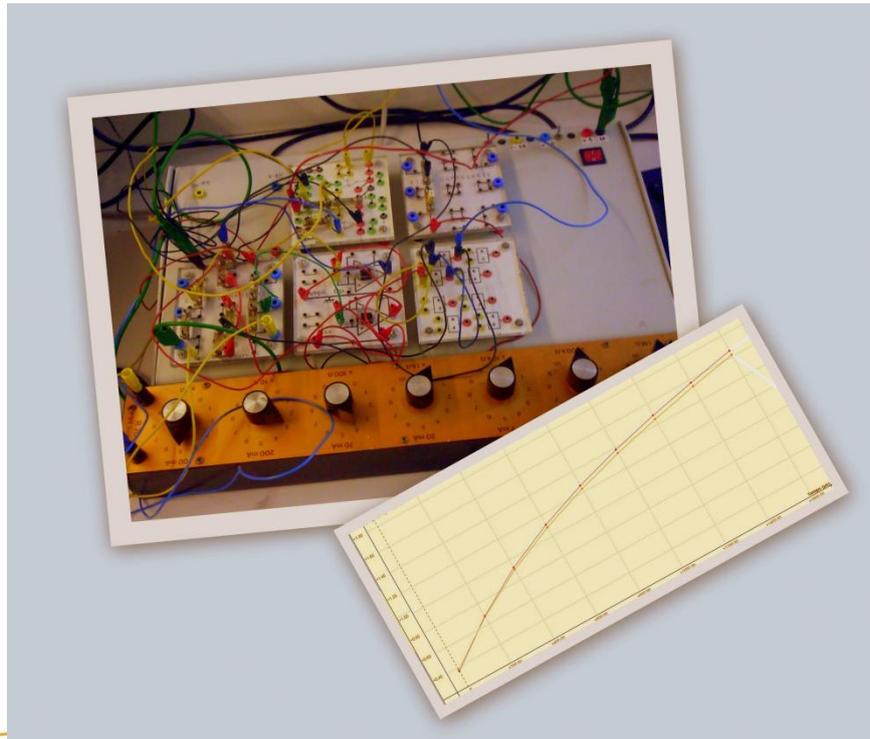


Mesure automatique du déphasage entre deux signaux sinusoïdaux



Etudiants :

Valentin BROZIN

Julien DIOUF

Amine ER-BATI

Mohamed MORCHID

Grecia SALINAS TELLEZ

Kieu Thu TRANG

Enseignant-responsable du projet :

François GUILLOTIN

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : **18/06/11**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2011 – 28**

Intitulé du projet : **Mesure automatique du déphasage entre deux signaux sinusoïdaux**

Type de projet : **Expérimental**

Objectifs du projet :

- Développement d'une ou plusieurs méthodes de mesure de déphasage
- Application de ces méthodes par intermédiaire électronique
- Application de ces méthodes par intermédiaire d'un ordinateur
- Comparaison de différentes méthodes de mesure de déphasage.
- Automatisation d'une des méthodes

Mots-clefs du projet : **Déphasage, signaux sinusoïdaux, comparateur**

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : Non existant

TABLE DE MATIERES

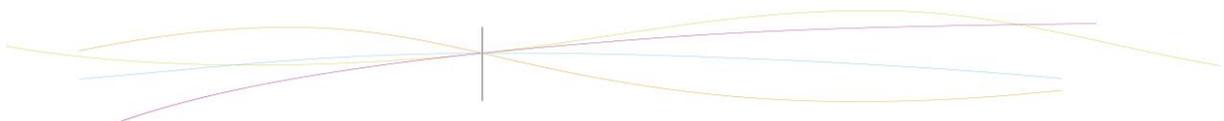
1. Introduction	6
1.1. Définition de Déphasage	6
1.2. Déphasages particuliers	6
2. Méthodologie / Organisation du travail	7
2.1. Groupe électronique	7
2.2. Groupe Informatique.....	7
3. Travail réalisé et résultats.....	8
3.1. Groupe électronique	8
3.1.1. Circuit avec OU-EXCLUSIF	8
3.1.2. Circuit avec NON et ET.....	9
3.1.3. Circuit avec une Bascule RS	10
3.2. Groupe informatique.....	10
3.2.1. Méthodes utilisant des fonctions logiques	11
3.2.1.1. Traitement des signaux en entrée.....	11
3.2.1.2. Solution avec une fonction logique « ET ».....	12
3.2.1.3. Solution avec une fonction logique « OR Exclusif»	13
3.2.1.4. Solution avec une fonction logique «Nand».....	13
3.2.2. Méthodes trigonométriques.....	14
3.2.2.1. Solution avec le produit des deux signaux.....	14
3.2.2.2. Solution avec la fonction arcsin.....	15
3.2.3. Résultats.....	15
4. Conclusions et perspectives.....	17
4.1. Conclusion des méthodes informatiques	17
4.2. Conclusions sur le projet en général.....	17
5. Bibliographie	18

NOTATIONS, ACRONYMES

NAND/ NON-ET : Fonction logique et inversée.

AND/ ET : Fonction logique et.

OR/ XOR/ OU EXCLUSIF : Fonction logique or exclusif.



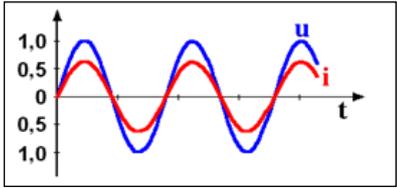
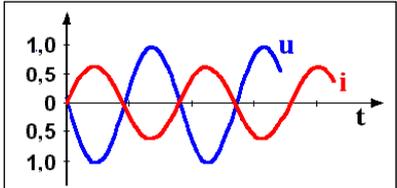
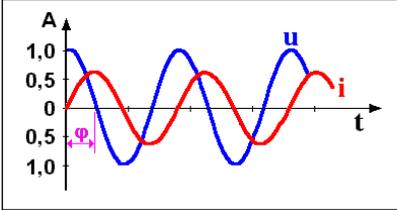
1. INTRODUCTION

Notre projet a consisté à développer un moyen pour mesurer le déphasage entre deux signaux sinusoïdaux. Commençons donc par définir le déphasage.

