

ELE2003 : PROJETS DE CIRCUITS ÉLECTRONIQUES

Projet : Système d'intercom bidirectionnel

Manuel de manipulations

Version : Automne 2020

DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE
POLYTECHNIQUE MONTRÉAL



Sommaire

Le présent document est le troisième manuel du cours ELE2003. Celui-ci décrit le projet de session à réaliser. Son contenu comprend un bloc théorique qui porte sur la modulation d'amplitude, le multiplexage fréquentiel et les oscillateurs, une description des livrables, ainsi que des informations sur la remise d'un rapport de projet. Basé sur un document original rédigé par Émile Daneault, modifié par Yoan Fournier et François Leduc-Primeau. Fait sur L^AT_EX.

Table des matières

1	Présentation du projet	1
2	Éléments de théorie	2
2.1	Modulation AM	2
2.1.1	Concept	2
2.1.2	Contenu fréquentiel et largeur de bande	3
2.1.3	Implémentation de la modulation	4
2.1.3.1	Modulation avec FET	4
2.1.4	Implémentation de la démodulation	6
2.2	Transmission avec multiplexage fréquentiel	7
2.2.1	Émission	7
2.2.2	Réception	8
2.3	Oscillateurs	9
2.3.1	Oscillateur à onde carrée	9
2.3.2	Oscillateur harmonique	10
3	Déroulement du projet	11
3.1	Mandat	11
3.2	Livrables	11
3.2.1	Semaines 1-2	11
3.2.2	Semaines 3-4	12
3.2.3	Semaines 5-6	13
3.2.4	Semaines 7-8	14
4	Préparation	15
4.1	Semaine 1-2	15
4.2	Semaine 3-4	15
4.3	Semaine 5-6	16
4.4	Semaine 7-8	16
5	Rapport	16
5.1	Barème d'évaluation des rapports intermédiaires	16
5.2	Barème d'évaluation du rapport final	17
5.3	Information sur la remise	18

Table des figures

1	Système d'intercom bidirectionnel.	1
2	Plages de contenu fréquentiel du système de contrôle.	1
3	Schéma global du système à concevoir.	2
4	Exemple de modulation AM.	2
5	Signaux AM d'une même fréquence avec indices de modulation différents	3

6	Spectre fréquentiel générique.	4
7	Multiplication avec une sinusoïde dans le domaine de la fréquence.	4
8	Schéma de montage d'un modulateur AM à base d'un ampli-op et d'un JFET. . . .	5
9	Symbole du JFET.	5
10	Courbes caractéristiques d'un JFET.	5
11	Méthode de démodulation par détecteur d'enveloppe.	6
12	Schéma de montage d'un détecteur d'enveloppe de base.	7
13	Multiplexage en fréquence.	8
14	Filtre pour démultiplexage.	9
15	Oscillateur à relaxation, qui produit une onde carrée.	10
16	Obtention par filtrage d'une sinusoïde à partir d'une onde carrée.	10

1 Présentation du projet

Le projet du cours ELE2003 a pour objectif la création d'un système d'intercom bidirectionnel en incorporant des concepts de modulation AM et de multiplexage fréquentiel. Le produit à concevoir est donc un système permettant à deux individus de se parler en temps réel et de pouvoir aussi activer des appareils à distance, tout cela en utilisant un seul fil pour communiquer l'ensemble de l'information.

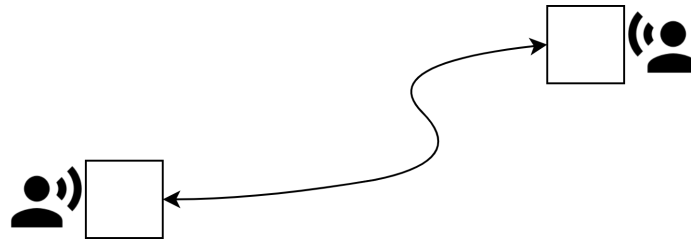


FIGURE 1 – Système d'intercom bidirectionnel. L'utilisation d'un seul canal de transmission permet de transporter la voix de deux interlocuteurs.

Plus particulièrement, le système devra être en mesure de transmettre la voix de deux interlocuteurs situés à des endroits différents ainsi que l'état d'au moins un interrupteur et tout cela sur un seul fil de communication. L'ensemble de l'information sera superposée dans le lien de transmission en utilisant le multiplexage fréquentiel, dans une bande passante allant de 0 – 100 kHz (voir figure 2).

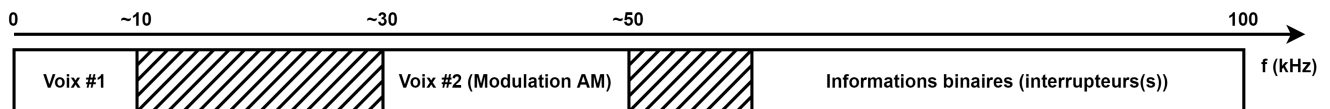


FIGURE 2 – Plages de contenu fréquentiel du système de contrôle.

Le projet sera séparé en différentes étapes. Cependant, même si chaque étape sera conceptualisée et testée de manière séparée dans le temps, il est très important que vous réfléchissiez constamment à l'ensemble du projet et à comment chaque partie sera liée avec les autres. En négligeant ces considérations, vous risqueriez de finir avec des modules qui semblent fonctionner seuls, mais qui mis ensemble ne fonctionnent plus.

Les différentes étapes du projet sont donc :

- Modulation AM et démodulation d'une voix
- Addition des signaux sur le même fil par principe de multiplexage fréquentiel
- Filtrage des signaux d'intérêts
- Création d'oscillateurs pour générer les fréquences d'intérêt

La figure 3 présente le schéma global de fonctionnement du projet d'intercom bidirectionnel.

