

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

---

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département d'Electronique



---

Mémoire de Master en Électronique

Thème :

Application de l'algorithme PCA et instrumentation de la  
Chaine de Mesure du réacteur NUR.

Réalisé par :

LENOUAR

Ali Zinelabidine

Encadré par :

Mr C.Larbes

Mme F.Adda

Promotion : Juin 2015

# *Dédicace*

*A mes parents, mon frère, mes petites sœurs et à feu ma grand-mère.*

*Repose en paix grand-mère*

# Remerciements

Mes sincères remerciements vont à mes encadreurs, Monsieur Chérif LARBES et Madame Fatema ADDA d'être les porteurs de ce projet. Je les remercie pour leur implication dans ce projet, leur disponibilité, les différents échanges et leur engagement pour mener à bien cette étude.

Je remercie vivement les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail : Monsieur D.BERKANI de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury, Monsieur C.LARBES et Madame F.ADDA d'avoir accepté de rapporter sur mon travail et Monsieur MAAMRI pour être mon examinateur . Merci à tous du temps pris pour la lecture de mon document. Merci de vos remarques et questionnements le jour de la soutenance.

C'est parce que chaque histoire a un point de départ, que je tiens à remercier très sincèrement Monsieur B.DERRAS et Monsieur A.BELOUACHRANI de m'avoir encouragé à aller dans le parcours de traitement de signal. Merci aux chercheurs et aux enseignants-chercheurs du département pour les conseils et discussions partagés.

Je remercie chaleureusement ceux qui ont accepté de m'aider à ce travail parmi eux, mes amis Reda, Ramzi, Farhat, Hocine, Adel et Housseem. Thanks Ramzi !!

A celui avec lequel l'amitié trouve tous son sens, avec lequel j'ai partagé mes délires, mes questionnements et toutes les discussions. J'adresse des remerciements particuliers à Madani Mouhammed Achraf que je félicite au passage.

J'adresse mes chaleureux remerciements à mes parents, à mes grands parents et à mon frère et mes adorables sœurs qui m'ont soutenu pendant toutes ces années d'étude,... merci

**ملخص:** إن القياس من تدفق النيوترونات والجسيمات غير المشحونة دائما يدخل ألتفاعل نيوتروني / مادة، سيتم إنشاء الجسيمات التي تنتج التيار الكهربائي للقياس. بعد كل امتصاص ألتيترونات والكربون وسيتم تحويل هذه المسألة الحساسة والتي لم تعد موجودة على هذا النحو فإن اختيار المواد للخضوع لهذا التفاعل تستهلك وتختفي بمعدل هي وظيفة من شدة تدفق النيوترون واحتمال حدوث رد فعل امتصاص المقطع العرضي. وأعلى وهذا الاحتمال يكون أعلى والإرادة الموردة الحالي قوية ولكن لا بد من تضخيم ذلك ودراس مع سلسلة قياس مناسبة من أجل الحصول على التمثيل الفعال لتدفق النيوترون.

**كلمات البحث** كتشف النيوترون المفاعل نور خوارزمية الني سي أي.

**RÉSUMÉ :** La mesure d'un flux de neutrons, donc de particules non chargées, fait toujours intervenir, une interaction neutron/matière, qu'elle va créer des particules susceptibles de produire un courant électrique mesurable. Après chaque absorption d'un neutron, les atomes de cette matière sensible vont se transformer et n'existent plus en tant que tels.

La matière choisie pour subir cette interaction va se consommer et disparaître à une vitesse qui est fonction de l'intensité du flux neutronique et de la probabilité d'occurrence de la réaction (section efficace d'absorption). Plus cette probabilité sera élevée et plus le courant fourni sera fort mais, ce dernier doit être amplifié et étudié avec une chaîne de mesure adaptée afin d'avoir une représentation effective du flux neutronique.

**Mots clés :** Réacteur NUR, Flux neutronique, Détecteur, Amplificateur, Algorithme PCA.

**Abstract :** The measurement of the neutron flux, thus uncharged particles, always intervene, a neutron / matter interaction, it will create particles may produce a measurable electrical current. After each absorption of a neutron, this sensitive matter will be transformed and no longer exist as such.

The material chosen to undergo this interaction will consume and disappearing at a rate is a function of the intensity of the neutron flux and the probability of occurrence of the reaction (absorption cross section). The higher this probability will be higher and the current supplied will strong but, it must be amplified and studied with a suitable measuring chain in order to have effective representation of the neutron flux.

