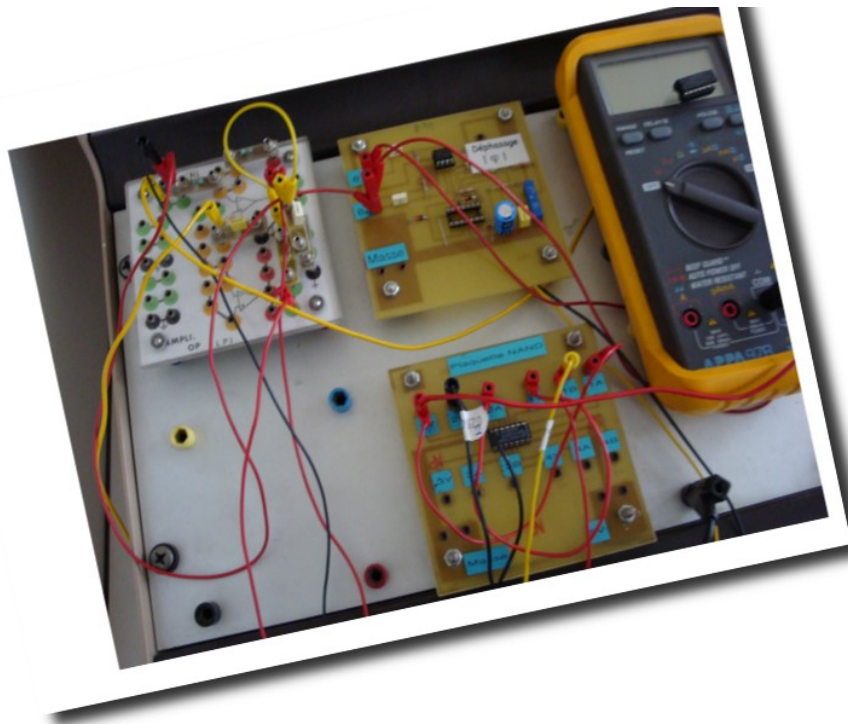


## **MÉSURE AUTOMATIQUE DU DÉPHASAGE ENTRE DEUX SIGNAUX SINUSOÏDAUX**



**Etudiants :**  
**DUAN Wenxin**  
**SUN Haoyu**  
**ZHANG Mingchao**

**Enseignant-responsable du projet :**  
**François GUILLOTIN**

*Cette page est laissée intentionnellement vierge.*

Date de remise du rapport : **18/06/2010**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2010 – n°19**

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

Type de projet : **expérimental**

Objectifs du projet :

Étudier le principe du comparateur de déphasage, comparer les différents types de comparateur de déphasage.

Si existant, n° cahier de laboratoire associé :

## Table des matières

1.Introduction.....	6
2.Méthodologie / Organisation du travail.....	8
3.Travail réalisé et résultats.....	9
3.1.Le circuit de test.....	9
3.1.1.Circuit de déphasage.....	9
3.1.2.Circuit de mise en forme des 2 signaux sinusoïdaux.....	10
3.1.3.Comparateur de déphasage.....	10
3.1.4.Circuit de présentation.....	10
3.2.Les 4 types de comparateur de déphasage.....	11
3.2.1.Circuit 1 (une porte NAND).....	11
3.2.2.Circuit 2 (3 portes NAND).....	12
3.2.3.Circuit 3 ( une porte OU Exclusif ).....	13
3.2.4.Circuit 4 ( Bascule RS ).....	14
4.Conclusions et perspectives.....	16
5.Bibliographie.....	17

## NOTATIONS, ACRONYMES

PFD : Phase Frequency Detector

PLL: Phase-locked loop

Flip-Flop : Bascule

XOR : Ou Exclusif

NAND: Non Et

## 1. INTRODUCTION

Le déphasage entre deux signaux sinusoïdaux est la différence entre leurs phases.

Dans le cas de deux ondes sinusoïdales de même pulsation et nombre d'onde  $k$ , mais avec des phases initiales différentes, représentées mathématiquement par :

$$y_1 = A_1 \cos(\omega t - kx_1 + \varphi_1)$$

et

$$y_2 = A_2 \cos(\omega t - kx_2 + \varphi_2),$$

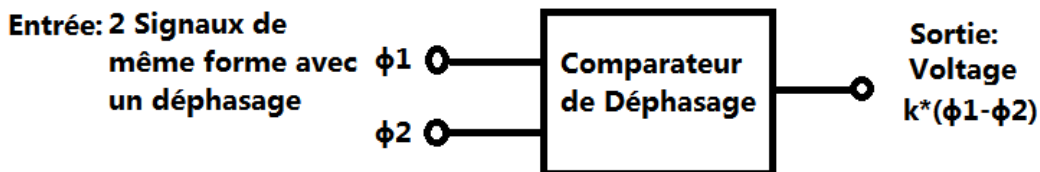
le déphasage  $\Delta\varphi$  à l'instant  $t$  est :

$$\Delta\varphi = (\omega t - kx_2 + \varphi_2) - (\omega t - kx_1 + \varphi_1)$$

Ce déphasage est un décalage temporel entre 2 signaux de même forme , et dépend pas l'amplitude.