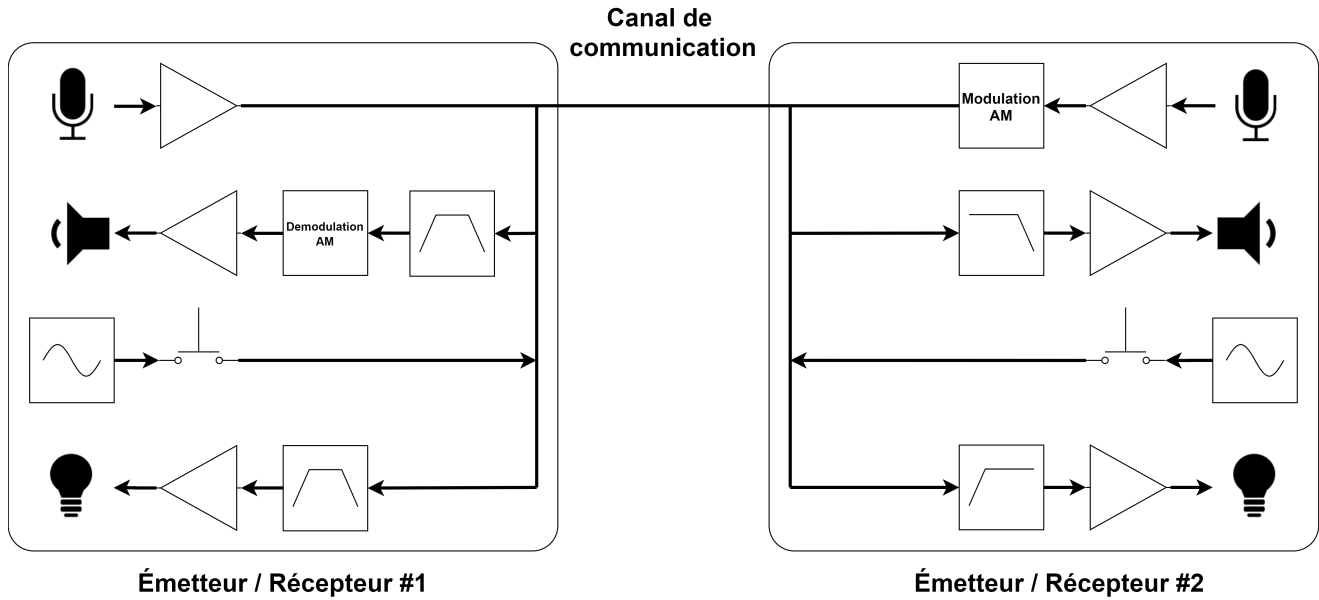


FIGURE 3 – Schéma global du système à concevoir.

2 Éléments de théorie

2.1 Modulation AM

2.1.1 Concept

La modulation, de façon très générale, est l'opération par laquelle un signal de référence (la *porteuse*) est modifié en fonction d'un signal d'information (le *signal modulant*). Comme son nom l'indique, la modulation d'amplitude (*AM*) est l'opération par laquelle le signal modulé est obtenu en faisant varier l'amplitude de la porteuse en fonction du signal modulant.

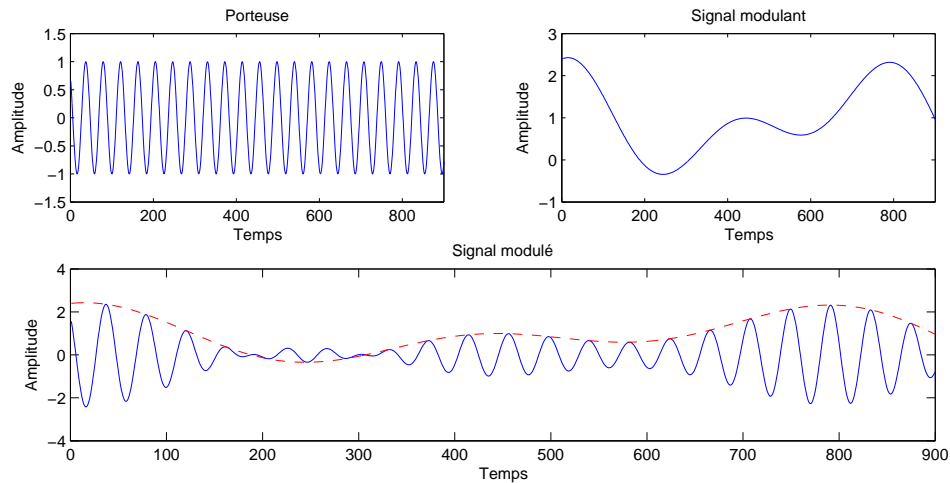


FIGURE 4 – Exemple de modulation AM.

Le but d'une modulation est de permettre la transmission de l'information contenue dans un signal modulant aux alentours de la fréquence de la porteuse. Ce concept n'est pas trivial : de très nombreuses applications dépendent d'une fréquence d'opération donnée. Il est nécessaire, par exemple, qu'une émission d'une chaîne de radio (signal d'information) soit transmise dans la bonne bande de fréquence (porteuse) pour que le concept de la transmission radio fonctionne. Les télécommunications, la musique et la télévision sont d'autres exemples d'applications basées sur la modulation.

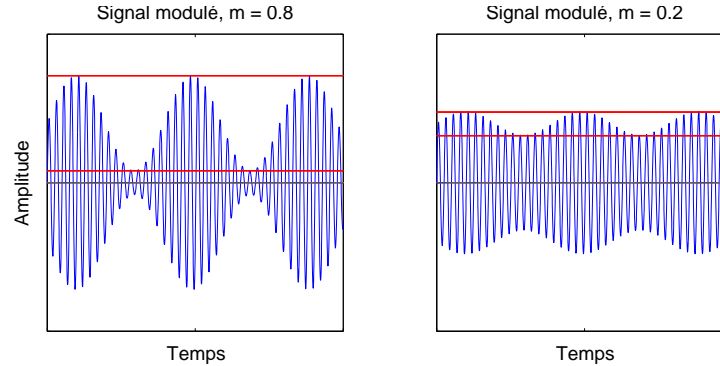


FIGURE 5 – Signaux AM d'une même fréquence avec indices de modulation différents

La figure 5 présente un paramètre notable de la modulation d'amplitude : l'indice de modulation. Il est défini mathématiquement comme le rapport entre l'amplitude maximale du signal modulé et son minimum :

$$m = \frac{\max_{\text{enveloppe}} - \min_{\text{enveloppe}}}{\max_{\text{enveloppe}} + \min_{\text{enveloppe}}} \quad (1)$$

En général, il est avantageux de transmettre des signaux avec des indices de modulation proches, mais inférieurs à 1, auquel cas le signal possède un rapport signal sur bruit optimal qui lui confère une meilleure immunité aux interférences.

La modulation AM revient à faire la multiplication de la porteuse avec le signal modulant. Les sections suivantes présenteront l'effet de cette opération sur la largeur de bande à prévoir pour un signal AM et des méthodes disponibles pour implémenter la multiplication avec des circuits électroniques.

