On appelle ce signal à greffer la *modulation*. On parle principalement de *modulation d'amplitude (AM)* et *modulation de fréquence (FM)*. On est en AM si on change l'amplitude de la porteuse et en FM si on en modifie la fréquence au cours du temps. On ne perd pas d'info en FM, même si on vient modifier la fréquence de la porteuse puisque la porteuse existe en tant que telle dans la décomposition en série de Fourier (1<sup>o</sup> harmonique). On a donc toujours les infos d'un côté et la porteuse de l'autre. Pour récupérer juste les infos, le récepteur filtrera ce qu'il reçoit en supprimant la fréquence de la porteuse (filtre réjecteur de bande centré sur la porteuse)



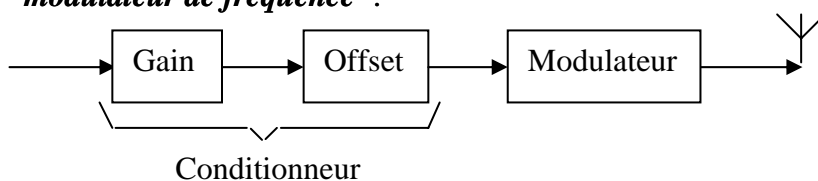
### Modulation AM ou FM ?

Pour faire une bonne modulation AM, il faut comprendre que ce qu'on rentre dans l'émetteur est la modulation. La porteuse est fournie automatiquement par l'émetteur qui se débrouille pour greffer la modulation sur la porteuse. L'émetteur sera choisi en fonction de la modulation qu'on souhaite.

Le problème est que la modulation AM ne convient pas à notre utilisation. Ceci est dû à plusieurs facteurs : Vitesse des engins, Altitude & Météo, et Rotation de l'engin sur lui-même (roulis induit).

De plus la modulation AM est très sujette aux phénomènes de parasites. Le bruit (parasite) peut être ramené à un bruit gaussien à large bande, c'est-à-dire décorrélié du signal émis et donc additif à ce dernier. On a donc ajout de valeurs à la courbe initiale. Par exemple, si on émet 5V, on peut très bien trouver 5.3V ou 4.7V en réception. De ce fait les mesures sont faussées. Ceci est d'autant plus vrai que le niveau de bruit (puissance) est grand devant celui du signal.

C'est pour cette raison que l'on préfère utiliser la **modulation de fréquence** qui n'est pas aussi sujette à ces problèmes. On doit alors réaliser une transformation de l'AM en FM avant d'attaquer l'émetteur. Ainsi il convient de rajouter un "*modulateur de fréquence*".

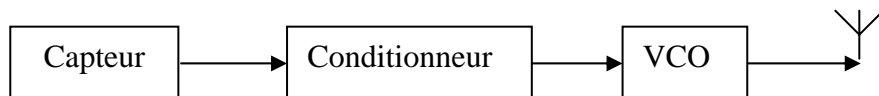


C'est cette partie modulateur qui est délicate à mettre en œuvre pour les télémessures analogiques.

# Télémessure Analogique : Norme IRIG

## Fonctionnement

Une voie de télémessure analogique se décompose ainsi :

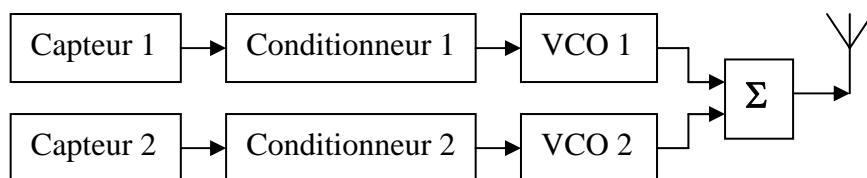


Un VCO est un composant (Circuit intégré) qui permet de moduler un signal quelconque en FM. En général, les clubs utilisent le XR2206 comme VCO. Son câblage sera expliqué par la suite.

Le problème se complique dès que l'on a plus d'une voie de télémessure. Chaque voie doit être modulée sur sa propre plage de fréquence afin de pouvoir retrouver les informations relatives à celle-ci lors de la démodulation au sol. Cela se fera de manière simple à l'aide de filtres passe-bande dont la bande passante sera celle de la voie à filtrer.

Si on a 2 voies, il faudra 2 filtres au sol. Ces filtres peuvent être réalisés à l'aide de logiciels existants (CoolEdit, K-Com, Matlab/Simulink, ...) qui lisent directement les résultats de télémessure (fichier audio ou entrée sur port série) et donnent les voies séparées.

Afin de pouvoir regrouper ces voies sur l'entrée de modulation de l'émetteur, on va sommer ces modulations pour n'en faire plus qu'une. Ceci est réalisé via un montage sommateur basé sur un Amplificateur Opérationnel.