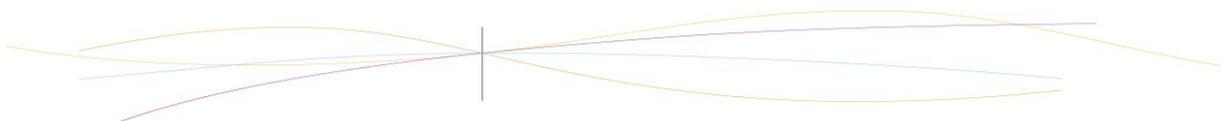
1.1. Définition de Déphasage

Deux signaux (sinusoïdaux dans le contexte de notre projet) de même fréquence peuvent varier en même temps ou avec un décalage dans le temps, ce décalage est appelé déphasage. Le déphasage peut être positif ou négatif.

1.2. Déphasages particuliers

Déphasage	Nom	Image
0 degrés ou 2π	En phase	 <p>Figure 1-1 En phase</p>
180 degrés ou π	En opposition de phase	 <p>Figure 1-2 Opposition de phase</p>
90 degrés ou $\pi/2$	En quadrature	 <p>Figure 1-3 En quadrature</p>

La mesure du déphasage entre deux ondes a des applications diverses, dans l'électronique évidemment mais aussi ailleurs, par exemple si nous mesurons le déphasage des ondes de cisaillement pendant un séisme nous pouvons caractériser l'anisotropie sismique présente dans les différentes couches de la terre et en déduire l'épaisseur de celles-ci.



2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

La première séance nous nous sommes rendu compte qu'on pouvait prendre deux chemins pour mesurer le déphasage, en calculant le déphasage avec un programme, et un autre avec un circuit électronique. Donc nous avons formé deux sous-groupes de trois personnes nous avons cependant continué à nous aider tous les six pour le développement de la partie théorique et quand nous avons des doutes. Le groupe informatique composé par Kieu Thu TRANG, Mohamed MORCHID et Grecia SALINAS, et le groupe électronique formé par Amine ER-BATI, Julien DIOUF, et Valentin BROZIN.

2.1. Groupe électronique

Tout d'abord, Julien Diouf et Amine Er-bati se sont occupés des recherches sur le montage à réaliser. Une fois ceci fait, nous avons tous les trois réalisé le montage fonction par fonction, c'est-à-dire un petit montage déphaseur, mise en forme du signal, puis comparateur, porte logique et enfin filtre passe bas. Valentin Brozin a ensuite modélisé une courbe pour la porte logique NON et ET. Amine et Valentin ont aussi dû aller souder de nouvelles diodes car les anciennes ne marchaient plus.

2.2. Groupe Informatique

Nous avons d'abord choisi l'interface de Synchronie pour transformer les signaux en données informatiques. Puis nous avons travaillé pour développer plusieurs méthodes de calcul. Premièrement, nous nous sommes concentrés sur les méthodes avec des fonctions logiques (NAND, OR et AND).

Grecia a développé les trois méthodes, avec quelques erreurs qui ont été corrigées par Kieu Thu et puis nous avons choisi celle avec la porte logique OR car c'est la seule méthode pour laquelle le résultat qu'on obtient est directement proportionnel au déphasage entre les deux signaux.

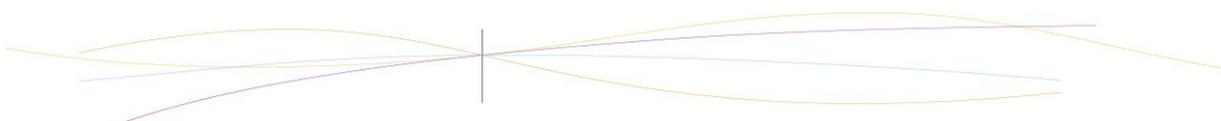
La cinquième semaine nous avons cherché un circuit nous permettant de comparer le déphasage mesuré avec notre programme à une courbe théorique du déphasage, Nous avons donc construit un circuit RC et nous avons calculé l'argument puis développé le diagramme de Bode.

La semaine 8, une fois notre circuit en fonctionnement nous avons réalisé des mesures en variant la fréquence à l'entrée entre 200Hz et 2KHz, nous avons comparé les deux courbes pour trouver que la méthode était assez précise.

La semaine 9, Grecia a écrit deux nouveaux programmes avec les méthodes suggérées par M. GUILLOTIN et la théorie développée par Kieu Thu. Nous avons fait les mesures pour ces deux nouvelles méthodes ainsi que pour la méthode OR la semaine suivante, mais quand nous avons dessiné les courbes à partir des résultats nous nous sommes rendu compte que les mesures n'étaient pas correctes.

La semaine 11 nous avons refait les mesures de la semaine précédente en ajoutant la mesure à l'oscilloscope et nous avons trouvé des bons résultats. Nous avons aussi dessiné les deux courbes (théorique, mesurée) afin de observer la précision des différentes méthodes.

Les deux dernières semaines nous avons travaillé sur l'interprétation des courbes mesurées ainsi que sur la mise en forme du rapport.



3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Groupe électronique

Les deux premières séances, nous avons effectué des recherches sur les différents phasemètres. Pour cela, le professeur encadrant nous a montré quelques marques dans le domaine de l'électronique comme Tektronix. Le but étant de comprendre le fonctionnement d'un phasemètre et ses applications.