2.1.2 Contenu fréquentiel et largeur de bande

La modulation en amplitude d'une porteuse est équivalente à la multiplication du signal avec le signal modulant. En considérant que la porteuse est une sinusoïde de pulsation ω_m et que le signal modulant est une fonction inconnue $m(t)$:

$$y_{\text{mod}}(t) = m(t) \times \sin(\omega_m t) \quad (2)$$

Le contenu fréquentiel du signal modulé y_{mod} peut être déterminé en transformant l'équation 2 dans le domaine de Fourier. Pour ce faire, il faut préalablement admettre des conditions sur le contenu fréquentiel du signal inconnu $m(t)$: pas de composante fréquentielle en dessous d'une

fréquence minimale f_{\min} (qui peut être égale à zéro) et au-dessus de f_{\max} (qui doit être finie). La figure 6 présente un spectre fréquentiel générique qui respecte ces conditions :

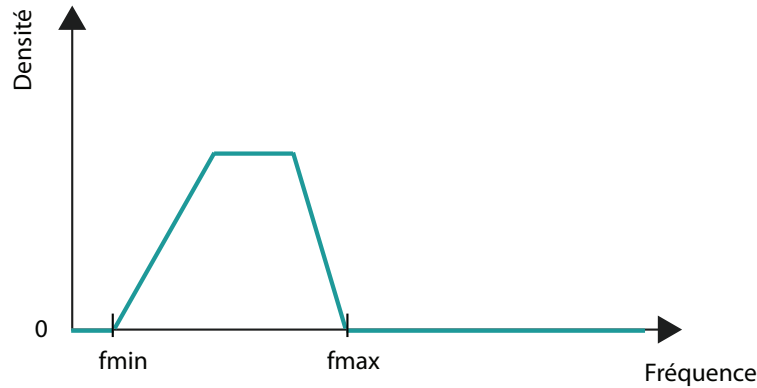


FIGURE 6 – Spectre fréquentiel générique avec une largeur de bande finie (entre f_{\min} et f_{\max}).

Sans entrer dans les détails des calculs dans le domaine de Fourier, il est suffisant de savoir que la multiplication par une sinusoïde dans le temps est égale en fréquence à une convolution avec une impulsion de Dirac située à la fréquence ω_m . Le résultat net est que le contenu fréquentiel du signal $m(t)$ est translaté de part et d'autre de la fréquence ω_m , comme le résume la figure 7.

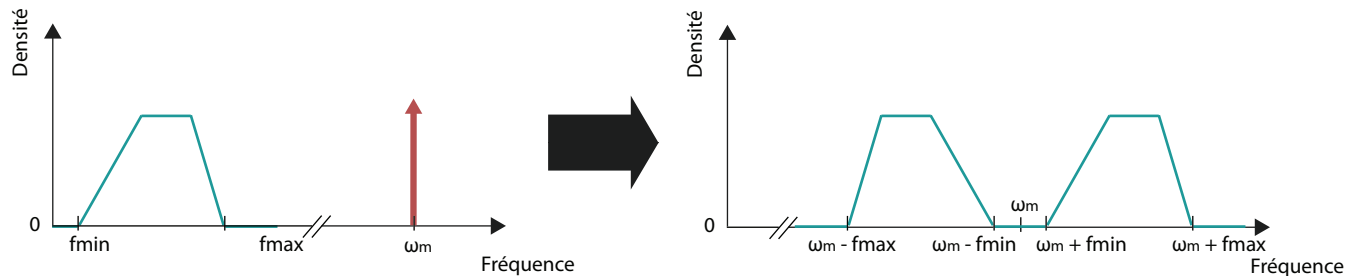


FIGURE 7 – Multiplication avec une sinusoïde dans le domaine de la fréquence.

La modulation AM a donc pour effet de créer un signal modulé y_{mod} dont la fréquence varie entre $\omega_m - f_{\max}$ et $\omega_m + f_{\max}$. Cette plage de fréquence, appelée la largeur de bande du signal modulé, doit être exempte de bruit ou d'autres signaux afin que l'information contenue dans la transmission ne soit pas dégradée ou perdue. La transmission de deux signaux modulés, par exemple, doit se faire sans chevauchement de leur contenu harmonique, et deux porteuses à 100 kHz et 101 kHz ne peuvent donc transmettre simultanément un signal de largeur de bande supérieure à 500 Hz.

2.1.3 Implémentation de la modulation

2.1.3.1 Modulation avec FET La modulation en amplitude d'un signal peut être vue comme la réalisation d'un montage dont le gain est fonction linéaire d'un signal d'entrée. Les montages de base d'ampli-op ne comprennent pas a priori une telle fonction, mais il est possible de les adapter avec l'ajout d'un composant actif comme un transistor.

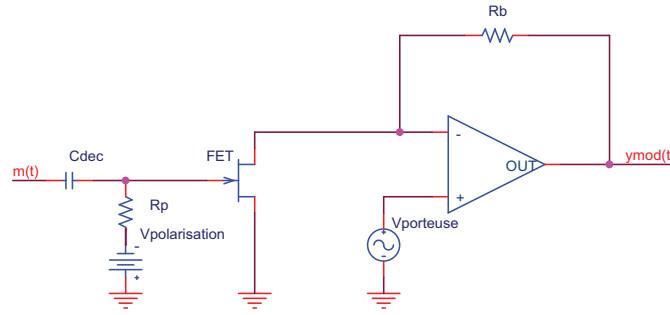


FIGURE 8 – Schéma de montage d'un modulateur AM à base d'un ampli-op et d'un JFET.

Le fonctionnement du modulateur de la figure 8 est basé sur la topologie d'ampli-op non-inverseur. De façon générale, le gain du montage non-inverseur dépend du rapport entre l'impédance de la boucle de rétroaction (R_b) et l'impédance à l'entrée négative, typiquement fixée par une résistance à la masse. Pour implémenter un modulateur, la résistance à l'entrée négative n'est pas fixée, mais plutôt déterminée par l'état d'un transistor JFET.

Un transistor JFET (*Junction gate Field-Effect Transistor*) est un composant électronique à trois ports dont l'utilité est de permettre le contrôle du passage du courant entre deux de ses ports par une tension au troisième. Les ports qui permettent le passage du courant sont nommés (pour des raisons techniques et historiques) le drain et la source, alors que le port qui permet le contrôle est appelé la grille (*gate* en anglais).

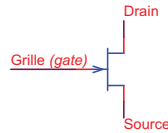


FIGURE 9 – Symbole du JFET.

Afin d'agir comme une résistance variable contrôlée par une tension, le JFET doit être utilisé dans une plage d'opération particulière. La figure 10 présente le comportement d'un JFET selon divers paramètres d'utilisation.