## Notion & Choix de bande IRIG

Il existe 13 bandes IRIG ou canaux de codage. Chaque canal va servir à l'émission d'une voie. On définit une bande par une fréquence centrale et une bande passante. Cette bande passante est de +/- 20% de la fréquence centrale dans la norme IRIG. Ceci est une norme établie pour les télémessures analogiques que l'ANSTJ nous demande d'utiliser. Le choix des canaux doit être fourni à l'ANSTJ afin de pouvoir configurer le récepteur et le démodulateur au sol. Chaque voie doit être utilisée le plus astucieusement possible et doit répondre à des critères spécifiés par la suite.

Norme IRIG :

Canal	Fmin (Hz)	Fo (Hz)	Fmax (Hz)	Bp (Hz)
1	320	400	480	160,00
2	1 040	1 300	1 560	520,00
3	3 200	4 000	4 800	1 600,00
4	10 400	13 000	15 600	5 200,00

## Choix des bandes IRIG :

- Le canal choisi doit être adapté au type de signal que l'on veut coder. Pour un capteur censé fournir de nombreuses variations de tension, on choisira le canal pour avoir une bande passante la plus grande possible.
- Pour éviter l'écrêtage (i.e. la suppression de fréquences en dehors de la bande passante du récepteur) du signal émis par le discriminateur ANSTJ, le réglage des fréquences ne doit pas dépasser les +/- 20% de la fréquence centrale.
- Il faut éviter le parasitage des bandes entre elles. En effet, les bandes à haute fréquence vont créer des harmoniques pouvant interférer avec les plus basses fréquences. On doit donc se débrouiller pour que les fréquences centrales choisies ne soient pas multiples entre elles.  
Exemple : Si on prend les voies 1 et 3,  $4000/400=10$  d'où un risque.

- Le réglage des bandes se fait ainsi en fonction des tensions de sortie du capteur :

$$V_{\max} \Leftrightarrow F_{\min} \qquad V_{\min} \Leftrightarrow F_{\max} \qquad V_{\text{moy}} \Leftrightarrow F_0$$

Exemple : On a 6V à l'apogée et 0V au sol. Si on prend le canal 7, on a

$$6V \Leftrightarrow 3200 \text{ Hz} \qquad 0V \Leftrightarrow 4800 \text{ Hz} \qquad 3V \Leftrightarrow 4000 \text{ Hz}$$

On peut donc alors s'affranchir de la partie Offset du conditionneur, mais ce cas particulier est très rare. Une fois vos canaux choisis, il ne reste qu'à régler le VCO et le conditionneur.

## Réglage du Conditionneur

Il s'agit en général de 2 Amplificateurs Opérationnels montés en série :

- Gain  $\Rightarrow$  montage amplificateur
- Offset  $\Rightarrow$  montage sommateur (soustracteur car le gain inverse le signe de la tension d'entrée)

Pour le dimensionnement des composants, il faut déjà connaître la valeur du gain et de l'offset. Puis il suffit de se reporter aux Data-Sheets des Ampli-Ops choisis (typiquement TL 08x, x représentant le nombre d'Ampli-Ops contenus dans le composant (1, 2, 4 ou 8)), ainsi qu'aux équations sur les montages d'Ampli-Ops.

*Il faut savoir que la tension d'entrée du modulateur décrit par l'ANSTJ est 0/5V. On doit donc avoir en sortie du conditionneur une tension comprise entre 0 et 5V.*

## Calcul du Gain :

Le capteur a une certaine sensibilité. Prenons l'exemple d'un accéléromètre de sensibilité 3.516mV/G. On veut une plage de mesure de -15G/+20G et faire tenir ceci sur un intervalle de 0 à 5V.

$$\Rightarrow \text{Amplitude de l'intervalle en G : } 20 - (-15) = 35\text{G soit } 123.06\text{mV.}$$

$$\text{Amplitude de l'intervalle en V : } 5\text{V} \Rightarrow \text{Gain} = 5/123,06 \cdot 10^{-3} = 40.6$$

$$\Rightarrow \text{Gain} = 40.6$$

On aurait aussi pu avoir des gains  $<1$  si la sensibilité du capteur avait été de l'ordre de 1V/G par exemple : on aurait eu 35V d'amplitude à ramener à 5V !