Mesurer des différences de phase est très importante dans de nombreuses applications, telles que le contrôle en position de vitesse du moteur, le radar, l'onduleur et les systèmes de télécommunication, et cetera.

Comparateur de phase



Pour détecter ce déphasage, on introduit le **comparateur de phase** (PFD : Phase Frequency Detector). C'est un système électronique qui a pour fonction de générer un signal de sortie proportionnel à la différence de phase entre deux signaux d'entrées.

C'est un système couramment utilisé dans une boucle à verrouillage de phase (PLL:un montage électronique permettant d'asservir la phase instantanée de sortie sur la phase instantanée d'entrée, mais elle permet aussi d'asservir une fréquence de sortie sur un multiple de la fréquence d'entrée.).

Le signal généré peut être de nature différente selon le type de comparateur :

1. Une tension de sortie proportionnelle à la différence de phase entre les deux entrées.
2. Un écart temporel entre deux sorties proportionnel à la différence de phase entre les deux entrées.

On distingue de plus,

- 1 les systèmes qui mesure les écarts de phase.
- 2 les systèmes qui mesure les écarts de phase et les écarts de fréquence.
- 3 les systèmes qui comparent des signaux d'entrée analogiques et digitaux.

4 les systèmes qui comparent des signaux digitaux en entrée seulement.

### Différent Types

Les dessins des détecteurs de phase sont de très simple au complexe. Un porte OU exclusif (XOR) fait un détecteur de phase. Un détecteur de phase peut également être faite à partir d'un multiplicateur analogique (ce qui est plus adapté pour des signaux sinusoïdaux), un échantillonneur-bloqueur, une pompe de charge, ou un circuit logique composé de bascules.

### Théorie de fonctionnement

La fonction de transfert du comparateur de phase a pour caractéristiques :

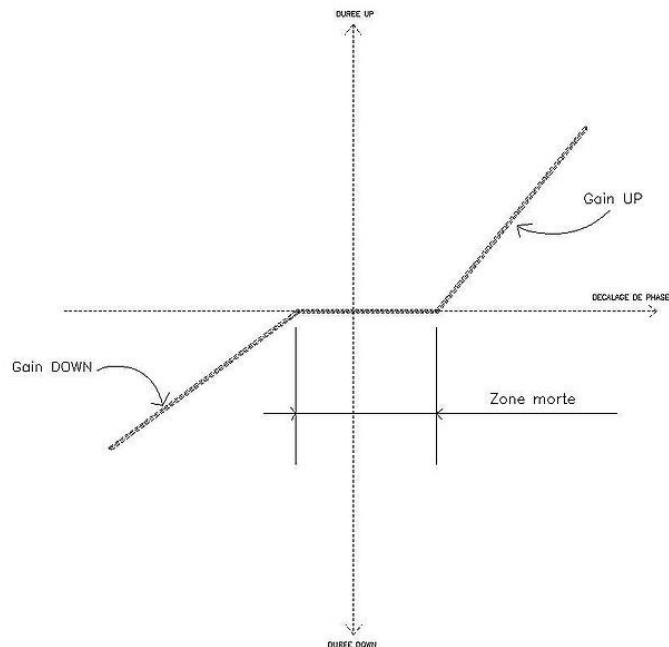
Un gain UP pour une différence de phase positive.

Un gain DOWN pour une différence de phase négative.

Une zone pour laquelle la sortie est constante quelle que soit la différence de phases en entrées: c'est la zone morte du comparateur.

Une erreur de détection systématique. Par exemple dans le cas idéal pour une erreur de phase nulle, la sortie est à zéro, mais dans un cas pratique, pour une erreur de phase nulle, il y a une petite tension résiduelle en sortie: c'est l'erreur de détection systématique.

Une zone aveugle: Suite à un certain décalage de phase, la sortie s'inverse de polarité. Par exemple, pour un certain détecteur de phase, pour le décalage de phase de 180 degrés, la sortie passe de (+1) à (-1). Cette zone pour laquelle la sortie inverse sa polarité est appelée la zone aveugle du comparateur.



