

Capacités exigibles :

- Exprimer la répartition de la puissance dans le domaine fréquentiel.
- Calculer la puissance active dans le cas de signaux périodiques, connaissant leur contenu spectral
- Définir, utiliser et mesurer des grandeurs exprimées en *dB*.
- Identifier à l'aide de la densité spectrale de puissance les différents types de bruit.
- Calculer un rapport signal sur bruit.

Capacités expérimentales :

- Utiliser PYTHON pour évaluer à l'œil, à l'oreille le rapport signal sur bruit
- Utiliser PYTHON pour calculer la valeur efficace d'un signal non périodique.

Travail préparatoire à faire à la maison :

Compléter l'annexe 01 du TP 08.

APPEL 0 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

I. Rapport signal sur bruit pour un bruit « simple » :

A. Premier cas :

On étudie un signal $u(t)$ variable, périodique, sinusoïdal, alternatif, de fréquence $f_1 = 1000 \text{ Hz}$, d'amplitude $U_m = 5,000 \text{ V}$. Le signal $u(t)$ est celui qui contient l'information (que l'on ne souhaite pas dégrader).

1. A l'aide de votre travail préparatoire rédigé sur l'annexe 01 et de la fiche méthode 05, déterminer la valeur de la puissance moyenne **normalisée** du signal $u(t)$, notée P_{signal} .

Lors du traitement de ce signal $u(t)$ par un système, un bruit nommé $b(t)$ vient s'ajouter au signal $u(t)$. On obtient alors un signal bruité nommé $s(t)$.

Nous allons utiliser PYZO afin de simuler les représentations temporelles de ces trois signaux. Dans PYZO, sous Python (version 3.6.7), ouvrir le fichier `TP08_signal_bruit_sinus.py`.

On souhaite tracer 4096 points pour chaque graphe, sur une durée correspondant à deux périodes du signal $u(t)$. Dans le code, la variable t_{max} correspond à la durée de deux périodes.

Compléter l'ensemble des lignes « vides » du fichier, sachant que l'unité de t_{max} est la seconde. Lancer l'exécution du script.

APPEL 1 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Mettre la représentation temporelle en plein écran, puis enregistrer-le au format PDF sur votre espace disque. Ouvrir le PDF et imprimer-le au format paysage.

2. Qualifier à l'aide des adjectifs usuels, le bruit $b(t)$.
3. A l'aide de votre travail préparatoire rédigé sur l'annexe 01 et de la fiche méthode 05, déterminer la valeur de la puissance moyenne **normalisée** du bruit $b(t)$, notée P_{bruit} .
4. A l'aide de votre travail préparatoire rédigé sur l'annexe 01, en déduire la valeur du rapport signal sur bruit SNR .
5. A l'aide de votre travail préparatoire rédigé sur l'annexe 01, en déduire la valeur du rapport signal sur bruit en décibel SNR_{dB} .

Vérification sur Python :

Dans le script du fichier *TP08_signal_bruit_sinus.py*, à la ligne 35, coller le code contenu dans le script *TP08_signal_bruit_sinus_comp.py*.

Les lignes permettant de créer la fonction nommée « *rms* » (calculant la valeur efficace d'un signal) se complètent à l'aide des fonctions suivantes :

- la fonction puissance se rédigeant `**`
- la fonction racine carrée se rédigeant `np.sqrt()`
- la fonction valeur moyenne se rédigeant `np.mean()`

Les lignes permettant de créer la fonction nommée « *P* » (calculant la puissance moyenne normalisée d'un signal) doivent être complétées à l'aide du modèle qu'est la fonction « *rms* ».

Une fois le script complété, lancer son exécution.

6. Dans le champ libre à côté des symboles `>>>`, vérifier à l'aide de la fonction `P()`, que les deux valeurs obtenues dans les questions 01 et 03 sont correctes. On notera sur sa copie, les valeurs obtenues via Python avec 4 chiffres significatifs.

Vérifier que les valeurs obtenues sont identiques : si ce n'est pas le cas, appeler l'enseignant pour de l'aide.