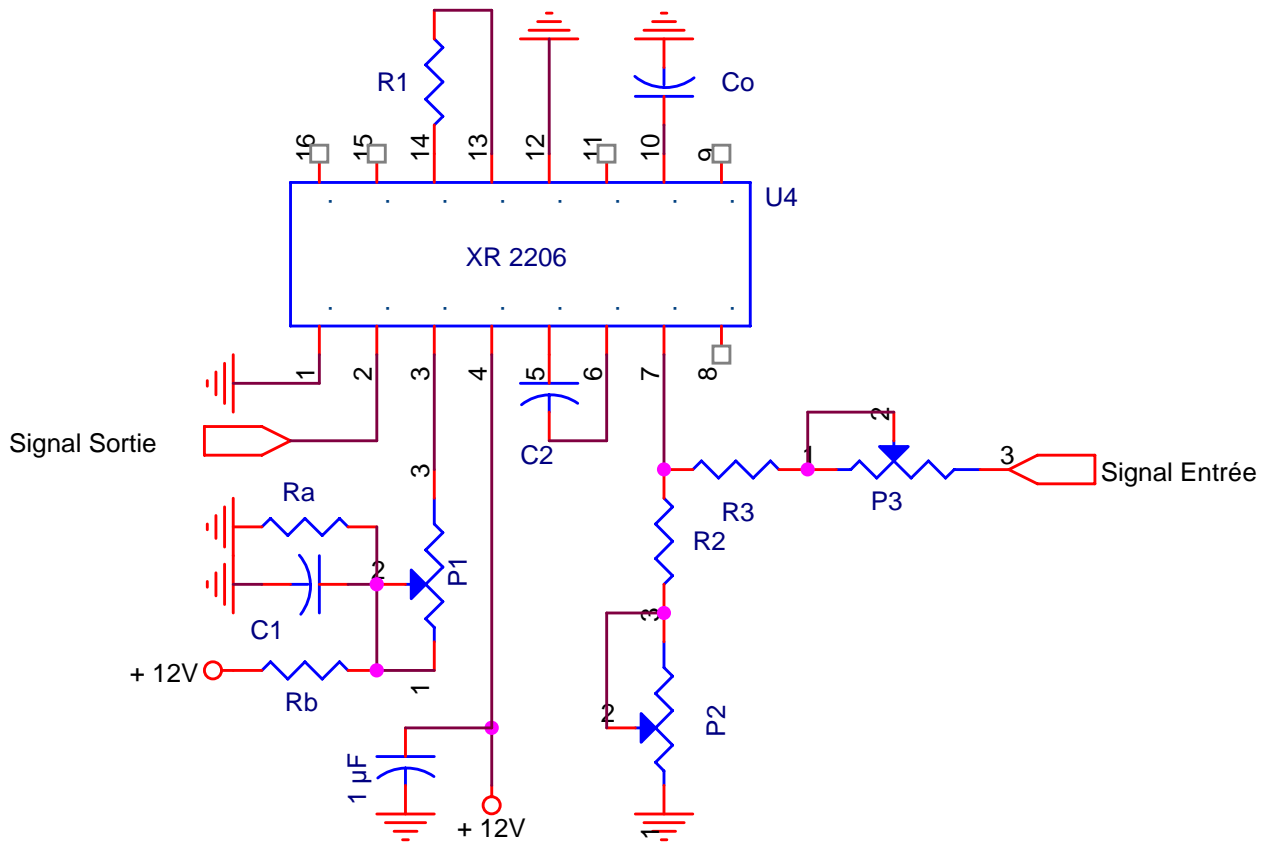
## Calcul de l'Offset :

-15G doivent correspondre à 0V, i.e.  $(-15 \cdot 3.516 \cdot 10^{-3} \cdot 40.6) = -2.14\text{V}$  doivent correspondre à 0V. Donc **l'Offset est de 2.14V**

Pour le réglage, utiliser les formules d'électroniques sur les Ampli-Ops, très faciles à établir ! Il vaut mieux utiliser des potentiomètres précis, quitte à remplacer celui-ci par une résistance et un potentiomètre plus fin en série.

# Le VCO XR 2206

(Voir Note Technique ANSTJ sur le XR2206)



## Valeurs fixes :

- $R_a = R_b = 4.7 \text{ k}\Omega$
- $R_1 = 180 \Omega$  ou  $220 \Omega$
- $P_1 = 100 \text{ k}\Omega$
- $C_o = 1 \mu\text{F}$
- $C_1 = 4.7 \mu\text{F}$
- $C_2 = 22 \text{ nF}$

## Dimensionnement des composants :

- Soit  $Z_2 = R_2 + P_2$  : 
$$F_o = \frac{1}{Z_2 \cdot C_2}$$
  
 $F_o$  : fréquence centrale de la bande IRIG

- Soit  $Z_3 = R_3 + P_3$  : 
$$F = \frac{1}{Z_2 \cdot C_2} \left( 1 + \frac{Z_2}{Z_3} \left( 1 - \frac{V_e}{3} \right) \right)$$
 (Correction fév. 2003)

$V_e$  : Tension d'entrée du VCO

$F$  : fréquence IRIG correspondant à  $V_e$

Canal	Fmin (Hz)	Fo (Hz)	Fmax (Hz)	Z2 (en W)	Z3 (en W)
1	320	400	480	113 636,36	568 181,82
2	1 040	1 300	1 560	34 965,03	174 825,17
3	3 200	4 000	4 800	11 363,64	56 818,18
4	10 400	13 000	15 600	3 496,50	17 482,52

**Réglage du XR2206 : (utiliser un oscillo pour visualiser les fréquences)**

1. On applique en entrée  $V_{min}$  que le VCO peut recevoir, i.e. 0V
2. Régler  $F_{max}$  en sortie avec le potentiomètre P2 ou P3
3. Mettre  $V_{max}$  en entrée, i.e; 5V et régler  $F_{min}$  avec P2 ou P3
4. Mettre  $V_{min}$ , i.e. 0V en entrée et régler  $F_{max}$  avec le potentiomètre non utilisé à l'étape 3 afin de corriger les variations dues à l'étape 3
5. Vérifier que pour  $V_{moy}$  en entrée, on a  $F_o$ .