## 2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Notre groupe se compose de trois élèves. Ce n'est pas beaucoup, alors, lors de toutes les séances, nous avons essayé de travailler tous ensemble, dans la mesure du possible. En effet, de cette façon tout le monde était au courant de l'avancement du projet, et ne loupait aucune étape dans le déroulement de la séance.

Durant la première séance, nous avons principalement découvert le sujet. On a vu les définitions, le principe et les exemples de différents comparateurs de phase.

Il nous semble vraiment étranger tout d'abord. Donc, pour les 4 ou 5 séances ensuite, Monsieur GUILLOTIN nous avons fait apprendre des connaissances et a expliqué un exemple déjà préparé en détail afin de montrer le fonctionnement là dedans principalement, surtout le changement du signal.

De plus, pour d'être plus efficace, nous avons réalisé une partie des recherches chez nous aussi.

Puis, on est bien préparé de réaliser notre projet et faire nos recherches intéressantes. Nous désignons 4 types de montages différents. Et pendant les dernières séances on a établi les montages et cherché les relations entre le degré de déphasage et la tension en sortie. Encore, on s'aperçut le différent intervalle que chaque montage peut évaluer.

Pratiquement, on a rencontré pas mal de difficultés au cours de construire le montage, manipuler correctement, régulariser l'oscilloscope et enfin obtenir le bon résultat.

Ces expériences sont précis et difficile à rédiger, parce-que même avec un condensateur de mauvais ordre peut tout changer. Cette sorte d'erreur est dure à trouver pour nous en manquant des acquis. Mais après tout on a pris beaucoup de chose.

Donc, on trouve ce projet est utile pour développer notre capacités exigeants de faire des recherches nous même.

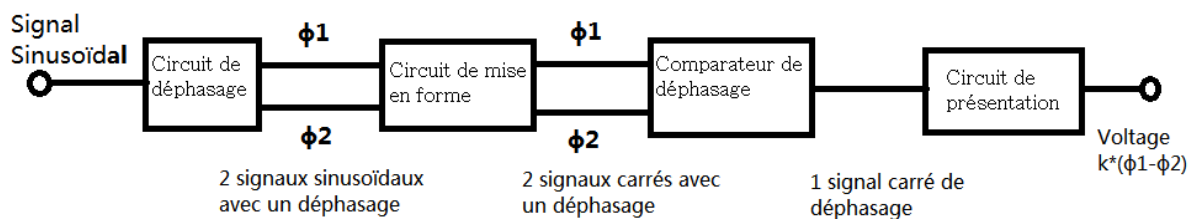


### 3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

Notre groupe a réalisé 4 schéma de comparateur de déphasage. Pour chaque schéma, nous avons étudié le relation entre les 2 signaux sinusoïdaux d'entrée et le signal de sortie.

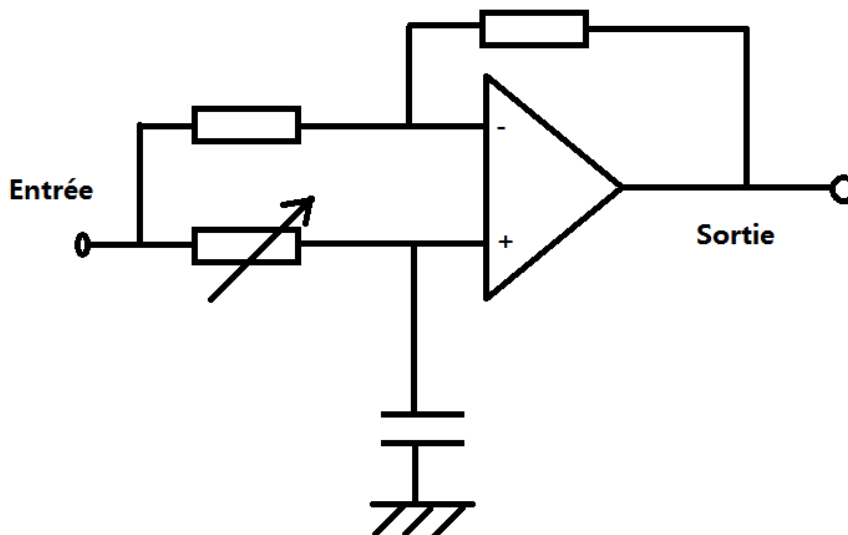
#### 3.1. Le circuit de test

Le circuit que l'on a utilisé se consiste en 4 partie : Circuit de déphasage, Circuit de mise en forme des 2 signaux sinusoïdaux, Comparateur de déphasage et Circuit de présentation.