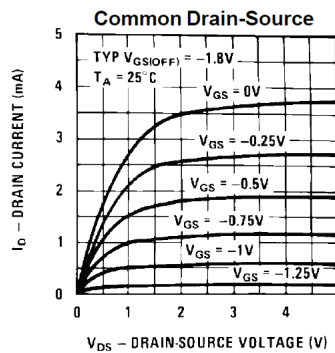


FIGURE 10 – Courbes caractéristiques d'un JFET.

Si la tension entre la grille et la source (V_{GS}) est nulle, le courant passant entre le drain et la source (I_D) est maximal. À mesure que V_{GS} devient de plus en plus négative, I_D diminue. Aussi, dépendamment de la tension drain-source (V_{DS}), le courant I_D est soit relativement constant ($\geq \approx 1.5V$) ou relativement proportionnel à la tension à l'entrée (0 à 1.5V). Dans cette dernière plage, où le courant est proportionnel à la tension, le transistor est vu par le reste du circuit comme une résistance. De plus, en faisant varier V_{GS} , la valeur de la résistance change, et le transistor agit donc comme une résistance variable contrôlée par une tension.

Pour réaliser le modulateur à base de JFET, il faut donc faire varier V_{GS} sur toute l'amplitude du signal modulant. Par exemple, pour la courbe caractéristique de la figure 10, il faudrait que le signal modulant varie entre 0 et $-1.25V$. En se référant au schéma de montage de la figure 4, $V_{polarisation}$ serait égale à $-0.625V$ (la moitié de la plage de V_{GS}) et le signal modulant devrait avoir une tension crête de $0.625V$.

2.1.4 Implémentation de la démodulation

La démodulation, l'opération inverse de la modulation, est utilisée pour l'interprétation de l'information contenue dans un signal modulé. L'objectif est évidemment de retrouver le signal modulant à partir d'un signal modulé. Comme pour l'étape de modulation, la démodulation peut être implémentée selon plus d'un principe. Il est possible, par exemple, de retrouver le signal modulant en multipliant de nouveau le signal modulé par la porteuse isolée (détecteur de produit). Une autre façon de faire, qui sera l'objet de cette section, est plutôt de détecter l'enveloppe du signal modulé.

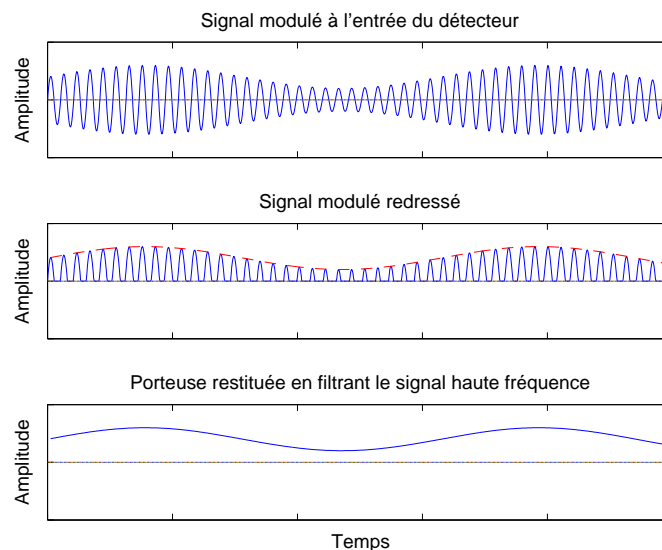


FIGURE 11 – Méthode de démodulation par détecteur d'enveloppe.

Le détecteur d'enveloppe fonctionne sur le même concept que la modulation par diode (voir section précédente). Comme le présente la figure 11, le détecteur fonctionne en deux temps : le signal modulé est d'abord redressé, puis un filtre passe-bas tue la porteuse dans le signal. Le

résultat est une approximation qui peut être assez fidèle du signal modulant, pourvu que les deux étapes soient conçues de façon à limiter la déformation de l'information.

Un schéma de détecteur d'enveloppe rudimentaire est donné à la figure 12.

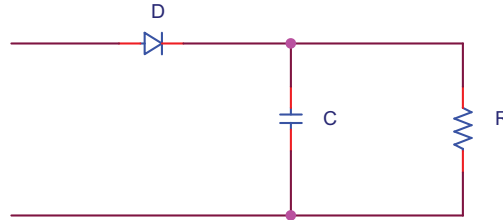


FIGURE 12 – Schéma de montage d'un détecteur d'enveloppe de base.

Les valeurs de R et C dans le montage dépendent de la fréquence de la porteuse. Les deux composants agissent comme le passe-bas qui retire la porteuse du signal et doivent donc posséder une fréquence de coupure $1/RC = f_c$ qui soit assez inférieure à la fréquence de la porteuse pour que la sortie ne soit pas déformée.

Il peut être nécessaire d'utiliser des détecteurs d'enveloppe plus sophistiqués que celui de la figure 12. En effet, dans le détecteur rudimentaire, plusieurs non-idéalités dans les composants peuvent compromettre l'intégrité de la démodulation :

- Tension seuil de diode \rightarrow Écrasement d'une partie du signal
- Vitesse d'inversion de la diode \rightarrow Redressement incomplet (il reste des signaux négatifs à la sortie de la diode).
- Capacité interne de la diode \rightarrow limitée en haute fréquence.
- Précision des composants $RC \rightarrow$ Précision sur la forme de l'enveloppe.

Bien que le dernier problème soit inhérent à l'implémentation, peu importe la topologie de circuit utilisée, il peut être intéressant de traiter les premiers points en choisissant une diode appropriée ou en utilisant des circuits redresseurs actifs. Ces montages plus complets sont laissés à la discrétion du concepteur.

2.2 Transmission avec multiplexage fréquentiel

2.2.1 Émission

Une émission de signaux avec multiplexage est une méthode permettant l'envoi simultané de plusieurs signaux dans une même ligne de transmission. En particulier, le multiplexage *fréquentiel* exploite le concept du contenu fréquentiel évoqué dans la section 2.1.2 : les signaux superposés possèdent chacun une plage de fréquence qui leur est exclusive et peuvent donc être éventuellement restitués (voir figure 13).