A priori, vous avez en main tout ce qu'il faut pour réaliser une télémessure analogique ! Il ne reste plus qu'à s'armer de courage pour choisir vos capteurs, réaliser votre ou vos conditionneurs ainsi que le reste de la chaîne de mesure.

# Télémesure Numérique : Norme FSK

(Voir la Fiche Technique ANSTJ : *La Télémesure Numérique*)

Il est préférable de s'attaquer à ce type de télémesure si vous maîtrisez déjà l'analogique, si vous avez des bases de Traitement du Signal et si vous savez programmer des micro-contrôleurs (ce qui est loin d'être évident si l'on est débutant !!).

## Principe

L'information à émettre n'est plus une grandeur continue comme en analogique. On envoie une suite de valeurs binaires (0 ou 1) dont l'amplitude est constante, sans fréquence (sauf celle des trames), mais dont l'enchaînement forme un code. Ceci s'appelle une "trame numérique". On réalise pour cela un échantillonnage du signal à émettre ainsi qu'une conversion analogique / numérique. Cette conversion est réalisée par un circuit intégré appelé CAN. En résumé, le CAN transforme notre signal issu du conditionneur (donc analogique) en numérique.



L'échantillonneur / bloqueur est à rajouter si votre CAN ne fait pas lui-même cette fonction. Ceci est peu courant au vu des technologies actuelles. Il nous reste alors à émettre les données numériques que l'on vient de créer.

## Modulation FSK :

Notre émission va alors consister à l'envoi de trames numériques permettant au récepteur de se synchroniser correctement avec l'émetteur, de vérifier s'il n'y a pas d'erreur de transmission et de savoir quelle partie des 0 ou 1 reçus correspond à une valeur. En effet, si on a 1110010000111, où se trouve la donnée ?? Ce peut être 11100100 que 01000011. La trame doit donc suivre un modèle bien précis à fournir à l'ANSTJ.

### Modèle de trame UART :

Start	Mot	Stop
0	11111111...	11

La trame correspond à la mise en série des infos à envoyer.

Elle dépend de ce que vous souhaitez faire. **Toute trame peut commencer par un octet de synchronisation (FF par exemple)**. Le *bit de start* (1), le *bit de stop* (1, 1.5 ou 2) et le bit de parité (paire, impaire, ... permettant de vérifier la bonne réception de la trame : on vérifie si la parité de ce qu'on reçoit entre le start et le stop correspond à la parité de ce bit) sont optionnels. On indique rarement le début d'une trame, on indique généralement la fin par la transmission d'un break (message particulier consistant à émettre la même valeur pour tous les octets (généralement 0)), ce qui fait 10 bits à 0 pour un mot de 8bits et 1 bit de start et un bit de stop. La lecture de la trame est déclenché par la détection du break par le récepteur.

Une trame peut se présenter ainsi, en considérant que chaque capteur et chaque donnée ont un codage sur 2 octets :

(FF) \_ start-Capteur1{1<sup>er</sup> octet}-stop \_ start-Capteur1{2<sup>ème</sup> octet}-stop \_  
start-Capteur2{1<sup>er</sup> octet}-stop \_ start-Capteur2{2<sup>ème</sup> octet}-stop \_ ... \_ start-Data1{1<sup>er</sup> octet}-stop \_ start-Data1{2<sup>ème</sup> octet}-stop \_ start-Data2{1<sup>er</sup> octet}-stop \_ start-Data2{2<sup>ème</sup> octet}-stop \_ ...

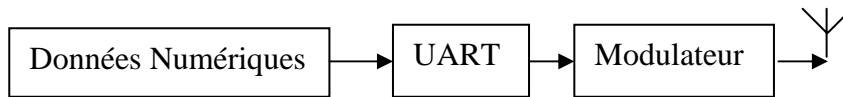
Les Capteurs sont des données analogiques et les Data sont des données numériques représentant un état logique ou une valeur calculée numériquement. On met donc bout à bout les mots formant les données de chaque source, cela forme une *trame*.

**NB :** Dans la trame, les données numériques doivent être un nombre fixe d'octets. Si on a 14 infos numériques, il faudra compléter l' « octet » par (par exemple) deux *bits de bourrage* dont la valeur est quelconque. On aura ainsi nos données numériques codées sur 2 octets. Les voies numériques sont codées sur des nombres fixe d'octets. On n'a donc pas ce problème.