Ensuite nous devons réfléchir sur un montage qui permettrait de comparer 2 signaux sinusoïdaux de même fréquence. Pour cela, nous avons utilisé un déphaseur. En effet, ce dernier permet de créer un deuxième signal à partir du signal produit par le générateur. Les deux signaux ainsi produits ont la même fréquence. En pratique, le déphaseur transforme le signal sinusoïdal initial en un signal carré et produit un deuxième signal carré. Ce dernier est soit en avance soit en retard par rapport au premier signal. L'importance de la forme du signal tient au fait que les portes logiques ne marchent qu'avec des signaux carrés.

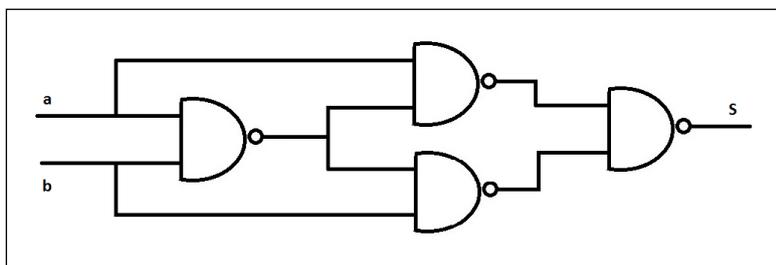
Nous aurions pu aussi produire deux signaux grâce à deux générateurs mais les deux signaux n'auraient pas eu exactement la même fréquence. Même si les deux générateurs choisis prétendent produire un signal avec une fréquence précise. En effet, en pratique, il y aura toujours une différence de fréquence entre les deux signaux.

Par ailleurs, pour obtenir le signal final il a fallu également utiliser un filtre. Ainsi dans notre circuit, nous avons utilisé un filtre passe-bas qui laisse passer les basses fréquences et qui atténue les hautes fréquences, c'est-à-dire les fréquences supérieures à la fréquence de coupure. Dans notre projet, ce filtre nous a permis d'éliminer les hautes fréquences, et d'obtenir au final un signal continue.

Nous avons trouvé trois circuits nous permettant de mesurer le déphasage :

3.1.1. Circuit avec OU-EXCLUSIF

Voici le schéma du OU-EXCLUSIF que nous avons réalisé avec des portes NAND.



La relation logique est :

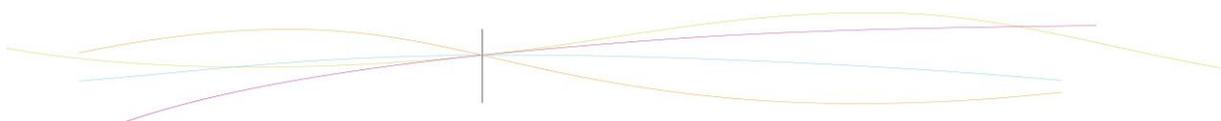
$$S = a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b$$

Figure 3-1 Fonction OR

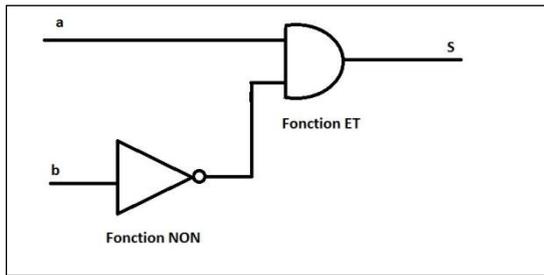
Sa table de vérité est la suivante :

Cette porte logique ne mesure que la valeur absolue du déphasage et ne peut donc pas déterminer s'il s'agit d'une avance ou d'un retard.

a	b	S
0	0	0
1	0	1
0	1	0
1	1	0



3.1.2. Circuit avec NON et ET



Cette porte logique va permettre de mesurer la valeur absolue du déphasage. Nous pouvons écrire la relation suivante :

$$S = a \cdot \bar{b}$$

Et nous en déduisons la table de vérité suivante :

a	b	S
0	0	0
1	0	1
0	1	0
1	1	0

Figure 3-2 Porte logique NAND

Comme nous avons une tablette avec des portes NON-ET, nous avons fait le montage suivant qui est équivalent au précédent avec uniquement des portes NON-ET :

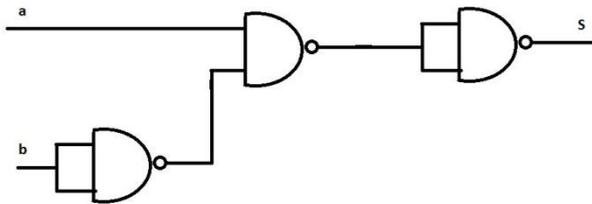
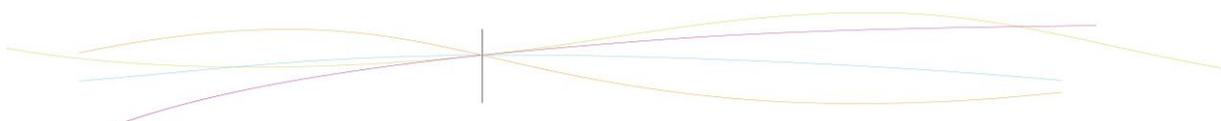


Figure 3-3 Montage NAND



Figure 3-4 Courbe de la tension en fonction du déphasage



Pour faire cette courbe, nous avons mis une résistance qui pouvait varier. Ainsi le déphasage variait aussi et nous avons pu mesurer la tension de sortie du montage pour plusieurs valeurs de déphasage. Le résultat est la courbe ci-dessus.