Dans le cas où l'objectif est d'envoyer plusieurs signaux dont le contenu fréquentiel se chevauche (par exemple plusieurs enregistrements audio, qui sont tous dans la bande 20 – 20000 Hz), il peut être nécessaire de préalablement moduler les signaux par une porteuse. L'opération de modulation déplace en effet en fréquence le contenu fréquentiel du signal (se référer à la figure 7 pour rappel) et permet de placer chacun des signaux dans une position où il n'y a pas de chevauchement. Cette

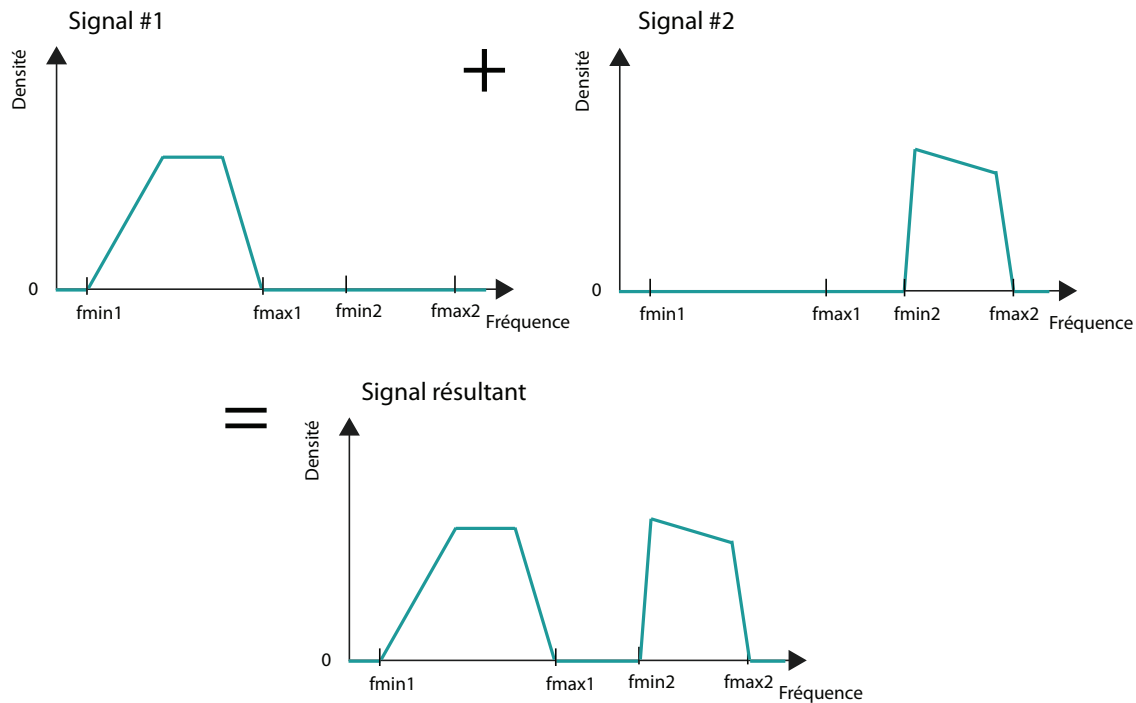


FIGURE 13 – Multiplexage en fréquence. À noter que dans le signal résultant, les deux spectres fréquentiels ne sont pas confondus et les signaux #1 et #2 peuvent donc être subséquemment isolés.

façon de faire permet d'envoyer tout signal limité en fréquence (qui n'a pas un spectre infini) autour d'une fréquence (la porteuse).

Pour des signaux qui ne se chevauchent pas en fréquence, ou qui ont été modulés de façon à ne pas se chevaucher, le multiplexage ne requiert que de faire la somme des signaux. Électriquement, cela équivaut typiquement à la connexion en parallèle des différents signaux ou à l'utilisation d'un sommateur.

2.2.2 Réception

La réception de signaux multiplexés est l'opération par laquelle plusieurs signaux superposés, qui ne se chevauchent pas dans leur contenu fréquentiel, sont restitués en autant de signaux isolés. Afin de pouvoir cibler un signal d'intérêt dans un signal sommé (voir troisième illustration dans figure 13), il est nécessaire de filtrer le contenu fréquentiel des autres signaux présents pour ne laisser que la plage de fréquence du signal intacte. De façon générale, cette opération se fera à l'aide d'un filtre passe-bande, centré sur la fréquence centrale d'un signal, et d'une largeur de bande permettant de ne pas déformer le signal tout en étant assez sélectif pour bien tuer le reste du contenu harmonique dans le spectre total du signal sommé (voir figure 14).

L'opération de filtrage peut être rendue complexe si les largeurs de bande de signaux superposés sont très rapprochées. Effectivement, puisque la complexité d'un filtre croît avec sa sélectivité, il est important de réserver des bandes de transition suffisantes de façon à limiter l'ordre des filtres passe-bande à utiliser.

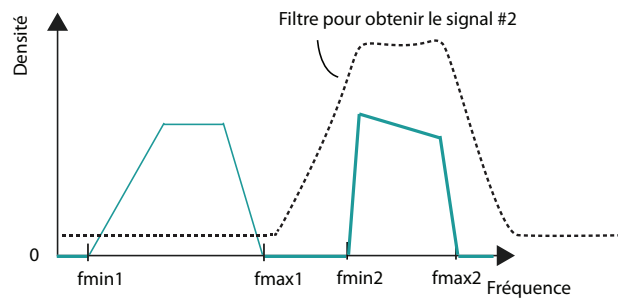


FIGURE 14 – Filtre pour démultiplexage. Le signal entre $f_{\min 2}$ et $f_{\max 2}$ sera le seul à passer à la sortie du filtre.

Finalement, dans le cas de signaux qui ont été modulés pour le multiplexage fréquentiel, il est à noter qu'à la sortie du filtre passe-bande associé à une porteuse donnée le signal n'est pas encore restitué. Effectivement, en plus de devoir isoler le contenu fréquentiel du signal modulé, il est aussi nécessaire de démoduler le signal (se référer à la section 2.1.4). Une transmission avec modulation AM multiplexée devient donc :

1. Modulation.
2. Somme avec les autres signaux.
3. Transmission (mise sous tension dans un fil de transmission).
4. Filtrage du signal d'intérêt.
5. Démodulation.

2.3 Oscillateurs

Les oscillateurs sont des circuits qui produisent des signaux périodiques de fréquence connue. Leur intérêt est de servir de base de temps ou de générer des fonctions périodiques pour des fonctions données. Dans un système de modulation AM, par exemple, des oscillateurs peuvent servir à générer les porteuses à l'interne, de façon à ce que le système soit indépendant de générateurs externes.

Il existe plusieurs types d'oscillateurs, avec des méthodes de fonctionnement très diversifiées, mais de façon générale il est possible de les classer selon le type de signal périodique qu'ils génèrent : les oscillateurs à onde carrée et les oscillateurs harmoniques.