**Keywords :** Reactor NUR, Neutron flux detector, Amplifier, PCA algorithm.

## NOMENCLATURE

$t$	temps	(s)
$n(t)$	flux neutronique	( $n/cm^2.s$ )
$P$	puissance du réacteur	(Watt)
$A$	facteur d'échelle	( $n/s$ )
$\lambda$	constante de vie des neutrons retardés	( $s^{-1}$ )
$\lambda_c$	intensité du capteur	( $cm^2/s$ )
$\lambda_f$	intensité de la détection des neutrons	( $s^2/cm$ )
$\lambda_d$	intensité de la fission	( $s^2.cm$ )
$\nu$	vitesse des neutrons	( $cm/s$ )
$\Sigma_c$	cross section du détecteur	( $cm^2$ )
$E$	champ électrique	( $V/cm$ )
$N$	nombre de paire de charge	( <i>paires</i> )
$W_1$	énergie moyenne nécessaire à la création d'un paires de charges	(eV)
$W$	énergie perdue par les charges dans le volume du détecteur	(eV)
$p$	pression de la chambre d'ionisation	( <i>atm</i> )
$\alpha$	coefficient de Townsend	( $cm^{-1}$ )
$q$	charge d'un électron	(C)
$v$	volume utile de chambre d'ionisation	( $cm^3$ )
$D$	débit de dose	( <i>roentgen/h</i> )
$I$	intensité de courant	(A)
$V$	tension	(V)
$R$	résistance	( $\Omega$ )
$C$	capacité d'un condensateur	(F)
$T$	période	(s)
$f$	fréquence	(Hz)

# Table des matières

<b>NOMENCLATURE</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>9</b>
<b>1 Instrumentation et Chaîne de Mesure</b>	<b>11</b>
1.1 Introduction . . . . .	11
1.2 Études théoriques . . . . .	11
1.2.1 Différents types de détecteurs . . . . .	12
1.2.2 Détecteurs basés sur l'ionisation gazeuse . . . . .	12
1.2.3 Performance d'un détecteur . . . . .	18
1.2.4 Mesures quantitatives . . . . .	19
1.2.5 Amplifications et traitement analogique du signal . . . . .	19
1.3 Études pratiques . . . . .	24
1.3.1 Amplificateur logarithmique utilisé au réacteur . . . . .	24
1.3.2 Amplificateur Anti-logarithmique utilisé au réacteur . . . . .	26
1.3.3 Dérivateur utilisé au réacteur . . . . .	27
1.3.4 Remarques et conclusion . . . . .	27
<b>2 Application de l'algorithme PCA à la détection de flux neutronique</b>	<b>28</b>
2.1 Introduction . . . . .	28
2.2 Théorie de l'algorithme PCA . . . . .	29
2.3 Simulation et commentaires . . . . .	32
2.3.1 Cas de deux capteurs . . . . .	32
2.3.2 Cas de panne . . . . .	34
2.4 Conclusion . . . . .	36

**CONCLUSION GÉNÉRALE**

**37**

**BIBLIOGRAPHIE**

**38**

# Table des figures

1.1	Détecteurs basés sur l'ionisation gazeuse . . . . .	13
1.2	Chambre à ionisation. Charges en fonction de la tension appliquée. [1] . . . . .	14
1.3	Géométrie du capteur . . . . .	18
1.4	Schéma synoptique de la chaîne de mesure dans le réacteur NUR . . . . .	20
1.5	Amplificateur logarithmique . . . . .	20
1.6	schéma basique de l'amplificateur logarithmique utilisé à NUR . . . . .	21
1.7	Amplificateur Anti-logarithmique . . . . .	22
1.8	Amplificateur Dérivateur . . . . .	23
1.9	Amplificateur logarithmique utilisé au sein de NUR . . . . .	25
1.10	Amplificateur Anti-logarithmique utilisé au NUR . . . . .	26
2.1	Représentation des deux signaux bruités . . . . .	33
2.2	Algorithme PCA . . . . .	34
2.3	Représentation des deux signaux bruités dans le cas de panne . . . . .	35
2.4	Algorithme PCA dans le cas de panne . . . . .	35