Finalement nous avons construit le circuit avec toutes les étapes nécessaires. Voici le schéma du circuit qui nous permet de mesurer le déphasage :

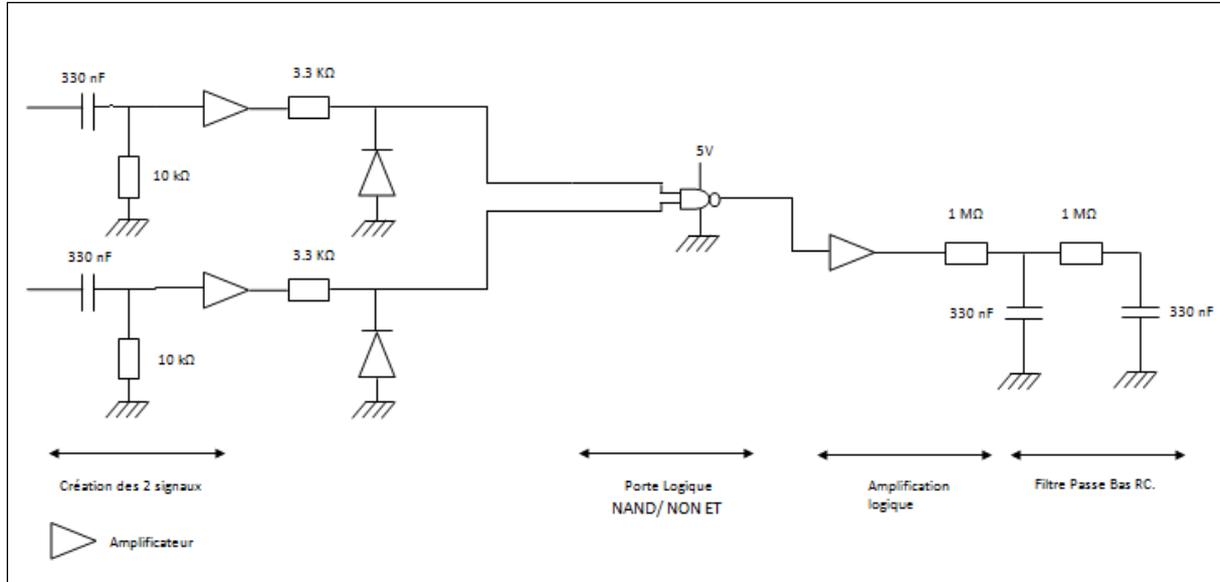


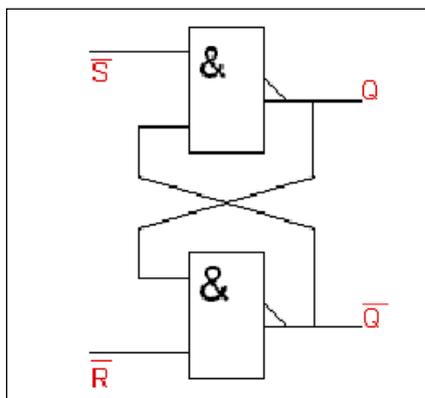
Figure 3-5 Schéma global du montage

Au final, nous avons obtenu une tension de sortie proportionnelle à la différence de phase entre les deux entrées.

3.1.3. Circuit avec une Bascule RS

Cette porte logique nous aurait permis de mesurer au mieux le déphasage puisque grâce à celle-ci nous aurions obtenu un angle positif si le deuxième signal était en retard sur le premier ou un angle négatif s'il était en avance.

Malheureusement, nous n'avons pas eu le temps de tester cette porte logique et nous n'avons donc que la théorie concernant cette porte.



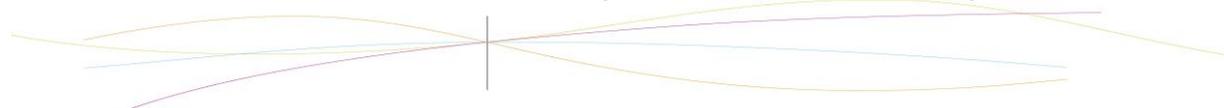
Voici sa table de vérité

S	R	Q
0	0	Cas Particulier
0	1	Mise à 1
1	0	Mise à 0
1	1	Mémorisation

Figure 3-6 Schéma Bascule RS

3.2. Groupe informatique

Nous avons développé cinq méthodes pour mesurer le déphasage entre deux signaux sinusoïdaux, trois en utilisant des fonctions logiques et deux avec de la trigonométrie.



Ces méthodes ont été programmées sur Synchronie mais peuvent être mises en place dans n'importe quel langage. Ci-dessous nous montrons les méthodes et leur implémentation sur Synchronie.

3.2.1. Méthodes utilisant des fonctions logiques

Pour ces méthodes nous avons besoin de traiter les signaux sinusoïdaux afin de les transformer en signaux carrés qui seront utilisés par les fonctions logiques.

3.2.1.1. Traitement des signaux en entrée

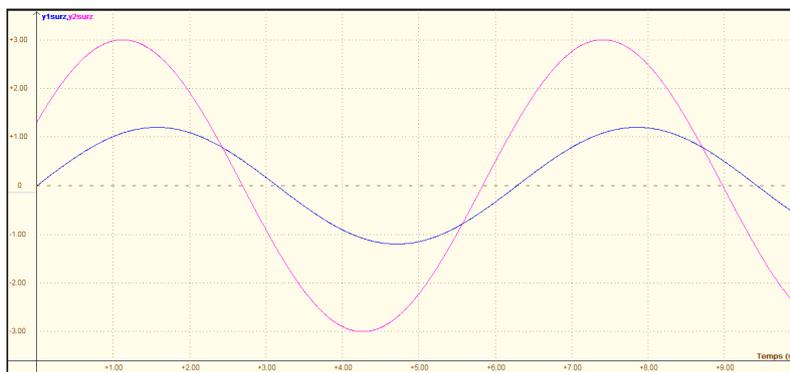
Soient y_1 et y_2 les signaux en entrée,



Figure 3-7 y_1 et y_2 les signaux en entrée

On obtient la moyenne de chaque signal, trouvant ainsi le décalage vertical du signal par rapport à la ligne de 0V.

$$\begin{aligned} \text{moy1} &= (\text{MAX}(y_1) + \text{MIN}(y_1)) / 2; \\ \text{moy2} &= (\text{MAX}(y_2) + \text{MIN}(y_2)) / 2; \end{aligned}$$