APPEL 2 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

B. Augmentation de 3,0 dB du rapport signal sur bruit :

On cherche à améliorer le rapport signal sur bruit SNR_{dB} en l'augmentant de 3,0 dB.

7. Quelle puissance moyenne normalisée doit-on diminuer dans la précédente simulation afin d'augmenter SNR_{dB} ?
8. Déterminer l'expression littérale de P_{bruit} en fonction de P_{signal} et de SNR_{dB} . Puis, calculer la nouvelle valeur de cette puissance moyenne normalisée, permettant d'obtenir un rapport signal sur bruit SNR_{dB} augmenté de 3,0 dB.
9. Par combien a été divisée cette puissance moyenne normalisée entre sa première valeur et sa seconde valeur ?
10. A partir de la nouvelle valeur de cette puissance moyenne normalisée, déterminer la nouvelle valeur de l'amplitude du bruit.

Vérification sur Python :

Dans le script du fichier *TP08_signal_bruit_sinus.py*, avant la partie du code concernant le graphe, créer **la grandeur** nommée SNR_{dB} et saisir sa formule littérale en utilisant la fonction `P()`, la fonction logarithme décimal se rédigeant `np.log10()`.

Sur la ligne suivante, rédiger les deux lignes suivantes :

```
print('Le rapport signal sur bruit en dB est')  
print(SNRdB)
```

Lancer l'exécution du code. Dans le shell, vérifier que la valeur affichée pour le rapport signal sur bruit SNR_{dB} correspond à celle déterminée à la question 05.

Vérifier que les valeurs obtenues sont identiques : si ce n'est pas le cas, appeler l'enseignant pour de l'aide.

Ensuite, modifier la valeur de l'amplitude du bruit, en saisissant celle obtenue dans la question 10.

Dans le shell, vérifier que la valeur affichée pour le rapport signal sur bruit SNR_{dB} a bien augmenté de 3,0 dB.

APPEL 3 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

C. Influence de la fréquence du bruit sur le rapport signal sur bruit :

Dans le script, changer la valeur de la fréquence du bruit $b(t)$ en multipliant la valeur déjà présente par 5. Lancer l'exécution du script.

11. En observant la représentation temporelle, « à l'œil », recopier la phrase suivante et choisir la proposition qui vous convient :

Lorsque la fréquence du bruit augmente, le bruit semble, à l'œil, augmenter / diminuer / rester constant.

12. En observant la représentation temporelle, « à l'œil », recopier la phrase suivante et choisir la proposition qui vous convient :

Lorsque la fréquence du bruit augmente, le rapport signal sur bruit semble, à l'œil, augmenter / diminuer / rester constant.

13. A l'aide de la valeur indiquée dans le shell, vérifier l'évolution de SNR_{dB} lorsque la fréquence du bruit augmente. Conclure sur la fiabilité de votre « œil » comme appareil de mesure.

APPEL 4 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

En réalité, lorsqu'un signal est bruité par un système, **le bruit est rarement périodique et sinusoïdal.**

II. Rapport signal sur bruit – bruit blanc :

A. Première approche par simulation :

Dans ce paragraphe, on étudie le signal $u(t)$ variable, périodique, sinusoïdal, alternatif, de fréquence $f = 440 \text{ Hz}$, d'amplitude $U_m = 2,000 \text{ V}$. Le signal $u(t)$ est celui qui contient l'information (que l'on ne souhaite pas dégrader).

Lors du traitement de ce signal $u(t)$ par un système, un bruit nommé $b(t)$ vient s'ajouter au signal $u(t)$. On obtient alors un signal bruité nommé $s(t)$.

Nous allons utiliser PYZO afin de simuler le signal bruité. Dans PYZO, sous Python (version 3.6.7), ouvrir le fichier `TP08_signal_bruit.py`.

Le bruit $b(t)$ est simulé ici à l'aide du tirage d'un nombre aléatoire, selon une loi Gaussienne : cela permet d'obtenir un bruit plus proche de la réalité (contrairement au bruit du premier paragraphe). Dans le code, $800 \times N$ correspond au nombre total de tirages effectués. Pour l'instant, $N = 100$ (voir ligne 25)

Compléter les lignes 19 et 38 . Lancer l'exécution du code. Observer alors les trois représentations temporelles obtenues. Le quatrième graphe nommé « Étude statistique du bruit » sera exploité plus tard.