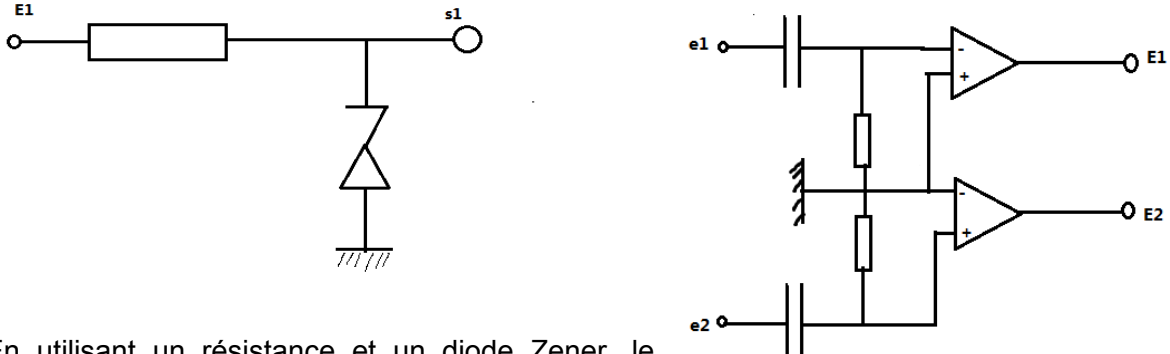
##### 3.1.1. Circuit de déphasage

Ce partie génère 2 signaux sinusoïdaux de la même période avec un décalage temporel réglable. En utilisant un circuit RC , il s'agit un déphasage entre le signal original et le signal passant le circuit RC. La résistance nous permet de modifier ce déphasage.



### 3.1.2. Circuit de mise en forme des 2 signaux sinusoïdaux

Ce partie transforme les 2 signaux sinusoïdaux en signaux carré, car le partie suivant contient les portes logiques qui ne peut détecter que les signaux carré.



En utilisant un résistance et un diode Zener, le courant carré entre -15V et +15V se transfert entre -0.6V et +4.7V, qui est acceptable pour les porte logique.

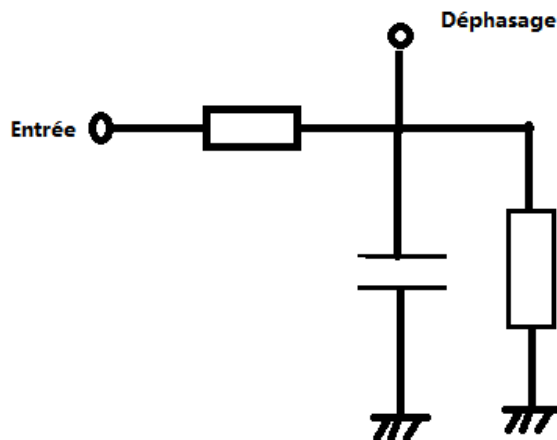
### 3.1.3. Compateur de déphasage

Les 4 types de compateur de déphasage sont connectés ici. Les 2 entrées sont E1 et E2 que l'on a vu dans le schéma ci-dessus, les signaux sont en forme de signaux carré. Le sortie de ce partie est lié à le circuit de présentation. On verra les 4 schémas après.

### 3.1.4. Circuit de présentation

Ce partie transforme le signal carré à voltage proportionnel à le déphasage, qui nous permet

de le mésuser facilement avec un voltmètre. Le voltage est égal à 
$$U_s = \frac{1}{T} \int_r s(t) dt$$



### 3.2. Les 4 types de comparateur de déphasage

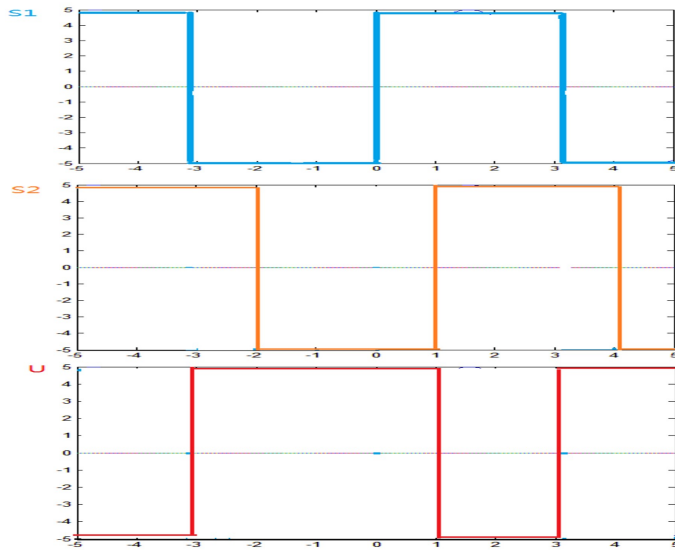
#### 3.2.1. Circuit 1 (une porte NAND)