On émettra donc toujours le modèle suivant :

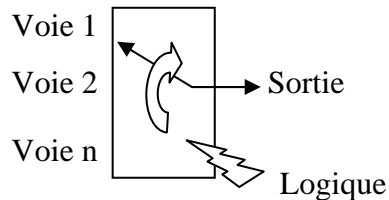
*FF Capteur 1 Capteur 2 ...Data1 Data2 ...DataN*

Cette trame est généralement élaborée par un composant programmable appelé UART.

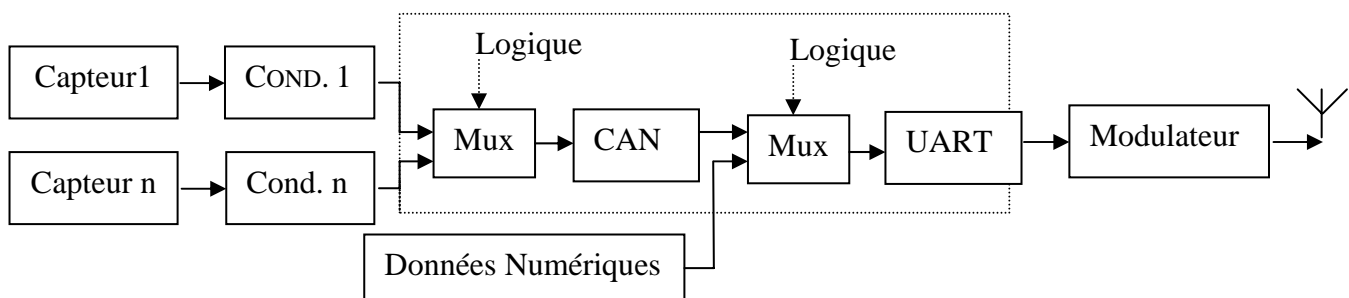


Si l'on a plusieurs voies (analogiques et/ou numériques), il faudra les traiter l'une après l'autre. Ceci se fait grâce à un *multiplexeur*. Ce composant vient lire les différentes voies en fonction des commandes logiques qui lui sont envoyées.

Schéma d'un Multiplexeur :



On a alors :

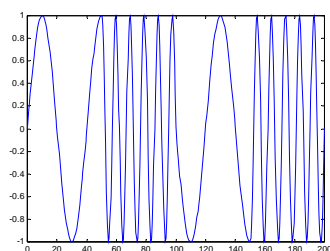


La partie encadrée par les pointillés existe, toute faite, sous la forme de micro-contrôleur ou de composants programmables. Il suffit de programmer la logique du multiplexeur ainsi que la gestion de la trame.

On a donc en entrée de modulateur un signal du type:



Le modulateur doit transformer ce signal en modulation de fréquence. On décide donc que les niveaux hauts (1) correspondent à une fréquence et les niveaux bas (0) à une autre fréquence. On a alors ceci par exemple :

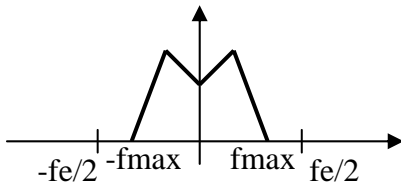


C'est sur ce principe qu'est basé le modulateur FSK. Le FSK fixe les 2 fréquences de modulation en fonction de la vitesse de transmission de la trame :

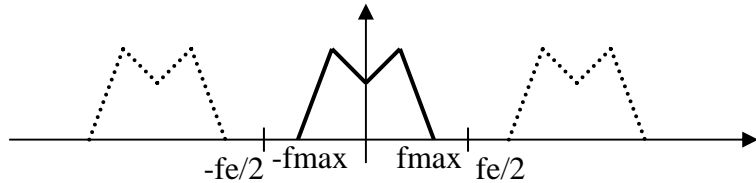
- 1200 bds  $\Rightarrow$  F1 = 1200 Hz (Niveau haut) F2 = 2200 Hz (Niveau bas)
- 4800 bds  $\Rightarrow$  F1 = 9 kHz (Niveau haut) F2 = 15 kHz (Niveau bas)

## Problèmes d'échantillonnage & Théorème de Shannon

On suppose que le signal analogique à numériser et donc à échantillonner a le spectre en fréquence suivant :  $f_{max}$  étant la fréquence maximale du signal et  $f_e$  étant la fréquence d'échantillonnage (fréquence à laquelle on vient lire le signal à numériser).