2.3.1 Oscillateur à onde carrée

Les oscillateurs à onde carrée sont des circuits qui génèrent, souvent en exploitant un concept de non-linéarité, un signal périodique de forme carrée. Un exemple simple d'oscillateur de ce type est l'oscillateur à relaxation (voir figure 15).

Sans rappeler le détail de la théorie derrière l'oscillateur à relaxation, il est suffisant de savoir que l'oscillation est obtenue par le *Schmitt trigger* qui compare la sortie du circuit à la tension de charge d'un réseau RC. Le temps de charge du réseau RC définit la période du signal périodique

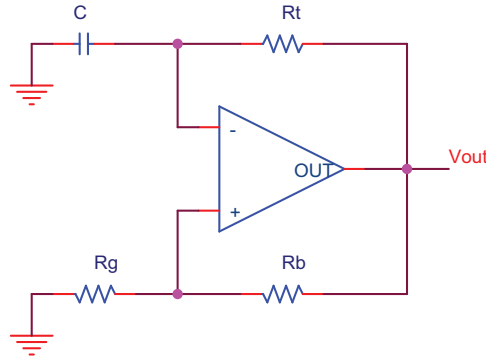


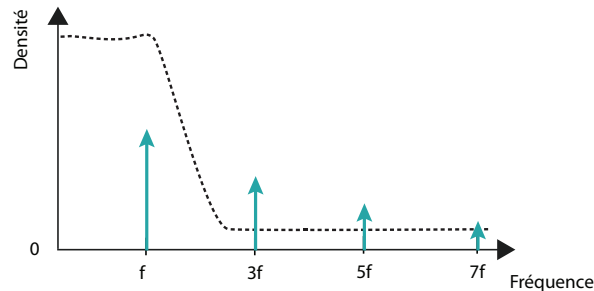
FIGURE 15 – Oscillateur à relaxation, qui produit une onde carrée.

selon :

$$T = 2R_t C \ln\left(1 + 2\frac{R_g}{R_b}\right) \quad (3)$$

et la sortie a donc la forme d'une onde carrée d'amplitude $\pm V_{sat}$ et de rapport cyclique de 50%.

Dans la situation où il est nécessaire d'obtenir une onde périodique de forme différente que carrée, les oscillateurs à onde carrée doivent être utilisés de concert avec des filtres de sortie. Sachant qu'un signal carré est une somme infinie de sinusoïdes (selon le concept de série de Fourier), il est facile d'obtenir par exemple une sinusoïde simple en filtrant tous les harmoniques d'un signal carré de façon à retenir seulement la fondamentale (voir figure 16).

FIGURE 16 – Obtention par filtrage d'une sinusoïde à partir d'une onde carrée. Une onde carrée est une somme de sinusoïde de fréquence $f, 3f, 5f...$ d'amplitude décroissante. Un filtre passe-bas permet de sélectionner seulement la fondamentale et d'obtenir à la sortie une sinusoïde seule.

L'oscillateur à relaxation n'est qu'un exemple de topologie de circuit oscillateur à sortie carrée qui fonctionne bien dans la plage 0 – 100 kHz. D'autres circuits, comme des circuits à base de *Timer 555* par exemple, sont tout aussi simples à concevoir et peuvent, selon le cas, présenter des avantages certains au niveau de la précision ou de la stabilité.

2.3.2 Oscillateur harmonique

Les oscillateurs harmoniques génèrent à leur sortie une sinusoïde plus ou moins pure à une fréquence de résonance qui est propre au système. Comme pour les oscillateurs à onde carrés, il

existe une multitude de circuits qui implémentent cette fonction, mais le présent document ne touchera pas directement à leur théorie.

L'annexe présente une section d'un document qui traite des oscillateurs harmoniques à résistance négative. Ces oscillateurs sont relativement simples à concevoir, produisent à leur sortie une sinusoïde sans nécessiter de filtre et dont le taux de déformation peut être gardé relativement bas.

D'autres oscillateurs harmoniques, comme l'oscillateur de *Pierce* par exemple, permettent d'obtenir des signaux périodiques très stables grâce à l'utilisation de quartz et sont souvent utilisés comme base de temps dans des circuits de précision. Ils peuvent toutefois être plus complexes à concevoir, fournissent des sinusoïdes souvent assez déformées et opèrent en général en dehors de la bande 0 – 100 kHz.

3 Déroulement du projet

3.1 Mandat

Dans le cadre de ce projet, vous serez amenés à produire plusieurs livrables. Contrairement aux expériences 1 et 2, les objectifs que vous devrez atteindre se suivent sur plusieurs semaines et se cumuleront pour constituer, au bout de la huitième semaine, un produit final englobant tous les résultats obtenus. Pour s'assurer que le projet progresse bien, il vous sera toutefois demandé, comme durant les expériences, de fournir un schéma de montage, des preuves de fonctionnement et des mesures de performance obtenues pour chacun des blocs. En somme, vous travaillerez selon une approche modulaire, où chacun des livrables est indépendamment caractérisé, de façon à ce que toutes les étapes soient bien documentées et dans l'optique que la mise en commun pour le projet final soit efficace et structurée.

Les sections suivantes décrivent les livrables, selon un échéancier basé sur des blocs de deux semaines. Les objectifs et critères font parfois intervenir votre numéro de table qui sera noté N_T . Les solutions adoptées sont à la discrétion de vos équipes¹ et sauf avis contraire les évaluations sont basées sur l'unique respect des exigences.

3.2 Livrables

3.2.1 Semaines 1-2

L'objectif des deux premières semaines du projet est la conception d'un modulateur AM. Ce modulateur permettra de moduler le second canal de transmission du système complet. Cette partie réfère au bloc de modulation de l'émetteur/récepteur #2 dans la Figure 3.

LIVRABLE #1 :

- ◇ **Livrable** : Modulateur AM d'une voix.
- ◇ **Cahier de charge** :
 - Indice de modulation supérieur à 0.50.

1. Pour encourager la recherche de solution, il est interdit d'utiliser un circuit intégré qui implémente directement un des livrables (exemple : puce de modulation AM). En cas de doute, se référer au chargé de laboratoire.