# Liste des tableaux

1.1	Principes fondamentaux de la détection et principaux instruments . . . . .	12
-----	--	----

# INTRODUCTION

La conduite et la sûreté des réacteurs nucléaires, de quelque filière qu'ils soient, nécessitent de mesurer l'énergie fournie par les fissions des noyaux d'uranium 235, donc la puissance nucléaire. Dans tous les cas, la mesure de cette puissance fait intervenir des mesures des rayonnements émis par le cœur du réacteur et plus particulièrement du flux de neutrons. Les paragraphes qui suivent vont donc décrire comment on mesure le flux de neutrons à l'intérieur du cœur et comment avoir une très bonne précision pour cette mesure. Avant d'entrer dans une description détaillée, il convient de s'attarder sur une particularité fondamentale des réacteurs nucléaires. Les lois de la physique neutronique veulent que la puissance ou le flux neutronique ne se répartissent pas de façon uniforme à l'intérieur du volume du réacteur. Il existe des endroits où la puissance est plus élevée qu'en d'autres, typiquement au centre du réacteur par comparaison à la périphérie. On parle alors de points chauds. C'est bien sûr aux points chauds que la puissance fournie se rapproche le plus des limites de conception, voire de sûreté d'où l'obligation de connaître parfaitement la valeur de la puissance et donc de mesurer le flux neutronique en ces points.

Ce phénomène de répartition non uniforme de la puissance doit être compris comme un phénomène physique se produisant au sein du réacteur dans tout son volume. On parle alors de distribution de puissance en trois dimensions ou plus simplement de distribution de puissance 3D.

Dans ce travail on va étudier les instruments de mesure et la chaîne associée à la détection de flux neutronique. De même, on va appliquer des algorithmes de traitement de signal, l'algorithme des Composantes Principales (PCA) sur le réseau de capteurs utilisé au réacteur nucléaire NUR, afin d'avoir plus de précision et moins de signaux bruités par le bruit élec-

troniques. L'effet du bruit électronique sur la mesure du flux neutronique introduit une marge d'incertitude sur son signal représentant et donc une imprécision sur toute utilisation de ce dernier.

L'instrumentation neutronique a pour fonction non seulement de mesurer le niveau de puissance mais aussi définir la distribution de puissance ou du flux neutronique en 3D et, en particulier, la valeur de la puissance locale fournie aux points chauds.

Dans ce mémoire, on va effectuer une approche d'instrumentation sur la chaîne de mesure du flux neutronique, utilisée au sein du réacteur nucléaire de Draria NUR. En plus de ça on va compléter ce travail d'instrumentation avec l'étude et l'application de l'algorithme *PCA*, sur cette chaîne de mesure.

# Chapitre 1

## Instrumentation et Chaîne de Mesure

### 1.1 Introduction

Cette partie du travail est la partie Master, elle est réservée pour l'étude de l'ensemble des instruments utilisés au sein du réacteur nucléaire NUR. Ces instruments de mesure sont constitués, d'un détecteur (réseau de capteurs) situé au centre du cœur du réacteur appelé Détecteur à Chambre d'Ionisation et une chaîne de mesure a la tâche d'amplifier et de filtrer le signal obtenu par cette chambre.

Donc, ce chapitre va être divisé en trois parties. la partie théorique, dont le travail va être sur la théorie des détecteurs utilisés aux réacteurs nucléaires et sur la chaîne d'amplification des signaux obtenus par ces derniers. La deuxième partie sera sur l'étude de la chaîne de mesure utilisée pratiquement dans le réacteur NUR.

Alors, les deux premières parties sont situées dans le domaine de l'instrumentation, la troisième est par contre sur le traitement de signal et sur l'amélioration de cette chaîne de mesure. Donc on va proposer dans ce sous chapitre des solutions pour avoir plus d'exactitude et de précision pour l'instrumentation du réacteur NUR.

### 1.2 Études théoriques

Un rayonnement pénétrant dans la matière produit des ionisations sous la forme de charges négatives (électrons) et positives (ions associés). Cette charge est détectable sous forme de courant ou de tension électrique, le signal obtenu par le détecteur est de l'ordre de  $10^{-15}$  à  $10^{-7}$  Amp. Donc, ce courant va être acheminé dans une chaîne d'amplification afin d'avoir un courant détectable ou mesurable à la sortie de cette dernière. Comme on a dit au paravent cette

première étude va être juste sur la théorie de l'instrumentation, donc on va parler sur les principales types de détecteurs utilisés pour mesurer le flux neutronique (notre objectif), et sur les types d'amplificateurs utilisés dans l'instrumentation nucléaire.