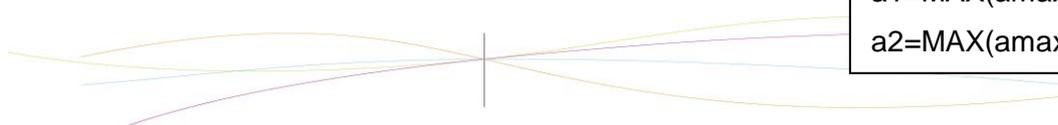
On enlève ces moyennes afin d'avoir les signaux centrés verticalement.

$$\begin{aligned} y_{1\text{surz}} &= y_1 - \text{moy1}; \\ y_{2\text{surz}} &= y_2 - \text{moy2}; \end{aligned}$$

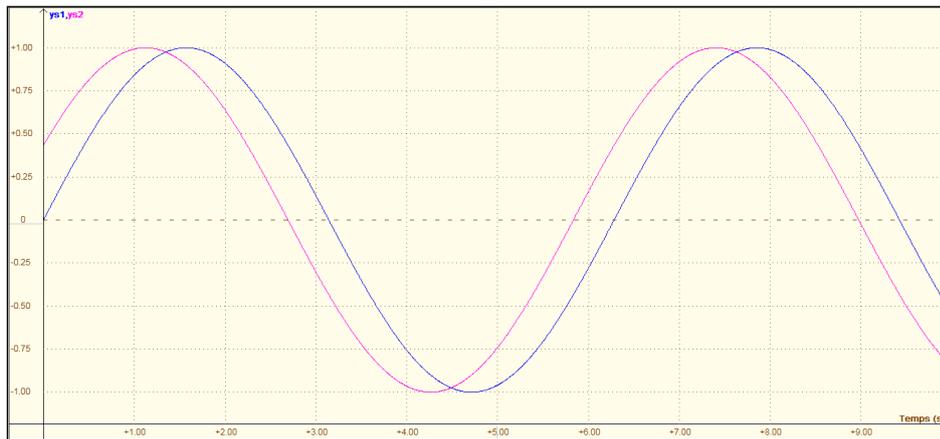
Figure 3-8 $y_{1\text{surz}}$ et $y_{2\text{surz}}$ les signaux centrés sur la ligne de 0V

On cherche le point le plus haut ou le plus bas de chaque signal pour connaître leurs amplitudes.

$$\begin{aligned} \text{amax1} &= \text{MAX}(y_{1\text{surz}}); \\ \text{amax2} &= \text{MAX}(y_{2\text{surz}}); \\ \text{amin1} &= \text{MIN}(y_{1\text{surz}}); \\ \text{amin2} &= \text{MIN}(y_{2\text{surz}}); \\ \text{absmin1} &= \text{ABS}(\text{amin1}); \\ \text{absmin2} &= \text{ABS}(\text{amin2}); \\ a_1 &= \text{MAX}(\text{amax1}, \text{absmin1}); \\ a_2 &= \text{MAX}(\text{amax2}, \text{absmin2}); \end{aligned}$$



On divise par l'amplitude, et nous obtenons finalement deux signaux d'amplitude 1, lesquelles se distinguent l'une de l'autre uniquement à cause du déphasage.



$$y_{s1} = (y_{1surz}) / a_1;$$

$$y_{s2} = (y_{2surz}) / a_2;$$

Figure 3-9 y_{s1} et y_{s2} signaux d'amplitude 1

3.2.1.2. Solution avec une fonction logique « ET »

Soit y_{s1} et y_{s2} le résultat des signaux qui ont été traités dans la première partie du programme. Nous transformons les signaux sinusoïdaux en signaux carrés d'amplitude 1.

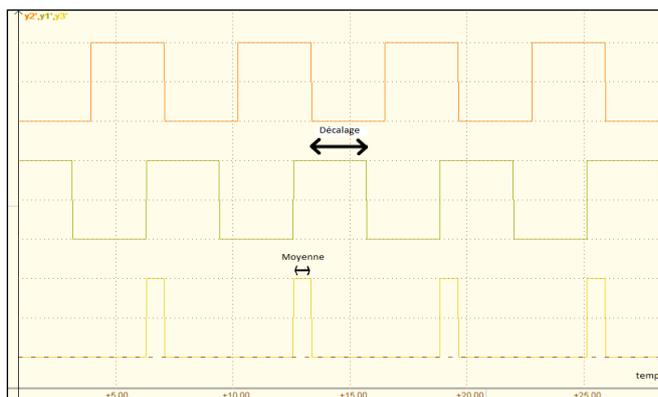
$$y_2' = SI(y_{s2} > 0, 1, 0);$$

$$y_1' = SI(y_{s1} > 0, 1, 0);$$



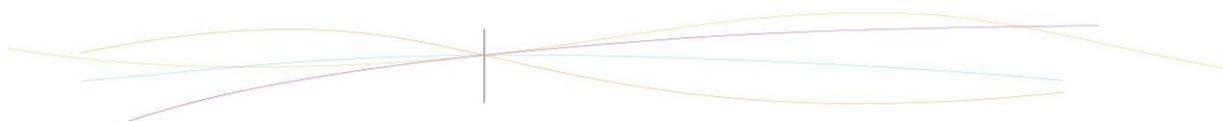
Figure 3-10 Signaux carrés

On applique la fonction logique ET, donc nous obtenons un signal qui vaut 1 aux endroits où les deux signaux carrés précédentes valaient 1.