- À votre disposition : deux générateurs de fonctions.
- Fréquence de la porteuse : $40 + \frac{N_T}{2}$ kHz.
- Fréquence du signal modulant : de 0 à 10 kHz.
- Signal modulé ne présente pas de plages écrasées.
- Il n'est pas permis d'utiliser une bobine réelle.
- ◇ **Preuves de fonctionnement (En simulation + en laboratoire) :**
 - Oscillogrammes signal modulant + signal modulé avec le signal modulant à 200 Hz, 5 kHz et 10 kHz.
- ◇ **Mesures supplémentaires (En laboratoire uniquement) :**
 - Fréquence de porteuse maximale avant distorsion (oscillogramme avec porteuse de fréquence maximale).
 - Amplitude maximale des signaux d'entrées (porteuse, modulant, polarisation des signaux si applicable).
 - Impédance d'entrée et de sortie.

3.2.2 Semaines 3-4

Les semaines 3 et 4 sont consacrées à la démodulation des signaux créés dans les deux premières semaines. Le détecteur devra être en mesure de capter, dans un signal qui peut contenir plusieurs signaux modulés à différentes fréquences, l'information associée à une porteuse en particulier. Cette partie réfère au bloc de démodulation de l'émetteur/récepteur #1 dans la figure 3.

Cette opération permettra, dans les semaines 5 et 6, de capter la superposition de plusieurs signaux d'information pour ensuite isoler un des signaux d'information du système (un canal de communication, ou l'état d'un interrupteur). L'objectif des deux semaines est donc non seulement de bâtir un démodulateur AM, mais aussi de concevoir un filtre d'entrée de façon à ce que le détecteur soit uniquement sensible à une plage de fréquences d'intérêt.

LIVRABLE #2 :

- ◇ **Livrable :** Filtre passe-bande autour de la fréquence de modulation.
- ◇ **Cahier de charge :**
 - Largeur de bande du filtre d'entrée : 20 kHz.
 - Fréquence centrale du filtre d'entrée : $40 + \frac{N_T}{2}$ kHz.
 - Largeur de la bande d'arrêt : ≤ 40 kHz
 - Atténuation hors-bande : 20 dB.
- ◇ **Preuves de fonctionnement (En laboratoire + en simulation) :**
 - Réponse en fréquence du filtre d'entrée de 10 Hz à 100 kHz.
 - Impédance d'entrée et de sortie du filtre d'entrée.

LIVRABLE #3 :

- ◇ **Livrable :** Démodulateur AM d'une voix.

◇ **Cahier de charge :**

- Taux de distorsion d'une sinusoïde : $\leq 5 \%$

◇ **Preuves de fonctionnement (En laboratoire + en simulation) :**

- Oscillogramme signal modulé + signal démodulé pour un signal modulant de 200 Hz, 5 kHz et 10 kHz.

◇ **Preuves de fonctionnement (En laboratoire uniquement) :**

- Taux de distorsion harmonique pour des signaux modulants de 200 Hz, 5 kHz et 10 kHz. Cette mesure doit être prise en considérant l'ensemble des blocs mis en cascade. C'est-à-dire le modulateur suivi du filtre et du démodulateur.

3.2.3 Semaines 5-6

Après avoir conçu les unités de base de transmission AM dans les semaines 1 à 4, vous serez amenés dans les semaines 5 et 6 à utiliser le concept de multiplexage fréquentiel afin d'obtenir un seul canal de communication possédant différentes informations.

Ainsi, vous aurez à créer un filtre pour la voix non-modulée, un filtre pour un interrupteur ainsi qu'un sommateur permettant de lier tous ces signaux sur un seul fil. Grâce au modulateur et démodulateur précédemment conçu, il sera possible de combiner toutes les informations sur le même fil et de les récupérer de façon séparée.

Les différents livrables pour la semaine 5 et 6 ont un cahier de charge plus flexible. Ceci est dû au fait que les différents systèmes conçus précédemment commencent à être mis ensemble pour créer le système global du projet. Ainsi, durant les semaines 5 et 6, vous devrez vous assurer que chaque module fonctionne avec les autres.

LIVRABLE #4 :

- ◇ **Livrable :** Filtre passe-bas pour la voix non-modulée.

◇ **Cahier de charge :**

- Largeur de bande : 10 kHz
- Largeur de la plage de transition : ≤ 5 kHz
- Atténuation hors-bande : 20 dB

◇ **Preuves de fonctionnement (En simulation + en laboratoire) :**

- Réponse en fréquence du filtre de 10 Hz à 100 kHz.

LIVRABLE #5 :

- ◇ **Livrable :** Filtre pour le signal d'un interrupteur.

◇ **Cahier de charge :**

- Filtre permettant de filtrer le signal de l'interrupteur
- Les caractéristiques de ce filtre sont arbitraires. Cependant, elles doivent être justifiées dans votre rapport.

◇ **Preuves de fonctionnement (En simulation + en laboratoire) :**

- Réponse en fréquence du filtre de 10 Hz à 100 kHz.

LIVRABLE #6 :

- ◊ **Livrable :** Sommateur. Mise en commun de tous les signaux d'informations sur un seul fil de transmission.
- ◊ **Cahier de charge :**
 - Ligne de transmission à deux fils (fil d'information, fil de mise à la terre).
 - Premier signal : Voix modulée
 - Deuxième signal : Voix non-modulée
 - Autres signaux : Interrupteurs
- ◊ **Preuves de fonctionnement (En simulation + en laboratoire) :**
 - Un oscillogramme et une FFT des signaux sommés.
 - Un oscillogramme de chaque signal du début à la fin (Avant ajout sur le fil de communication et après récupération).
- ◊ **Mesures supplémentaires (En laboratoire uniquement) :**
 - Quantité maximale d'interrupteurs pouvant être ajoutés sur la bande de communication (0 à 100 kHz) en fonction de la largeur de bande occupée par chaque signal.

3.2.4 Semaines 7-8

Jusqu'à maintenant, le projet dépendait de générateurs de fonction pour produire les signaux utilisés à l'entrée du système. Les deux dernières semaines de l'échéancier portent sur la conception d'oscillateurs. L'objectif est de générer les porteuses nécessaires aux transmissions AM sans l'apport de référence extérieure. De plus, les microphones devront être ajoutés au système global afin de générer des signaux de voix. À la fin des deux semaines, vous devriez être en mesure d'utiliser le système d'intercom dans son ensemble.

LIVRABLE #7 :

- ◊ **Livrable :** Oscillateurs sinusoïdaux.
- ◊ **Cahier de charge :**
 - Nombre d'oscillateurs : Autant que nécessaire (Voix modulée + interrupteurs).
 - Taux de distorsion maximal des sinusoïdes : 5%.
 - Amplitude de sortie : selon les amplitudes nécessaires au fonctionnement de vos modules.
 - Fréquence de sinusoïde : selon les fréquences nécessaires au fonctionnement de vos modules.
- ◊ **Preuves de fonctionnement (En simulation + en laboratoire) :**
 - Oscillogramme de chacun des oscillateurs.
- ◊ **Mesures supplémentaires (En laboratoire uniquement) :**

- Impédance de sortie.
- Taux de distorsion harmonique des sinusoïdes.