APPEL 5 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

14. Le bruit $b(t)$ est-il périodique ? Connaissez-vous une méthode pour calculer sa valeur efficace ?

Évolution du bruit « à l'œil » :

Faire varier le nombre N de tirages (ligne 25) en suivant les valeurs suivantes : 50, 200, 500, 800. Lancer l'exécution du code pour chaque nouvelle valeur de N .

15. A l'aide de la fonction `np.mean()`, dans le champ libre à côté des symboles `>>>`, déterminer la valeur moyenne du bruit b (avec 3 chiffres significatifs) pour $N = 50, 200, 500, 800$.

16. Pour chacun de ces cas, le bruit $b(t)$ est-il proche d'être alternatif ?

Étude statistique du bruit :

A l'aide des histogrammes en annexe 02, répondre aux questions suivantes :

17. Pour $N = 800$, quelle valeur (en volt) semble tirée au sort le plus fréquemment ?

18. A quelle grandeur caractéristique du bruit $b(t)$ correspond cette valeur (en volt) ?

19. Lorsque N augmente, la forme de l'enveloppe de l'histogramme (graphe en bleu) devient-elle de plus en plus lisse ou de plus en plus accidentée ?

20. En observant la représentation temporelle du bruit, « à l'œil », recopier la phrase suivante et choisir la proposition qui vous convient :

Lorsque le nombre de tirages N augmente, le bruit semble, à l'œil, augmenter / diminuer / rester constant

21. En observant la représentation temporelle, « à l'œil », recopier la phrase suivante et choisir la proposition qui vous convient :

Lorsque le nombre de tirages N augmente, le rapport signal sur bruit semble, à l'œil, augmenter / diminuer / rester constant.

APPEL 6 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

B. Évolution du bruit « à l'oreille » :

Brancher deux casques et un doubleur de prise jack : mettre les casques. Éliminer le symbole # des 5 dernières lignes du code et mettre $N = 100$.

Lorsque le script sera exécuté, le signal $u(t)$ sera d'abord joué puis le signal bruité $s(t)$ sera joué à son tour.

Lancer l'exécution du code une fois les casques branchés (pour éviter de rendre fou votre enseignant). Faire varier le nombre N de tirages en suivant les valeurs suivantes : 100, 200, 500, 800. Lancer l'exécution du code pour chaque nouvelle valeur de N .

22. Après écoute, en vous fiant « à l'oreille », recopier la phrase suivante et choisir la proposition qui vous convient :

Lorsque le nombre de tirages N augmente, le bruit semble, à l'oreille, augmenter / diminuer / rester constant

23. Après écoute, en vous fiant « à l'oreille », recopier la phrase suivante et choisir la proposition qui vous convient :

Lorsque le nombre de tirages N augmente, le rapport signal sur bruit semble, à l'oreille, augmenter / diminuer / rester constant.

APPEL 7 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

On souhaite savoir si on peut se fier à « nos yeux » et/ou à nos « oreilles » pour déterminer l'évolution de ce type de bruit.

C. Calculs des rapports signal sur bruit :

Pour savoir comment évolue rigoureusement le rapport signal sur bruit lorsque N augmente, sans se fier à notre œil ou à notre oreille, nous allons déterminer sa valeur pour chaque tirage, dans la suite de ce paragraphe.

Remettre le symbole # sur les 5 dernières lignes du code et mettre le nombre N de tirages sur 100 : lancer l'exécution du code.

24. A l'aide de vos connaissances, déterminer la valeur efficace $U_{eff,signal}$ du signal $u(t)$.

Dans le champ libre à côté des symboles >>>, vérifier à l'aide de la fonction $rms()$, que la valeur obtenue dans la question 24 est correcte.

25. A l'aide de votre travail préparatoire rédigé sur l'annexe 01, en déduire la valeur de la puissance moyenne **normalisée** du signal $u(t)$, notée P_{signal} .