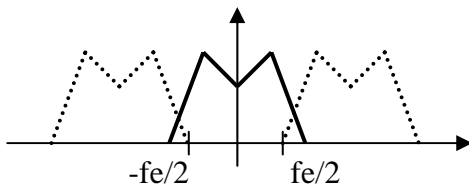


On a  $f_{max} < f_e/2$ . Quand on échantillonne, par la transformée de Fourier, on périodise le spectre de fréquence. On a alors :



Pour retrouver alors le signal original, il faut éliminer les morceaux de spectre dupliqués (en pointillés). On applique donc un filtre passe-bas centré sur  $f_e/2$ . Si on est dans le cas où  $f_{max} > f_e/2$ , on a le cas suivant :

On a  
parle  
Après



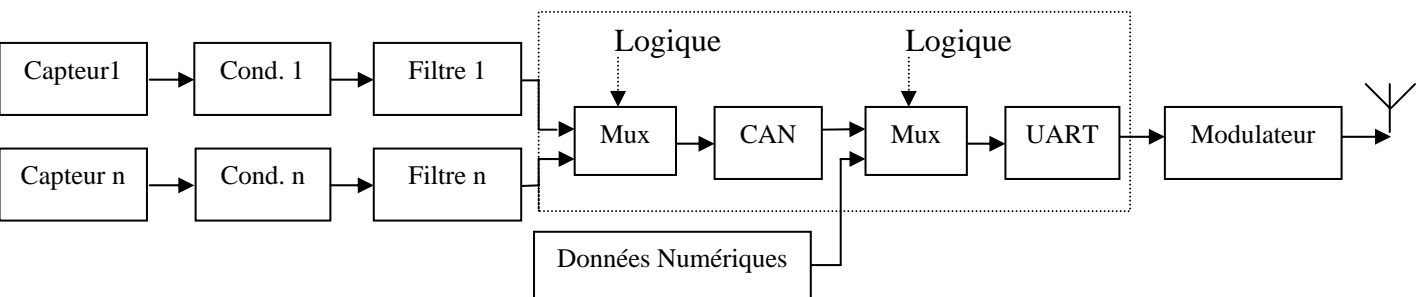
une zone où le spectre dupliqué recouvre le spectre initial. On alors de recouvrement spectral ou de *repliement de spectre*. le filtrage, on perdra une partie des informations du signal !

Il faut  
donc en

respecter le Théorème de Shannon pour éviter cela. On fait général du sur-échantillonnage pour ne pas avoir de pertes :

il faut que  $F_{max} < F_e/2$ . En général, on prend  $F_e = 3.F_{max}$ , ou même **10**.

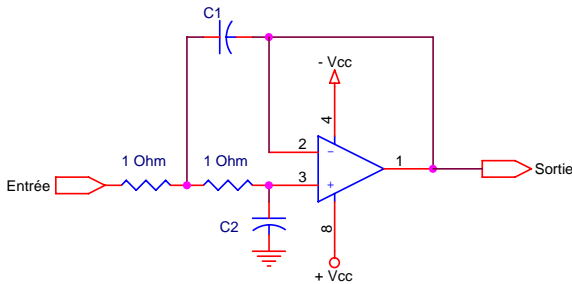
**On place donc après le conditionneur un *filtre anti-repliement*** pour éviter ce problème. Il s'agit en général d'un *filtre passe-bas de Butterworth d'ordre 6* centré sur  $F_e/3 = F_{max}$ . On a donc la chaîne de mesure suivante :



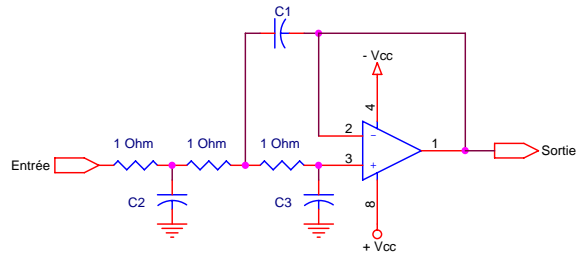


# Les Filtres de Butterworth :

On met en série des filtres actifs donnés dans le tableau suivant. Par exemple, si on veut un filtre d'ordre 6, le tableau indique qu'il faut mettre en série 3 blocs d'ordre 2 en série, dont les valeurs des condensateurs sont données pour une résistance de 1Ω. La première ligne correspond au premier bloc et ainsi de suite. On remplace les valeurs des composants par les vraies.



Montage 1



Montage 2

Ordre	Montage 1		Montage2		
	C1	C2	C1	C2	C3
2	0,2251	0,1125			
3			0,5644	0,2215	0,03221
4	0,4159 0,1723	0,06091 0,147			
5	0,515	0,04918	0,279	0,2155	0,06707
6	0,6149 0,2251 0,1648	0,04119 0,1125 0,1537			
7	0,7152 0,2553	0,03542 0,09923			
8	0,8158 0,2865 0,1914 0,1623	0,03105 0,08842 0,1323 0,1561	0,2437	0,2126	0,07775

On a alors un montage avec des résistances de 1Ω et des condensateurs dont les valeurs sont normalisées pour cette résistance et une fréquence de coupure du filtre de 1 Hz.