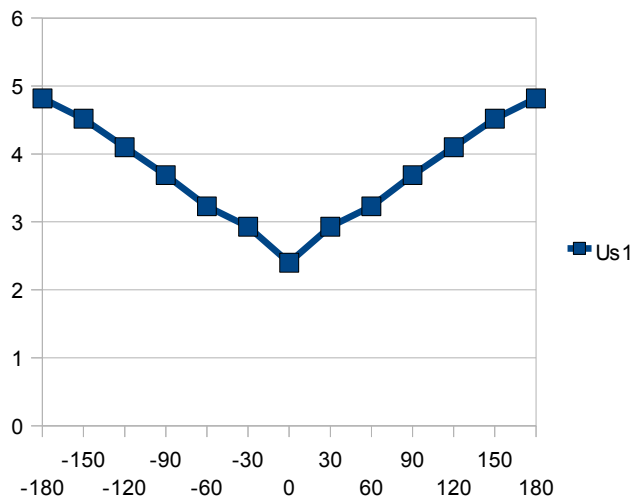
Il n'y a qu'une porte NAND dans ce circuit, le déphasage  $|S2-S1|+180^\circ$  est présenté par le plateau de signal U.

Le relation logique est  $U = \overline{S1 * S2}$

S1	S2	U
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

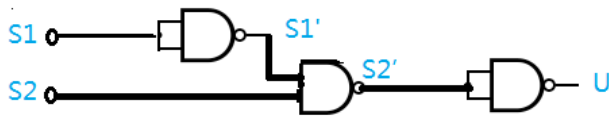


déphasage	Us1
-180	4,82
-150	4,52
-120	4,1
-90	3,69
-60	3,23
-30	2,93
0	2,4
30	2,93
60	3,23
90	3,69
120	4,1
150	4,52
180	4,82



D'après ce diagramme, cette type de comparateur de déphasage détecte la valeur absolue du déphasage. Par régression linéaire, on trouve le modèle est  $Us = 0,013 * |S1-S2| + 2.4$

### 3.2.2. Circuit 2 (3 portes NAND)



En utilisant 3 porte NAND, On peut obtenir un signal U, le déphasage S1-S2 est présenté par le plateau du signal U. Dans cet schéma, les 2 entrées de la porte NAND à gauche sont liés, donc il devient un investisseur. La porte à gauche est le même.

Le relation logique est ci dessous:

$$S1' = \overline{S1} \quad S2' = \overline{S1' * S2} \quad U = \overline{S2'}$$

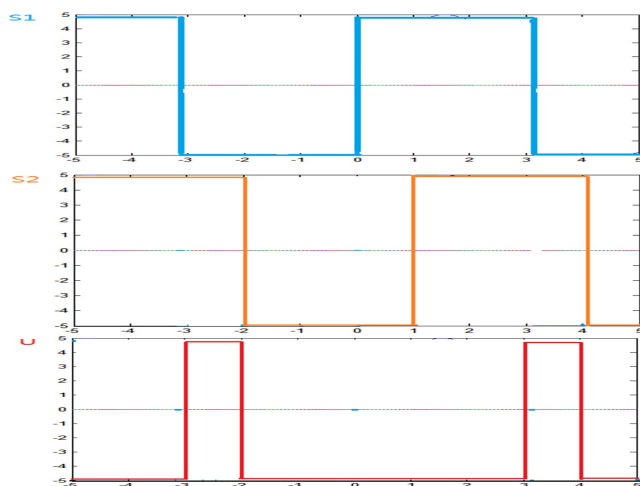
On peut alors déduire :

$$U = \overline{S1} * S2$$

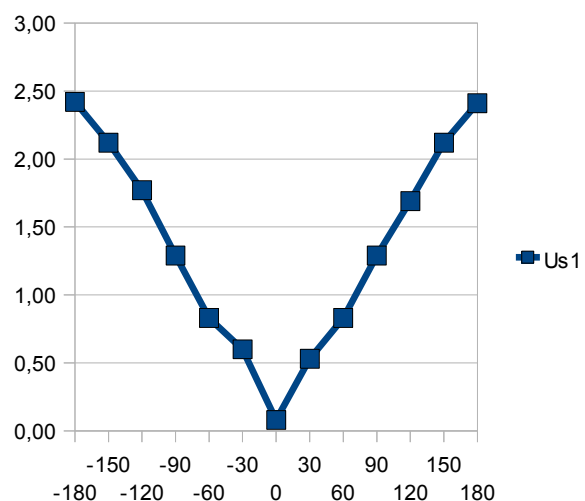
Donc le signal sortie est égal au déphasage. Par modélisation,  $Us = |S1 - S2| * 0,0132$