### 1.2.1 Différents types de détecteurs

La détection des rayonnements est une opération très complexe en soit. De plus, il existe de nombreux principes physiques qui peuvent être utilisés à cet égard. Ceci fait qu'il existe un très grand nombre de détecteurs disponibles sur le marché. Les principes à la base de la détection des rayonnements ainsi que quelques types d'instruments sont donnés dans le tableau suivant (Table 1.1) [1] :

TABLE 1.1 – Principes fondamentaux de la détection et principaux instruments

Principe physique	Matière	Exemple de détecteur
Ionisation	Gaz	Chambre à ionisation Compteur proportionnel Compteur Geiger-Müller
	Solide	Détecteur semi-conducteur Spectromètre HPGe
Luminescence	Solide	TLD Scintillateur NaI
	Liquide	Scintillation liquide
Oxydoréduction	Liquide	Dosimètre de Fricke
	Solide	Film photographique
Chaleur	Liquide/Solide	Calorimètre

### 1.2.2 Détecteurs basés sur l'ionisation gazeuse

#### 1.2.2.1 Mécanisme

Pour ce type de détecteur, le flux neutronique provoque une ionisation des particules du gaz dans un volume qui représente l'enceinte du détecteur. Lorsque ces ionisations ont lieu dans un gaz délimité par deux électrodes entre lesquelles une différence de potentiel est appliquée, on observe une migration des charges positives (ions positives) vers la cathode et des charges négatives (électrons) vers l'anode (figure 1.1). En circuit fermé, un ampèremètre indique le courant électrique passant dans le volume de gaz [1].

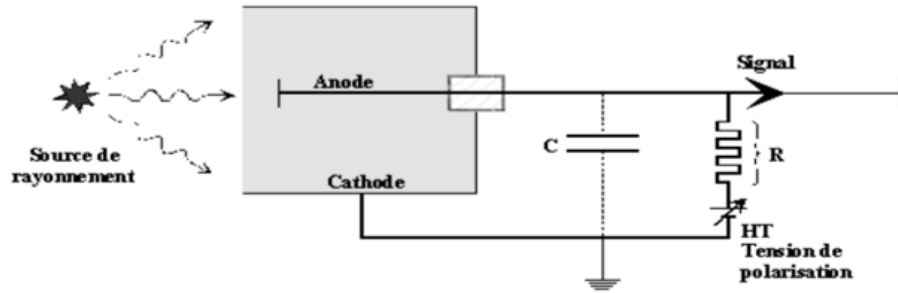


FIGURE 1.1 – Détecteurs basés sur l’ionisation gazeuse

Les électrodes sont généralement cylindriques, tel que l’enveloppe de détecteur constitue la cathode, fréquemment reliée à la masse, l’anode étant un fil fin coaxial auquel est alors appliquée une tension.

L’énergie moyenne  $W_1$  nécessaire à la création d’une paire d’ion dépend d’une part de la nature du gaz et d’autre part, à un degré moindre, de l’énergie de la particule incidente et de sa nature. Ainsi par exemple, la formation d’une paire d’ions par une particule  $\alpha$  du Polonium exige en moyenne  $35,6eV$  dans l’air,  $29,7eV$  dans le néon,  $23,6eV$  dans le Xénon.

Si la particule perd une énergie  $W$  dans sa traversée du volume utile du détecteur, il en résulte la création de  $N_0$  paires d’ions :  $N_0 = W/W_1$ , chaque paire étant formée d’un électron et d’un ion positif. Ces porteurs de charge se déplacent dans le champ électrique appliqué avec une vitesse fonction du champ et de la pression du gaz. La vitesse des électrons étant très supérieur à celle des ions positifs, ils atteignent l’anode avant que les ions se notablement déplacés.

Si le champ appliqué est suffisamment intense, les électrons acquièrent assez d’énergie pour créer de nouvelles paires d’ions par chocs avec les molécules de gaz : sur un parcours  $dx$ ,  $N$  électrons provoquent ainsi la formation de  $dN$  nouvelles paires d’ions :

$$dN = \alpha.N.dx \tag{1.1}$$

$\alpha$  Étant le coefficient de Townsend.  $\alpha$  dépend de la pression  $p$ , du champ électrique  $E$ , et de la nature du gaz selon une expression de la forme :

$$\frac{\alpha}{p} = A \exp\left(-\frac{Bp}{E}\right) \tag{1.2}$$

$A$  et  $B$  étant des constantes, cette ionisation secondaire se produit dans l’air dès lors que le rapport  $E/p$  est supérieur à  $22,5mV/cm.Pa$  soit  $2300V/cm$  à la pression atmosphérique nor-

male. Pour  $N_0$  paires d'ions créées par la particule incidente dans le volume utile du détecteur, le nombre  $N$  de charge collectées par les électrodes, et par suite l'amplitude du signal de sortie, dépende de la tension  $V$  appliquée aux électrodes. En fonction de la tension  $V$  on distingue divers régimes de fonctionnement du détecteur [6].