$$y_3' = SI((y_1' + y_2') = 2, 1, 0);$$

Figure 3-11 Méthode AND



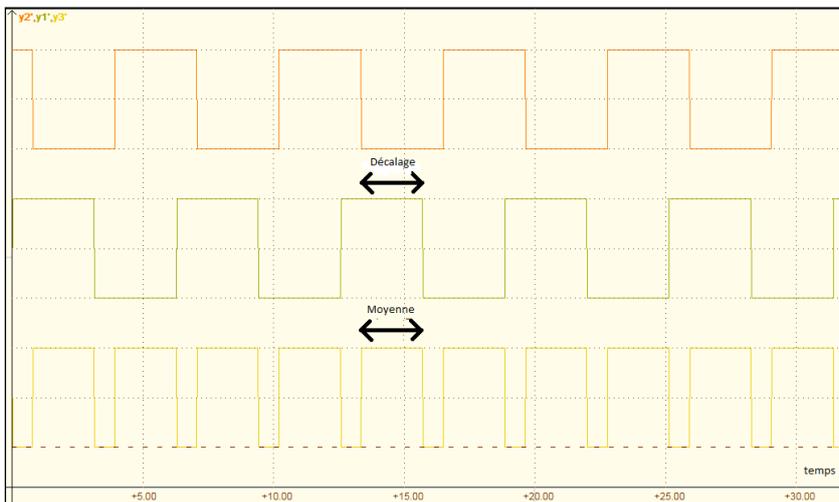
On calcule la moyenne sur une période, nous avons pour résultat la moitié de la période moins l'angle de déphasage donc nous calculons Déphasage = $(0,5-f_i)*2\pi$ et nous obtenons le déphasage absolu.

$$f_i = \text{MOY}(y_3);$$

$$\text{dephasage} = (0,5-f_i)*2\pi;$$

3.2.1.3. Solution avec une fonction logique « OR Exclusif »

Soit y_{s1} et y_{s2} le résultat des signaux qui ont été traités dans la première partie du programme de la même façon que pour la méthode précédente nous transformons les signaux sinusoïdaux en signaux carrés d'amplitude 1. Puis nous appliquons la fonction or exclusif à nos signaux.



$$y_3' = \text{SI}((y_1' + y_2') = 1, 1, 0);$$

$$\text{dephasage} = \pi * \text{moy}(y_3');$$

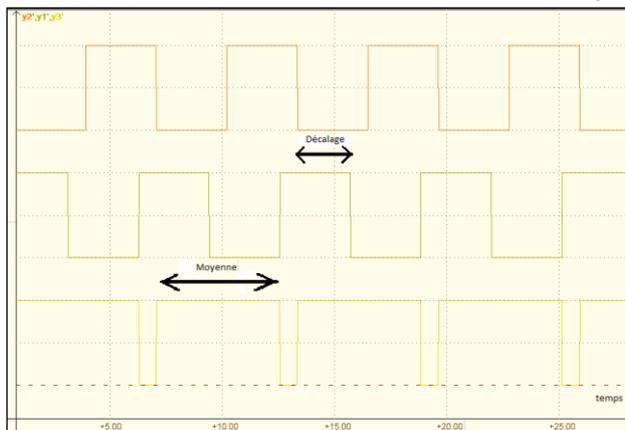
Figure 3-12 Méthode OR

On calcule la moyenne sur une période et nous la multiplions par π , nous avons pour résultat l'angle de déphasage dans la période.

3.2.1.4. Solution avec une fonction logique « Nand »

Soit y_{s1} et y_{s2} le résultat des signaux qui ont été traités dans la première partie du programme de la même façon que pour la méthode précédente nous transformons les signaux sinusoïdaux en signaux carrés d'amplitude 1.

On applique la fonction NAND aux deux signaux, et nous obtenons le décalage sur une période plus une demi-période.

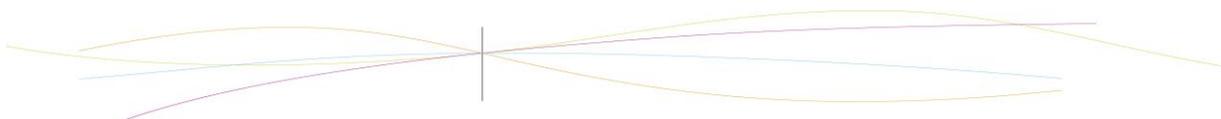


$$y_3' = \text{SI}(y_2' + y_1' = 2, 0, 1);$$

$$f_i = \text{MOY}(y_3');$$

$$\text{dephasage} = (f_i - 0.5) * 2 * \pi;$$

Figure 3-13 Méthode NAND



On fait la moyenne, et nous obtenons le déphasage sur une période plus une demi-période. Donc le déphasage est égal a $(f_i - 0.5) * 2 * \pi$.

3.2.2. Méthodes trigonométriques

3.2.2.1. Solution avec le produit des deux signaux

Théorie

On considère nos deux signaux à l'entrée y_1 et y_2 tels que :

$$y_1 = A_1 * \cos(\omega t) \text{ et } y_2 = A_2 * \cos(\omega t + \Phi) \quad \text{eq(1) et eq(2)}$$

Où A_1 et A_2 sont les amplitudes respectives. Nous savons que :

$$\cos(a) * \cos(b) = \frac{1}{2} (\cos(a + b) + \cos(a - b)) \quad \text{eq (3)}$$

En appliquant 1 et 2 en 3, nous obtenons :

$$A_1 * \cos(\omega t) * A_2 * \cos(\omega t + \Phi) = A_1 * A_2 * \frac{1}{2} * (\cos(2\omega t + \Phi) + \cos(\Phi))$$

Or $\sin(\Phi)$ est une constante donc notre nouveau signal va être décalé par rapport à la ligne de 0V de:

$$\text{Moyenne} = A_1 * A_2 * \cos(\Phi) / 2 \text{ donc Déphasage} = \arccos(2 * \text{Moyenne} / (A_1 * A_2))$$

Algorithme

Soient y_1 et y_2 les signaux en entrée, d'abord nous calculons les amplitudes de chaque signal comme nous l'avons fait pour le traitement des signaux en 3.2.1.1

$$\begin{aligned} \text{moy1} &= (\text{MAX}(y_1) + \text{MIN}(y_1)) / 2; \\ \text{moy2} &= (\text{MAX}(y_2) + \text{MIN}(y_2)) / 2; \end{aligned}$$

Puis nous faisons le produit des deux signaux et nous divisons par le produit des amplitudes.