#### Relation logique entre S1, S2 et U

S1	S2	S1'	S2'	U
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	1	0	1	0



déphasage	Us1
-180	2.4
-150	2.03
-120	1.62
-90	1.24
-60	0.8
-30	0.41
0	0
30	0.42
60	0.79
90	1.23
120	1.63
150	2.05
180	2.42



### 3.2.3. Circuit 3 ( une porte OU Exclusif )



C'est le plus simple parmi les comparateurs de déphasage. Le déphasage  $|S1-S2|^2$  est présenté par le plateau du signal U.

Le relation logique est :

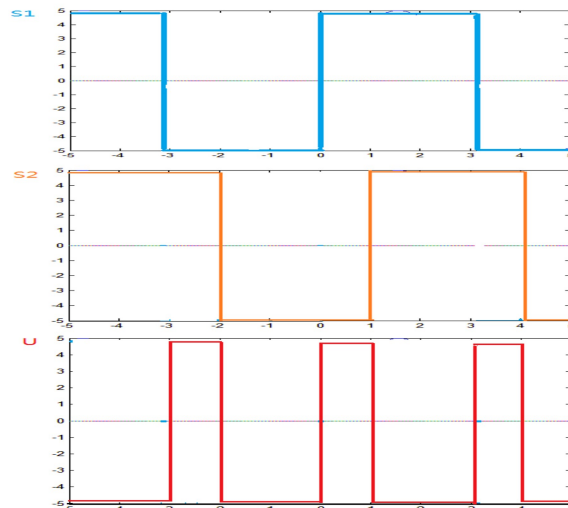
$$U = \overline{S1} * S2 + \overline{S2} * S1$$

Donc le signal U présent 2 fois le déphasage.

On suppose que le signal S1 est en retard d'une durée t par rapport à S2. Le signal du sortie de porte OU Exclusif correspond à un signal carré de fréquence double par rapport aux les signaux d'entrée.

#### Relation logique entre S1, S2 et U

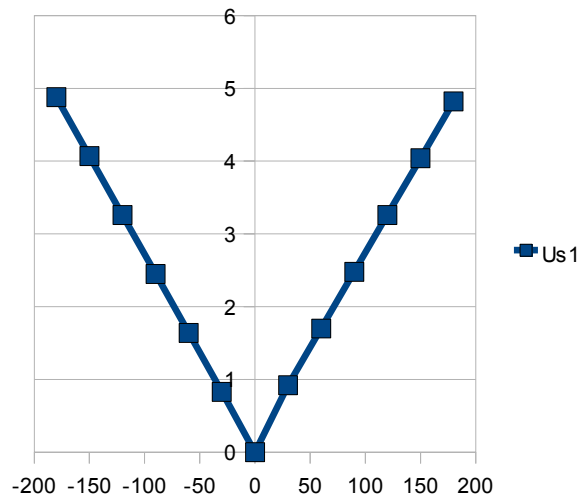
S1	S2	U
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



D'après cette diagramme, le voltage en

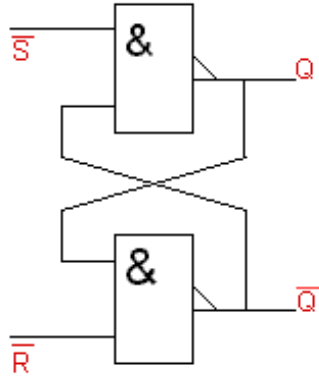
déphasage.  $U_s = \frac{2t}{T} E$  avec T la période, = 4.8

-180	4,88
-150	4,07
-120	3,26
-90	2,45
-60	1,64
-30	0,83
0	0
30	0,92
60	1,7
90	2,48
120	3,26
150	4,04
180	4,82



Par modélisation, on a trouvé  $U_s = 0,02667 * |S1-S2|$ .