On calcule les vraies valeurs grâce à :

$$C' = \frac{C}{f \cdot R}$$

f: fréquence de coupure

R = 4.7 kΩ en général

C = Valeur normalisée

C' = Valeur réelle

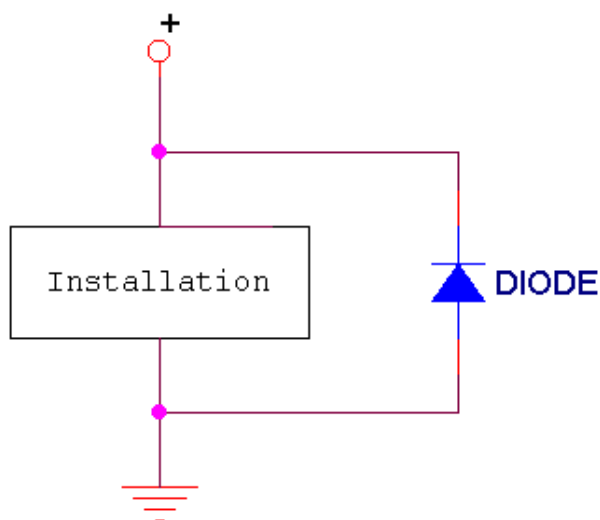
(0.2251 : correction mars 2003)



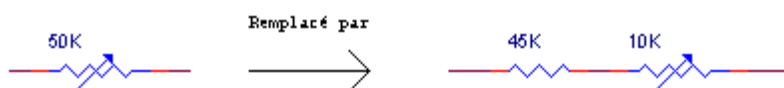
# ASTUCES

➤ Eviter les retours de tension :

La diode bloque le courant qui voudrait remonter.



➤ Améliorer la précision de réglage d'un potentiomètre :

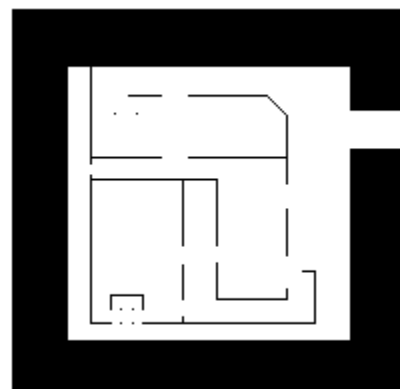


En divisant le potentiomètre en une résistance et un potentiomètre de moindre résistance totale, on améliore la précision du réglage de celui-ci.

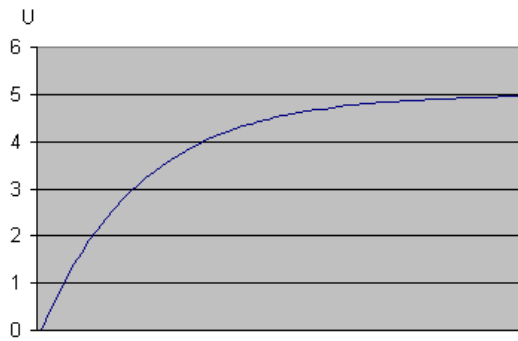
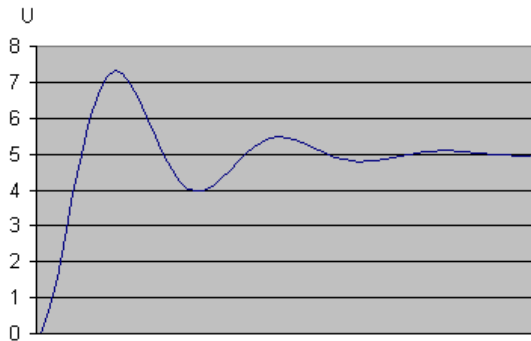
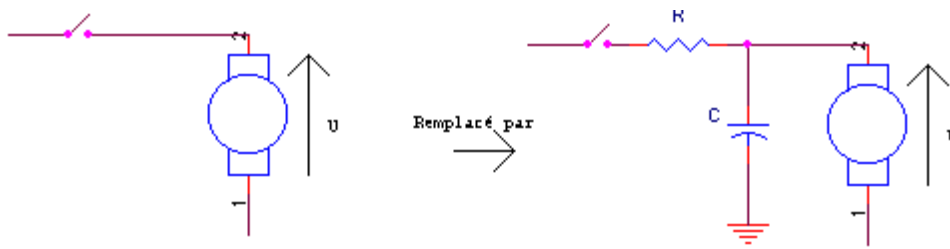
➤ Protéger le circuit de la CEM :

Pour protéger votre circuit des perturbations dues aux ondes électromagnétiques, faites un plan de masse qui entoure votre circuit.

Ce plan de masse doit être relié à la masse du circuit et doit comporter un entrefer pour ne pas faire antenne.