LIVRABLE #8 :

- ◊ **Livrable :** Microphones.
- ◊ **Cahier de charge :**
 - Montage capable de générer un signal avec une amplitude nécessaire au bon fonctionnement du système.
- ◊ **Preuves de fonctionnement (En laboratoire uniquement) :**
 - Oscillogramme du signal généré par le montage du microphone pour des fréquences sonores de 200 Hz, 5 kHz et 10 kHz.

4 Préparation

Afin que les périodes de conception supervisées qui sont mises à votre disposition dans le cadre de l'expérience 1 soient constructives, il est nécessaire que vos équipes préparent préalablement l'aspect théorique de l'implémentation des livrables. Ces préparations, qui sont détaillées ci-dessous, sont à remettre sur *Moodle* le mercredi avant 12h.

Les préparations n'ont pas besoin de contenir des explications et des discussions détaillées. Elles ne devraient contenir que des simulations, calculs et schémas qui constituent une preuve de fonctionnement préliminaire de vos montages. Vous aurez donc à présenter à nouveau ces simulations dans votre rapport, où vous discuterez plus en détail des simulations et des résultats obtenus en laboratoire.

4.1 Semaine 1-2

Livrable #1 : Modulateur AM d'une voix

- Le schéma de montage de votre solution.
- Une simulation transitoire montrant le signal modulant, la porteuse et le signal modulé pour un signal modulant de 200 Hz, 5 kHz et 10 kHz.

4.2 Semaine 3-4

Livrable #2 : Filtre passe-bande autour de la fréquence de modulation

- Le schéma de montage de votre solution.
- Une simulation de la réponse en fréquence de 10 Hz à 100 kHz.
- Le calcul théorique de l'impédance d'entrée et de sortie du filtre d'entrée.

Livrable #3 : Démodulateur AM d'une voix

- Le schéma de montage de votre solution.
- Une simulation transitoire du signal modulé + signal démodulé pour un signal modulant de 200 Hz, 5 kHz et 10 kHz.

4.3 Semaine 5-6

Livrable #4 : Filtre passe-bas pour la voix non-modulée

- Le schéma de montage de votre solution.
- Une simulation de la réponse en fréquence de 10 Hz à 100 kHz.

Livrable #5 : Filtre pour le signal d'un interrupteur

- Le schéma de montage de votre solution.
- Une simulation de la réponse en fréquence de 10 Hz à 100 kHz.

Livrable #6 : Sommateur

- Un schéma qui présente votre choix de multiplexage fréquentiel (complétez la figure 2)
- Une simulation de tous les signaux sommés (temporel et FFT).

4.4 Semaine 7-8

Livrable #7 : Oscillateurs sinusoïdaux

- Le schéma de montage d'un oscillateur.
- Un oscillogramme pour chaque oscillateur (aux fréquences nécessaires).

Livrable #8 : Microphones

- Le schéma de montage de votre solution.

5 Rapport

Le rapport de projet est un compte rendu du travail effectué durant les huit semaines de conception associées à votre projet. L'objectif de ce compte rendu est de transmettre à un lecteur les détails de la solution que vous proposez ainsi que les résultats obtenus. La transmission des acquis est un aspect important du travail d'ingénieur et vous êtes donc fortement encouragés à investir un maximum d'effort dans l'écriture assidue de votre rapport. Notamment, portez une attention particulière à la rigueur, la clarté ainsi qu'à l'exhaustivité dans votre document, de façon à ce que votre compte rendu soit intéressant et efficace.

En plus du rapport final, vous aurez également à remettre des rapports intermédiaires pour chaque unité de 2 semaines (sauf la dernière) qui vous permettront d'obtenir certains retours sur votre performance.

Les rapports intermédiaires comptent chacun pour 15% de votre note de projet, et le rapport final pour 55%. L'évaluation du projet inclut également une démonstration du fonctionnement de votre montage en laboratoire, qui aura lieu lors de la dernière séance de laboratoire. Cette évaluation compte pour 5% de votre note globale.

5.1 Barème d'évaluation des rapports intermédiaires

- | | |
|--|------|
| • (Remise de la préparation) | 1 pt |
| • Explication des choix effectués pour les solutions | 1 pt |

• Calculs liés aux solutions	1 pt
• Circuits de montage	1/2 pt
• Preuves de fonctionnement	2 pt
◦ Présentation des simulations	
◦ Présentation des mesures obtenues en laboratoire	
• Conformité au cahier des charges	1 pt
• Analyse des solutions	2 1/2 pt
◦ Comparaison théorie/simulation/pratique	
◦ Améliorations possibles	
◦ Autres solutions possibles	
◦ Etc.	
• Qualité de document	1 pt
TOTAL : 10 pt	

5.2 Barème d'évaluation du rapport final

• (Remise de la préparation)	1 pt
• Introduction	1 pt
• Pour chaque livrable (8 au total) :	
◦ Explication des choix effectués pour la solution	1/2 pt
◦ Calculs liés à la solution	1/2 pt
◦ Circuit de montage	1/4 pt
◦ Preuves de fonctionnement	1 pt
◊ Présentation des simulations	
◊ Présentation des mesures obtenues en laboratoire	
◦ Conformité au cahier des charges	1/2 pt
◦ Analyse de la solution	1 1/4 pt
◊ Comparaison théorie/simulation/pratique	
◊ Améliorations possibles	
◊ Autres solutions possibles	
◊ Etc.	
• Analyse globale de la solution	4 pt
• Conclusion	1 pt
• Qualité de document	1 pt
• Points bonus par interrupteur supplémentaire (+1/2 pt par interrupteur, +1 pt max)	
TOTAL : 40 pt	

5.3 Information sur la remise

- Tous les rapports doivent être remis par la soumission web sur *Moodle* dans la section prévue à cet effet. Toute autre remise ne sera pas corrigée.
- Le fichier soumis doit être un PDF nommé <groupe>-<équipe>.pdf (exemple : groupe1-équipe3.pdf). Le non-respect de cette convention amènera une pénalité automatique de 1 pt dans «Qualité de document».
- L'heure de remise est 23h55.
- Les retards sont pénalisés (−10% par jour).

Références

- [1] S. Franco, *Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits*, 3rd edition. New York : McGraw-Hill, 2002.