### 3.2.4. Circuit 4 ( Bascule RS )



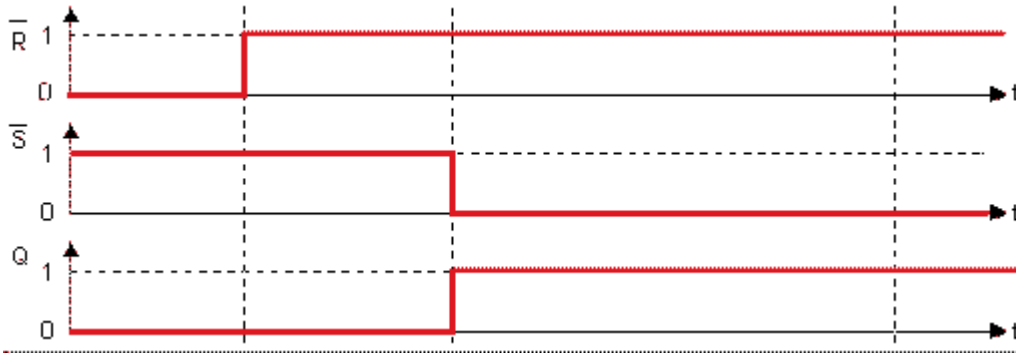
*Bascule RS (NAND)*

Dans cette partie, nous avons réalisé un Bascule RS en utilisant 2 portes NAND. Une seule sortie Q est suffisant pour déterminer le déphasage, qui est lié à le circuit convertissant déphasage en voltage.

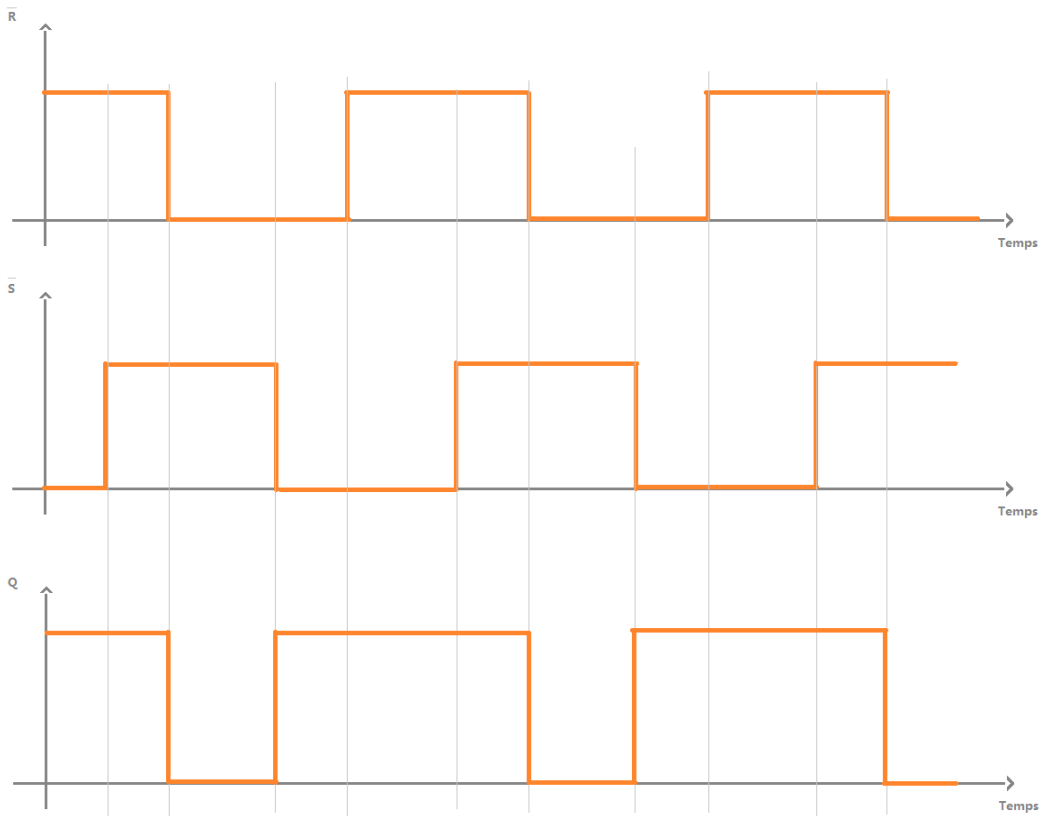
Relation logique entre les entrées et les sorties

Entrée		Sortie		États
$\bar{R}$	$\bar{S}$	$Q_{n+1}$	$\overline{Q_{n+1}}$	
0	0	Ambigüité		Interdit
0	1	0	1	Mise à 0
1	0	1	0	Mise à 1
1	1	$Q_n$	$\overline{Q_n}$	mémoire