- Eviter les rebonds dues à l'usage d'un interrupteur :

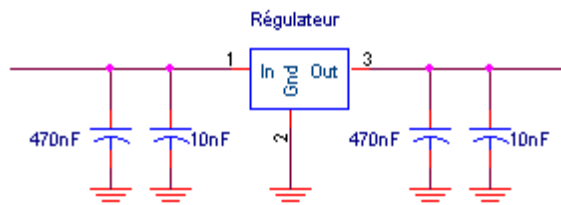


Pour éviter les rebonds à la fermeture et ouverture d'un interrupteur, on insère un circuit RC comme indiqué sur le schéma.

- Perçage : ne pas décoller les pastilles

Si vous avez du mal à ne décoller les pastilles, lors du perçage de vos plaques, commencez par un petit foret puis une fois les trous percés, agrandissez les avec un autre foret de plus gros diamètre. Si vous n'y arrivez toujours pas, percez à moitié d'un côté, retournez la plaque et finissez de percer.

- Condensateur de découplage :



Pour éviter les perturbations aux bornes d'un régulateur, on place en parallèle à l'entrée et à la sortie deux condensateurs de découplage de 470nF et 10nF (un pour les hautes fréquences et un autre pour les basses fréquences). Les 470nF sont des carrés jaunes (condensateurs polyesters). Les 10nF sont des petits marrons (condensateurs céramiques).

## 9. Savoir-faire

L'électronique est pour certains une science exacte et pour d'autres le royaume de l'empirisme. Les auteurs pensent appartenir au premier groupe (Quoique certains jours !). Ils reconnaissent néanmoins que des circuits précisément calculés refusent parfois de fonctionner et que pour changer cette situation il faut utiliser des tours de main difficiles à mettre en équation.

Alors voici en vrac, quelques conseils qui ne sont pas toujours écrits dans les livres d'électronique et qui pourtant, comptent beaucoup dans le succès.

- Lisez les documentations fournies par les fabricants de composants et faites prendre cette habitude aux jeunes.
- Réfléchissez avec les jeunes sur la manière d'agencer l'électronique dans la nacelle. S'il faut décâbler les circuits pour accéder à la pellicule de l'appareil photo, votre réputation va en prendre un coup le jour du lâcher ! L'électronique s'accommode mal du transport en vrac.
- Evitez de câbler des fils d'entrée et de sortie directement sur les cartes électroniques. Utilisez systématiquement des connecteurs. Ils permettent un démontage rapide des cartes sans blesser les câbles.
- Câbler les liens entre les circuits avec des fils multibrins qui résistent mieux au pliage,
- Utilisez des fils de couleur et repérez les couleurs sur votre schéma. Traditionnellement les électroniciens pratiquent la règle suivante : noir pour la masse, rouge pour le + de la pile, et d'autres couleurs pour les signaux. Cela est tellement plus facile pour dépanner un circuit ! Attachez proprement les fils entre eux. Eviter de faire voler des toiles d'araignées.
- Découplez la pile, c'est à dire câbler deux condensateurs en parallèle sur chaque série de piles que vous installez dans la nacelle. L'un est un condensateur de 10 à 100  $\mu\text{F}$  de type polarisé, l'autre est un condensateur céramique de faible valeur de 0,1 à 10 nF. Ils ont pour rôle de supprimer d'éventuels signaux parasites.
- Découplez vos cartes électroniques. Si vous installez des composants électroniques sur un circuit imprimé ou équivalent, installez alors un condensateur céramique ou équivalent de faible valeur de 0,1 à 10 nF en parallèle sur les fils d'alimentation venant de la pile.
- Découplez sur vos circuits les signaux allant vers le KIWI. Pour cela placez un condensateur de 0,1 sur les fils qui vont vers le KIWI.
- Si vous employez des moteurs électriques placez un condensateur non polarisé de quelques  $\mu\text{F}$  à ses bornes.
- Si possible, essayez de séparer le KIWI du reste de votre électronique dans la nacelle (de l'ordre de 20 cm). Un émetteur émet des rayonnements (il est fait pour cela) qui peuvent perturber votre électronique.
- Les mesures doivent être fournies sur chaque voie sous forme d'une tension variable entre 0 et 5 V sur deux fils torsadés entre eux, l'un relié à la masse, l'autre directement sur l'entrée de la voie choisie. Autre manière de le dire : bien qu'ils soient au même potentiel, il est préférable de câbler autant de fil de masse que de voies utilisées et de torsader le fil de masse avec le fil de mesure de la voie correspondante (paire torsadée).
- Si vous placez des capteurs électroniques à l'extérieur de la nacelle, reliés à des circuits placés à l'intérieur (donc à une certaine distance), connectez les avec de la paire torsadée ou mieux encore avec du câble blindé.
- Si vous modifiez un câblage, mettez à jour les schémas simultanément.
- Placez un interrupteur général accessible de l'extérieur de la nacelle sans avoir à la démonter et indiquez en clair la position de mise sous tension.