### 1.2.2.2 Les régions opérationnelles des détecteurs à ionisation

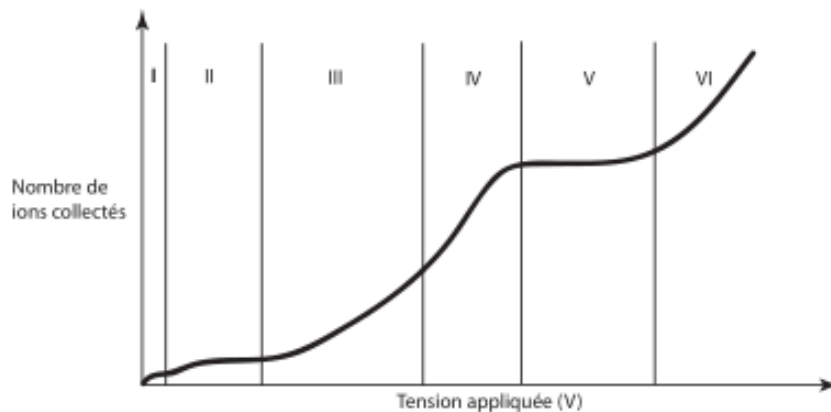


FIGURE 1.2 – Chambre à ionisation. Charges en fonction de la tension appliquée. [1]

La région de re-combinaison : I

Lorsque le champ électrique entre les électrodes est faible, les électrons et les ions peuvent se recombiner en atomes aussitôt après leur création :  $N < N_0$ . Seule une petite fraction des charges d'ionisation est détectée par l'amplificateur.

La région d'ionisation : II

Une fois que le champ électrique est assez intense pour limiter les recombinaisons, les charges d'ionisation migrent presque intégralement vers les électrodes. On obtient un signal qui reflète la charge totale d'ionisation ( $N = N_0$ ). Les détecteurs opérant dans cette région, par exemple les chambres à argon ( $Ar$ ) liquide et les détecteurs à semi-conducteurs ( $Si, Ge$ ), ont une excellente résolution en énergie et le signal mesuré est proportionnel à la charge déposée avec une bonne linéarité. Les signaux sont assez faibles parce qu'il n'y a pas d'amplification de charges dans le détecteur, et des amplificateurs spéciaux à bas bruit sont nécessaires.

La région proportionnelle : III, IV

Si le champ électrique est suffisamment intense ( $E \sim 10^4 V/cm$ ), les électrons sont accélérés par le champ électrique et gagnent assez d'énergie pour produire des ionisations secondaires.

Puisque la probabilité d'une ionisation secondaire par unité de longueur  $d$  est constante pour un champ électrique donné, le nombre total d'ionisations est proportionnel au nombre d'ionisations initiales :

$$N = N_0 \exp(\alpha d) \quad (1.3)$$

Le facteur de multiplication est donné par :

$$M = \exp(\alpha d) = 10^4 \sim 10^8 \quad (1.4)$$

Les détecteurs opérant dans la région proportionnelle sont généralement des détecteurs à gaz, parce que les gaz permettent d'obtenir un grand facteur de multiplication lors de l'avalanche. L'avantage des chambres proportionnelles est qu'elles n'exigent pas d'électronique à bas bruit. Elles peuvent être utilisées pour les mesures d'énergie, mais la précision est moins bonne à cause de la fluctuation du processus d'amplification et le facteur de multiplication dépend également de plusieurs facteurs tels que tension, température, etc. Les chambres à dérive sont idéales comme traceur devant un calorimètre parce que les particules perdent peu d'énergie dans les gaz.

Les avantages des chambres à gaz incluent un nombre relativement faible de fils d'anode, et une bonne résolution spatiale, de l'ordre de  $50\mu m$ , et une construction facile permettant des détecteurs de grande surface.

#### La région Geiger : V

Lorsque le champ électrique est suffisamment fort, les électrons primaires sont capables d'ioniser d'autres atomes très rapidement et une avalanche très intense se produit. De plus, un grand nombre de photons sont créés dans le processus par désexcitation des atomes. Ces photons initient eux aussi des avalanches d'ionisation par effet photo-électrique, au long du fil d'anode où le champ électrique est le plus intense. Ces avalanches sont suffisamment intenses pour générer une décharge électrique dans le gaz, si puissante qu'elle est audible. C'est le principe du compteur Geiger. La décharge ne s'interrompt que lorsque la charge autour de l'anode écranne suffisamment le champ électrique autour de celle-ci pour que le processus de multiplication ne puisse plus continuer. Pendant ce temps le détecteur n'est plus sensible aux ionisations primaires, et jusqu'à ce que les ions aient migrés suffisamment loin de l'anode. C'est l'origine du temps mort dans le compteur Geiger.