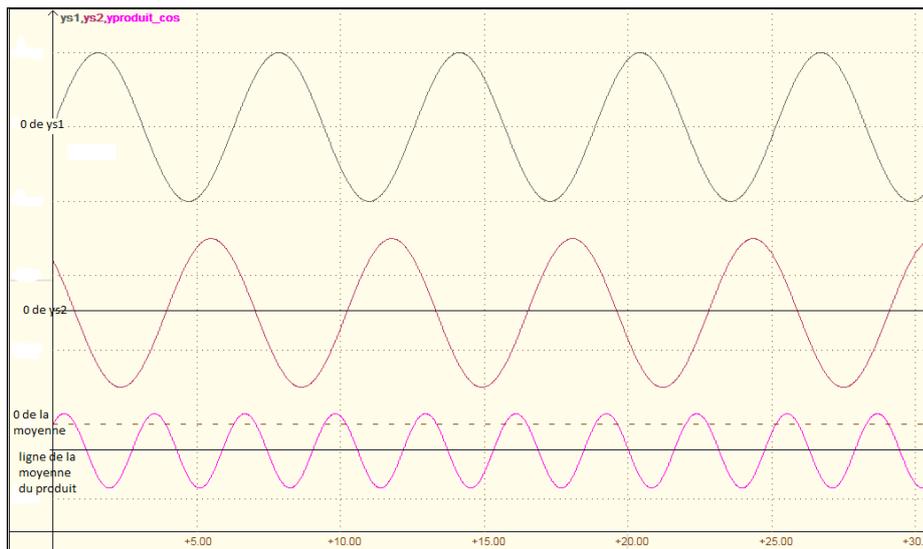
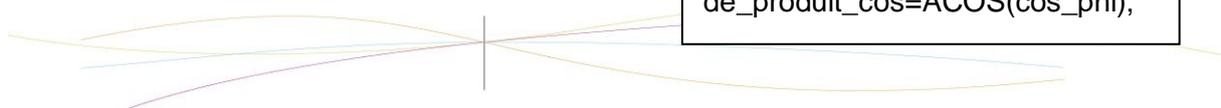


Figure 3-14 Méthode produit des cosinus

$$y_{\text{produit_cos}} = y_1 * y_2 / (\text{moy1} * \text{moy2});$$

Nous cherchons la moyenne sur un nombre entier de périodes et nous appliquons la fonction arccos au doublé du résultat.

$$\begin{aligned} \cos_phi &= 2 * \text{MOY}(y_{\text{produit_cos}}); \\ \text{de_produit_cos} &= \text{ACOS}(\cos_phi); \end{aligned}$$



3.2.2.2. Solution avec la fonction arcsin

Théorie

On considère

$$y1=A1*\sin(\omega t+\Phi1) \text{ et } y2=A2*\sin(\omega t+\Phi2) \text{ eq(1) et eq(2)}$$

nos deux signaux à l'entrée où $A1$ et $A2$ sont les amplitudes respectives.

$$\text{Donc Déphasage} = \Phi1-\Phi2=\arcsin(y1/A1)-\arcsin(y2/A2) \text{ eq(3)}$$

Algorithme

Soient $y1$ et $y2$ les signaux en entrée, d'abord nous calculons les amplitudes de chaque signal comme nous l'avons fait pour le traitement des signaux en 3.2.1.1

$$\begin{aligned} moy1 &= (MAX(y1)+MIN(y1))/2; \\ moy2 &= (MAX(y2)+MIN(y2))/2; \end{aligned}$$

Remarque :

Φ n'est pas égal au déphasage que quand $\omega t+\Phi2$ et $\omega t+\Phi1$ sont entre $[0 ; \pi/2]$

Donc il faut évaluer le déphasage en chacun des quatre quadrants du cercle trigonométrique, pour ça nous choisissons quatre points sur la courbe avec une distance $\pi/2$ entre eux. Sauf que comme la fréquence varie, nous ne pouvons pas connaître la période. Donc nous prenons 20 points sur les 2000 points enregistrés de la courbe par Synchronie.

On calcule le déphasage dans chacun de ces points. Voici l'exemple pour le point 50.

$$\begin{aligned} asin1 &= \text{ASIN}(y1[50]/moy1) \\ asin2 &= \text{ASIN}(y2[50]/moy2) \\ phic50 &= asin1-asin2 \end{aligned}$$

Finalement nous cherchons le maximum des déphasages.

$$\text{dephasage_asin} = \text{MAX}(phic50, phic150, \dots, phic1950);$$

3.2.3. Résultats

Pour faire des mesures et pouvoir évaluer la précision de nos méthodes, nous avons construit un circuit RC montré ci-dessous.

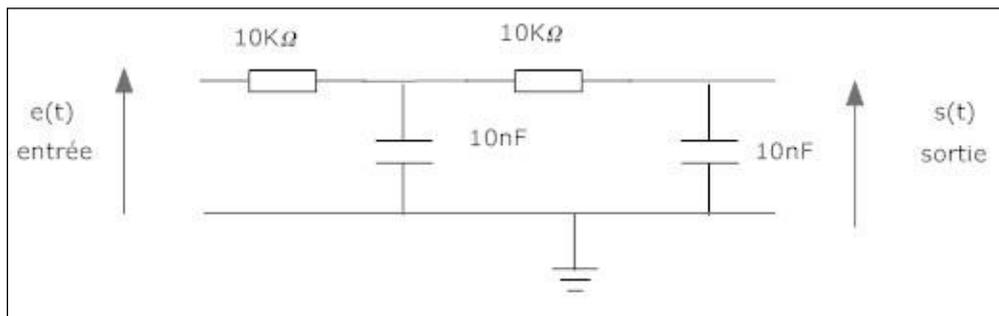
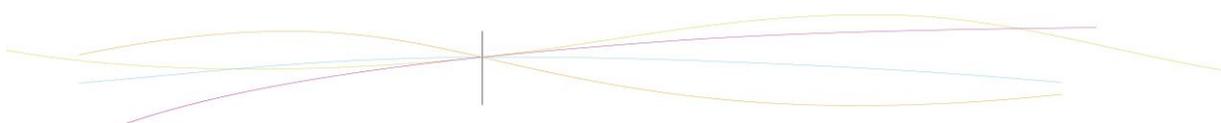