26. A l'aide de la fonction $rms()$, sur Python, déterminer la valeur efficace (avec 4 CS) du bruit $U_{eff,bruit}$ du bruit $b(t)$. Noter cette valeur puis en déduire la valeur de la puissance moyenne **normalisée** du bruit $b(t)$, notée P_{bruit} .

Vous pouvez alors remercier Python de vous avoir calculer la valeur efficace d'un signal non périodique !

27. A l'aide de votre travail préparatoire rédigé sur l'annexe 01, en déduire la valeur du rapport signal sur bruit SNR et du rapport signal sur bruit en décibel SNR_{dB} .

APPEL 8 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

28. Compléter le tableau en annexe 03, à l'aide de Python (on exécutera le script pour chaque valeur de N) et de différents calculs que l'on rédigera dans les cases vides.

29. A l'aide de votre tableau en annexe 03 (et donc d'un raisonnement scientifique rigoureux, qui ne se base pas sur vos sensations), répondre aux questions suivantes : comment évolue réellement « le bruit » lorsque N augmente ? Comment évolue réellement le rapport signal sur bruit lorsque N augmente ?

30. Conclure en répondant à la question suivante : peut-on se fier à « nos yeux », à nos « oreilles » pour déterminer l'évolution du bruit (voir Q20 et Q22) ?

APPEL 9 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

III. Rapport signal sur bruit dans un système :

Dans cette partie, on souhaite calculer le rapport signal sur bruit à l'entrée d'un amplificateur linéaire intégré (modèle OPA 227) présent dans un amplificateur audio, de bande passante allant de $f = 1000 \text{ Hz}$ à $f = 20 \text{ kHz}$.

Le signal d'entrée $u(t)$ est variable, périodique, carré de fréquence $f_1 = 5000 \text{ Hz}$, d'amplitude $U_m = 5,00 \text{ V}$ et de valeur moyenne $\langle u(t) \rangle = 1,00 \text{ V}$.

A. Détermination de la puissance moyenne normalisée du signal P_{signal} :

31. D'après la bande passante du système, quels sont les rangs des harmoniques du signal à prendre en compte dans notre raisonnement ? Faut-il prendre en compte la composante continue du signal ?

32. A l'aide de vos connaissances, calculer la puissance moyenne normalisée du signal $\langle P(t) \rangle$ (ou encore notée P_{signal}) en ne prenant en compte que les harmoniques cités dans la question précédente.

APPEL 10 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

B. Détermination de la puissance moyenne normalisée du bruit P_{bruit} :

Le bruit qui se superpose au signal $u(t)$ contenant l'information, est dû ici, à un phénomène aléatoire, provenant de causes internes liées au système utilisé contenant un amplificateur linéaire intégré.

Cette partie du TP a pour but d'apprendre à déterminer P_{bruit} , pour un bruit aléatoire (sans l'aide de Python).

Document 01 : bruit blanc et racine carrée de la densité spectrale de puissance

Pour déterminer la puissance moyenne normalisée d'un bruit aléatoire (donc non périodique), on utilise une grandeur nommée « la racine carrée de la densité spectrale de puissance ». On la note e_n et son unité est le V/\sqrt{Hz} .

Type de bruit	Allure de $e_n(f)$
Bruit blanc	

33. A l'aide du document 01 et de l'annexe 04, déterminer sur quel intervalle de fréquences, le bruit généré par l'amplificateur est blanc.
34. A l'aide de votre annexe 01, déterminer la puissance moyenne normalisée du bruit, notée P_{bruit} .
35. A l'aide de votre annexe 01, déterminer les valeurs respectives de SNR et SNR_{dB} pour le signal et le système étudié.

APPEL 11 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

C. Influence de la largeur de la bande passante :

On souhaite calculer le rapport signal sur bruit à l'entrée de l'amplificateur linéaire intégré (modèle OPA 227) présent dans un amplificateur audio, de bande passante allant de $f = 4000 Hz$ à $f = 16\ 000 Hz$.

Le signal d'entrée $u(t)$ est variable, périodique, carré de fréquence $f_1 = 5000 Hz$, d'amplitude $U_m = 5,00 V$ et de valeur moyenne $\langle u(t) \rangle = 1,00 V$.