Dans une décharge, le courant d'anode est saturé. L'amplitude du signal est donc indépendante des charges primaires. Les compteurs Geiger ne peuvent pas mesurer l'énergie des particules, mais on les utilise pour compter le nombre de particules le traversant, même aux faibles énergies. Ceci est utile pour les mesures de radioactivité. Le taux maximal mesurable est limité par le temps mort.

La région de décharge : VI

Une augmentation du champ électrique au-delà de la région Geiger entraîne une décharge continue. Un détecteur n'est plus utilisable dans cette région.

### 1.2.2.3 *Chambre d'ionisation*

Lorsque le gaz contenu dans le détecteur est soumis à un flux constant de particules, on recueille à l'anode un courant  $I$  qui est proportionnel :

Au nombre  $n$  de particules incidentes par second dans le volume utile.

Au nombre  $N_0$  de paires d'ions formées par chacune de ces particules,

$$I = q_e n N_0 \quad (q_e = 1.6 \cdot 10^{-19} C) \quad (1.5)$$

Dans le cas d'un rayonnement  $X$  ou  $\gamma$ , le courant  $I$  peut être mis sous la forme :

$$I = \frac{k \cdot \nu \cdot p \cdot D}{1,08} 10^{-13} \quad (1.6)$$

$I$  en  $A$ ,  $k$  étant une constante pour un gaz donné ( $k = 1$  pour l'air),  $\nu$  le volume utile en  $cm^3$ ,  $p$  la pression du gaz exprimée en atmosphère et  $D$  le débit de dose en roentgen/heure.

Ce courant  $I$ , de l'ordre de  $10^{-15}$  à  $10^{-4} A$  selon le débit de dose est indépendant de la tension  $V$  dans une plage de plusieurs centaines de volts ; le signal de mesure est la chute de tension  $v_m$  provoquée par ce courant dans une résistance  $R_m$  élevée ( $R_m > 10^{10} \Omega$ ).

Selon la nature de rayonnement à détecter, on utilise un gaz, une pression et un type de fenêtre assurant la meilleure efficacité de détection.

Pour la mesure du courant délivré par la chambre, on utilise généralement un convertisseur courant-tension. L'utilisation de deux chambres identiques dont on mesure la différence des courants de sortie permet de compenser les effets des rayonnements parasites qui leurs sont communs (rayonnements cosmiques,  $\gamma$  ambiant). C'est ainsi qu'est réalisable la détection des neutrons en présence de flux important de rayonnement  $\gamma$  : une électrode de l'une des deux

chambres est recouverte d'une couche mince de carbure de bore qui émet des particules  $\alpha$  lors de la capture de neutrons par les noyaux de ( $\frac{1}{5}B$ ) ; c'est à l'ionisation provoquée par ces particules  $\alpha$  qu'est due la différence de courant des deux chambres.

La détection individuelle de particules est possible au moyen d'une chambre d'ionisation à condition que la charge collectée à l'anode soit suffisante ; ce n'est en générale pas le cas pour une particule  $\beta$ .

Le gaz utilisé est notamment le fluorure de bore ( $BF_3$ ) qui réagit avec les neutrons en émettant des particules  $\alpha$ , ou l'Hélium ( ${}^3_2He$ ) qui quant à lui émet des protons. Cette réaction est importante pour les neutrons thermiques. Si on veut détecter des neutrons rapides, on est obligé d'abord de les ralentir pour réduire leur énergie par diffusion sur de l'hydrogène. C'est pourquoi les détecteurs de neutrons sont entourés d'une couche de polyéthylène, matière riche en hydrogène [6].

#### 1.2.2.4 *Compteur proportionnel*

Il s'agit d'un détecteur à ionisation de gaz, comme le compteur *Geiger-Müller* mais fonctionnant avec une plus basse tension. Ainsi, au lieu d'être en saturation (chaque arrivée de photon ou de particule provoque une étincelle maximum), on est dans le régime linéaire, et donc l'intensité de l'arc électrique créé est proportionnelle à l'énergie du photon, d'où le nom du détecteur.

#### 1.2.2.5 *Compteur de Geiger-Muller*

Le compteur Geiger, ou compteur *Geiger-Müller* (ou compteur *GM*), sert à mesurer un grand nombre de rayonnements ionisants (particules alpha, bêta ou gamma et rayons X, mais pas les neutrons). Cet instrument de mesure, dont le principe fut imaginé vers 1913 par *Hans Geiger*, fut mis au point par lui et *Walther Müller* en 1928.