Figure 3-15 Schéma du circuit déphaseur



Ce circuit nous permet de créer un déphasage entre le signal d'entrée et de sortie qui varie en fonction de la fréquence du signal.

On connaît la fonction du transfert : $H = \frac{s(t)}{e(t)}$ et nous savons que le déphasage de la sortie par rapport à l'entrée est égal à l'argument de H.

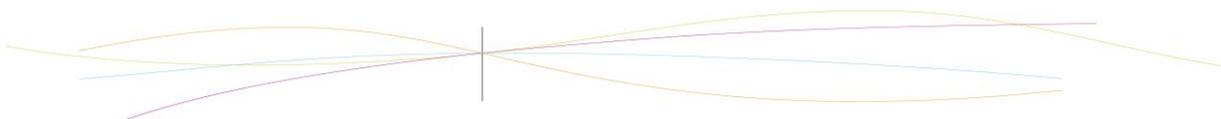
Soient $R = 10 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$, w la fréquence du signal et φ le déphasage.

Après calcul nous obtenons.

$$\varphi = \arg(H) = \text{atan}\left(\frac{3 \cdot RCw}{1 - (RCw)^2}\right)$$

En comparant la courbe dessinée à partir de l'équation précédente avec les courbes de la fréquence mesurée avec les différentes méthodes nous obtenons une différence assez petite.

Méthode	Courbes
<p>OR</p> <p>On trouve une différence entre les résultats mesurés et la courbe théorique qui est toujours inférieure à 2.5° ce qui représente un pourcentage d'erreur inférieur à 2.8%.</p>	<p>Figure 3-16 Diagramme de Bode méthode OR</p>
<p>Produit de cosinus</p> <p>De même que pour la méthode précédente nous trouvons une différence entre les résultats mesurés et la courbe théorique qui est toujours inférieure à 2.5° ce qui représente un pourcentage d'erreur inférieur à 2.8%.</p>	<p>Figure 3-17 Diagramme de Bode méthode produit de cosinus</p>
<p>Fonction Arcsinus</p> <p>Nous trouvons une différence absolue entre les résultats mesurés et la courbe théorique qui est inférieure à 8° ce qui représente un pourcentage d'erreur inférieur à 8.9%.</p>	<p>Figure 3-18 Diagramme de Bode méthode arcsinus</p>



Mesures à l'oscilloscope

Nous trouvons une différence entre les résultats mesurés sur l'écran de l'oscilloscope et la courbe théorique qui est inférieure à 4.5° ce qui représente un pourcentage d'erreur inférieur à 5%.



Figure 3-19 Diagramme de Bode mesures à l'oscilloscope

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

4.1. Conclusion des méthodes informatiques

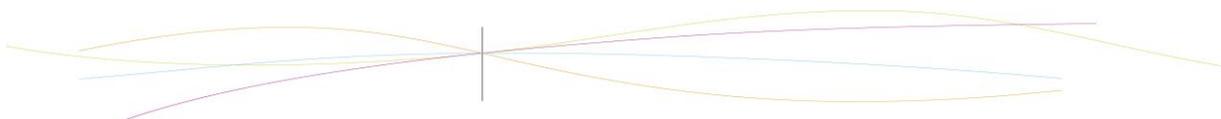
D'après les résultats obtenus nous considérons que la méthode la plus efficace est le produit de cosinus car elle n'a pas besoin d'un traitement des signaux a priori et elle a donné des meilleurs résultats que la méthode des arcsinus.

Il nous reste à travailler comme projet personnel afin de développer une application permettant de mesurer le déphasage avec un bouton sur la barre d'outils de Synchronie, nous n'avions pas eu assez de temps pour développer la méthode sur Pascal qui est le langage compatible avec Synchronie

4.2. Conclusions sur le projet en général

Pendant le déroulement de ce projet, nous avons découvert comment nous mesurons le déphasage des 2 signaux sinusoïdaux, le principe de fonctionnement du comparateur de déphasage et leurs différents types. Ce projet nous a beaucoup appris sur l'électronique ainsi que sur l'informatique. Il nous a permis aussi d'appliquer les notions d'électricité abordées en première année d'un point de vue pratique.

Par ailleurs, le projet nous a permis de mieux apprendre à travailler en équipe étant donné que l'on s'est séparé en deux groupes, un groupe pour la partie électronique et un autre pour la partie informatique, nous a permis de nous concentrer sur un seul aspect et de mieux se répartir les tâches pour mener à bien notre projet.



5. BIBLIOGRAPHIE

Phasemètre numérique : <http://www.lycee-saint-cricq.org/site/IMG/pdf/bac1998.pdf> (valide à la date du 10/06/2011).

Fonction logique : http://fr.wikipedia.org/wiki/Fonction_logique
(valide à la date du 10/06/2011).

Diagramme de Bode : http://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_de_Bode
(valide à la date du 10/06/2011).

Circuit déphaseur :
http://cms.ac-martinique.fr/discipline/physiquechimie/file/2_TP_Dephaseur.pdf
(valide à la date du 10/06/2011).

Méthode arcsinus : <http://jean-marc.morisset.pagesperso-orange.fr/>
(valide à la date du 10/06/2011).