36. Déterminer les valeurs respectives de SNR et SNR_{dB} pour le signal et le système étudié.
37. Comment évolue le rapport signal sur bruit lorsque la bande passante du système diminue ?

APPEL 12 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

IV. Les différents types de bruits aléatoires :

Ouvrir Regressi, puis aller dans FICHIER/NOUVEAU/SIMULATION.

La variable de contrôle sera nommée f , son unité Hz, son minimum 1 et son maximum 100.

38. A l'aide de Regressi, pour les exemples suivants, tracer les graphes permettant de compléter l'annexe nommée « TP_08_annexe_bruit.doc », grâce à des captures d'écran.

Types de bruits	Exemple de $DSP(f)$
Bruit blanc	$DSP(f) = 90 \text{ nV}^2/\text{Hz}$
Bruit rose	$DSP(f) = 5 \times \frac{1}{f}$
Bruit brun ou brownien ou rouge	$DSP(f) = 5 \times \frac{1}{f^2}$
Bruit bleu	$DSP(f) = 5 \times f$
Bruit violet	$DSP(f) = 5 \times f^2$

Écouter le fichier sonore nommé « TP08_bruits_blan_rose_brun.mp4 » afin de se rendre compte des différences audibles pour les trois premiers bruits.

APPEL 13 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Une fois l'appel réalisé, imprimer le document « TP_08_annexe_bruit.doc », au format paysage.

V. Densité spectrale de puissance et bruit thermique dans un conducteur ohmique :

Pour déterminer la puissance moyenne normalisée d'un bruit aléatoire (donc non périodique), on peut aussi utiliser une grandeur nommée la densité spectrale de puissance, notée DSP . Son unité est le V^2/Hz .

Un bruit blanc a une représentation graphique $DSP(f)$, constante.

Un conducteur ohmique, même quand il n'est pas traversé par un courant, n'est pas dans un état de repos absolu.

En effet, à température non nulle (différente de $T = 0K$), il est le siège d'une agitation thermique qui entraîne le déplacement des électrons à l'intérieur de ce conducteur.

Un courant de bruit, de valeur moyenne nulle, prend donc naissance à l'intérieur. C'est l'interaction entre le "gaz d'électrons libres" assurant la conduction et le réseau fixe qui assure la mise à l'équilibre thermique du système.

Cette interaction expliquant macroscopiquement la résistance du conducteur, il est donc naturel que l'on trouve une relation liant les fluctuations du courant (ou de la tension), la résistance et la température dans ce conducteur.

Une première étude expérimentale due à J. B. JOHNSON des fluctuations de tension dans un conducteur et l'analyse thermodynamique publiée par H. NYQUIST établirent la formule suivante :

$$DSP = 4k_B TR$$

Δf : bande passante du système , en hertz

R : résistance du conducteur ohmique, en ohm

T : température du conducteur, en kelvin

k_B : constante de Boltzmann ($k_B = 1,380649 \times 10^{-23} J/K$)

39. De quelles grandeurs variables dépend la densité spectrale de puissance d'un conducteur ohmique ?
40. Réécrire cette formule dans le cas d'une puissance normalisée.
41. La température de la salle étant $\theta = 20^\circ C$, calculer la valeur de la DSP .
42. Tracer l'allure du graphe $DSP(f)$. En déduire le type de bruit présent au sein d'un conducteur ohmique.
43. Calculer la puissance moyenne normalisée du bruit pour ce conducteur ohmique pour une bande passante allant de $f = 1000 Hz$ à $f = 20kHz$.
44. En déduire le rapport signal sur bruit en décibel, pour un signal carré, d'amplitude $U_m = 5,00V$ et de valeur moyenne de $1,00V$.
45. Quel système est le moins bruyant : le conducteur ohmique ou l'amplificateur linéaire intégré ?
46. Pour une puissance normalisée du signal identique ($P_{signal} = 22,5 V^2$), calculer le rapport signal sur bruit pour une bande passante allant de $f = 1000 Hz$ à $f = 2000Hz$.
47. Comment évolue le rapport signal sur bruit en décibel en fonction de la largeur de la bande passante ? Quel inconvénient cela entraîne-t-il ?

APPEL 14 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.