Il est constitué d'un tube de *Geiger-Müller*, d'un système d'amplification et d'un système d'enregistrement du signal. Le tube *Geiger-Müller*, est en fait une chambre métallique cylindrique dans l'axe de laquelle est tendu un mince fil métallique, est rempli d'un gaz sous faible pression. Une tension de l'ordre de 10000volts est établie entre le cylindre (qui fait office de cathode) et le fil (anode).

### 1.2.3 Performance d'un détecteur

La performance d'un détecteur dépend de plusieurs facteurs internes qui dépendent du détecteur lui-même, et externes qui dépendent du milieu externe, ces facteurs sont les suivants :

Géométrie du capteur :

Les performances d'un détecteur de flux neutronique dépendent de la géométrie du capteur c-à-d l'angle solide limitée par la surface détectrice de flux neutronique. Le flux neutronique généré par une source radioactive divergent dans tout le volume sphérique qui entoure cette source et donc le détecteur recueille uniquement les particules émises dans l'angle solide  $\Omega$ .

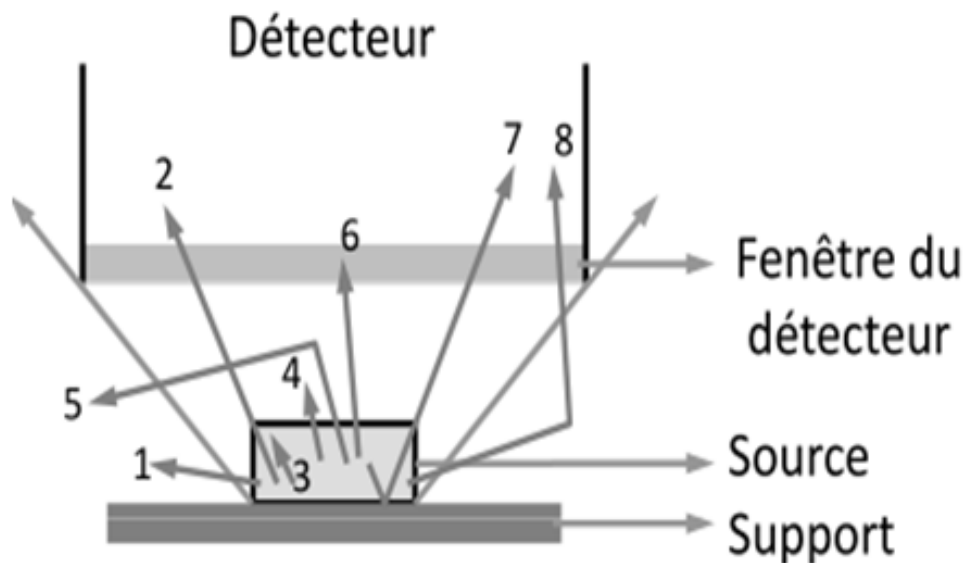


FIGURE 1.3 – Géométrie du capteur

1 émission hors l'angle solide de détection.

2 détections.

3 absorptions par la source.

4 absorptions par le milieu ambiant.

5 diffusions hors l'angle de détection par le milieu ambiant.

6 absorptions par la fenêtre de détection.

7 détections après rétrodiffusion sur le support.

8 Détection après diffusion par le milieu ambiant.

Bruit de fond :

Ce bruit est mesurable en absence de source radioactive et il est la cause du rayonnement cosmique (le flux de noyaux atomiques et de particules de haute énergie qui circulent dans le vide interstellaire), la radioactivité ambiante et à la contamination éventuelle du détecteur.

Sensibilité du détecteur :

C'est la plus faible valeur de flux détectable, elle est liée au bruit de fond donc au rapport SNR.

Efficacité de la détection :

C'est le rapport entre le flux incident et le nombre d'événements détectés, elle est liée principalement à l'énergie du rayonnement, type des particules détectées et au type de détecteur.

Temps mort  $\tau$  :

Le temps minimal entre deux événements détectés, pour les compteurs actuels le taux de comptage est de  $10^8$  événements par seconde.

Linéarité :

Le détecteur est linéaire si le comptage est proportionnel au flux neutronique.

#### 1.2.4 Mesures quantitatives

Taux de comptage :

C'est le nombre d'impulsions net par unité de temps mesurées par le compteur (*imp/s*).

$$n_{net} = n_{brut} - BF. \quad (1.7)$$

Rendement de comptage :

$$R = \frac{n_{net}}{A}. \quad (1.8)$$

$A$  est l'activité de l'échantillon. Le rendement  $R$  est une fonction du type de désintégration, de la géométrie du détecteur et de l'efficacité du compteur [6].