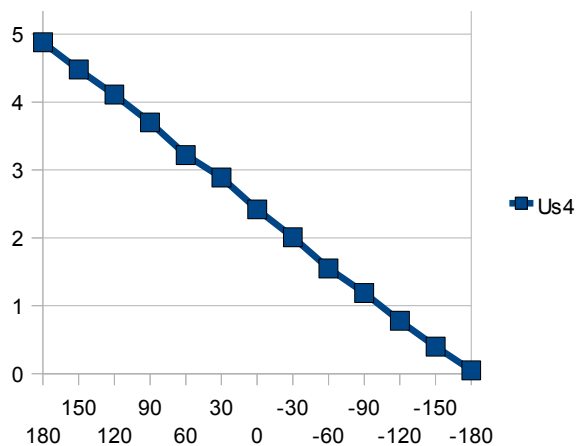
Il faut initialiser le bascule RS pour éviter le cas (0;0). Par exemple, on l'initialise par (0;1), et le relation entre R,S,Q peut être présenté par le graphe suivant:



Donc quand 2 signaux carrés de même forme entrent le bascule RS, le déphasage  $\bar{S}$  par rapport à  $\bar{R}$  est présenté par des vals entre les plateau, et le déphasage  $\bar{R}$  par rapport par  $\bar{S}$  est présenté par des plateau entre les vals.



déphasage	Us4
180	4,88
150	4,48
120	4,11
90	3,7
60	3,22
30	2,89
0	2,42
-30	2,01
-60	1,55
-90	1,19
-120	0,78
-150	0,4
-180	0,05



Le bascule est initialisé en état (0;1) ,le voltage est proportionnel de déphasage  $S_2-S_1+180^\circ$ .  
Par modélisation,  $U_s = 0,0134*(\overline{R}-\overline{S})+2,44$ .

#### 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Pendant le travail sur ce projet de comparateur de déphasage, nous avons découvert comment on mesure le déphasage des 2 signaux sinusoïdaux, le principe de fonctionnement de comparateur de déphasage et leurs différents types. Ce projet a nous enrichi beaucoup sur les circuits électroniques , notamment les circuits logiques. Au début nous commençons quasiment de zéro , nous n'avait pas entendu de parler un comparateur de déphasage . Comme nos projet déroule, les nombreuses détails techniques devient clairement devant nous.

Ce projet également nous apprend un gestion de travail d'équipe. Nous somme une groupe de 3 personnes et il y a vraiment beaucoup de travail à faire pour nous trois, donc il faut être efficace. Nous partageons le travail par affinités et aussi points forts de chacun. Dans ce projet, il faut au début rechercher sûr un sujet que nous ne connaissions pas. Il nous prends environs 7 semaines d'apprendre le connaissances basiques liés à ce sujet comme le circuit logique. Après, nous réaliser 4 schémas de PFD pour voir plus de détails en pratique.

Nous avons étudié le comparateur de déphasage avec le porte NAND, le porte OU Exclusif et le bascule RS. Pourtant, il existe plus de types du comparateur de déphasage comme le PFD avec bascule JK, avec multiplieur de Gilbert et cetera. Parmi les quels , il y a des circuit qui nous permet de mesurer non seulement le différence de la phase mais aussi de la fréquence.



## 5. BIBLIOGRAPHIE

- [1][http://fr.wikipedia.org/wiki/Comparateur\\_de\\_phase](http://fr.wikipedia.org/wiki/Comparateur_de_phase)
- [2][http://en.wikipedia.org/wiki/Phase\\_detector](http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_detector)
- [3]<http://fr.wikipedia.org/wiki/Bascule>
- [4]<http://wearcam.org/ece385/lectureflipflops/flipflops/>
- [5]<http://www.ac-nancy-metz.fr/pres-etab/lycom/electro/Cours-Electro/sequentielle.htm>
- [6][http://books.google.fr/books?id=IEvjVaLwIDwC&pg=PA81&lpg=PA81&dq=comparateur+phase+ou+exclusif&source=bl&ots=gdQraJcWM&sig=OiH3sa3jTulqC4mSz1zIBBRJXbU&hl=fr&ei=ymoXTMuNK5mW4gbE0JmuDA&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=7&ved=0CCMQ6AEwBg#v=onepage&q=comparateur%20phase%20ou%20exclusif&f=false](http://books.google.fr/books?id=IEvjVaLwIDwC&pg=PA81&lpg=PA81&dq=comparateur+phase+ou+exclusif&source=bl&ots=gdQraJcWM&sig=OiH3sa3jTulqC4mSz1zIBBRJXbU&hl=fr&ei=ymoXTMuNK5mW4gbE0JmuDA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=7&ved=0CCMQ6AEwBg#v=onepage&q=comparateur%20phase%20ou%20exclusif&f=false)