#### 1.2.5 Amplifications et traitement analogique du signal

Après cette initiation à la détection nucléaire, on a intérêt maintenant à voir l'étude théorique de l'amplification du signal obtenu à la sortie de la chambre d'ionisation. Cette chaîne de mesure ou d'amplification contient 5 blocs principaux, sur la figure 1.4 [2], on voit le schéma synoptique qui représente ces blocs constituant la chaîne de mesure.

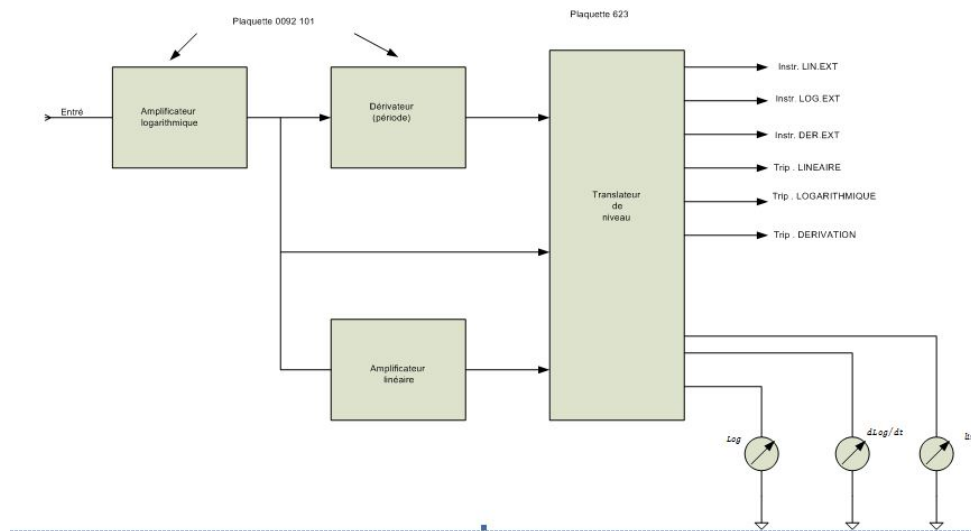


FIGURE 1.4 – Schéma synoptique de la chaîne de mesure dans le réacteur NUR

On regardant ce schéma synoptique, on constat que cette chaîne de mesure a la tâche d'amplifier le signal, et de donner soit : le signal amplifié avec un gain fixé par l'amplificateur linéaire, le *log* de ce signal ou la dérivée de ce *log*, selon le besoin (ce point va être détailler dans la partie pratique). Le signal amplifié va être transférer vers un translateur de niveau pour avoir des sortie mesurables, et en fin afficher par un afficheur analogique.

### 1.2.5.1 Amplificateur logarithmique

Un amplificateur logarithmique délivre en sortie une tension qui varie linéairement avec le logarithme du courant d'entrée. Dans son principe, on peut admettre qu'il est réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel bouclé par un dipôle D non linéaire (figure 1.5) [7].

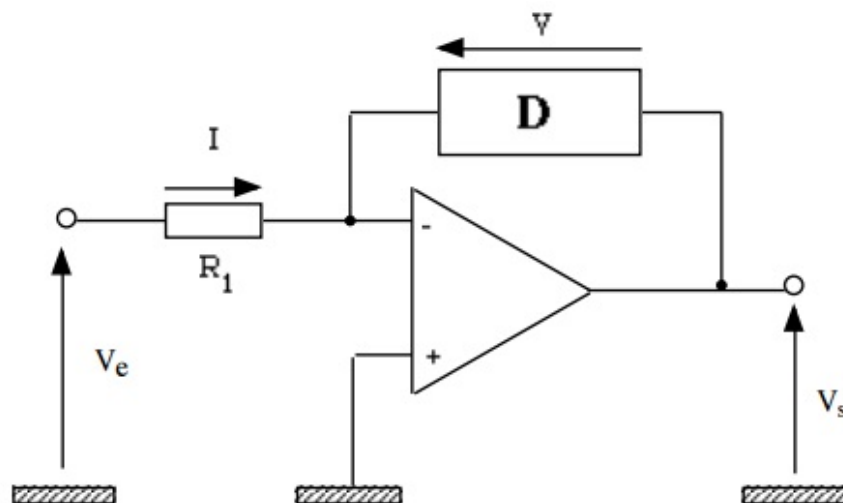


FIGURE 1.5 – Amplificateur logarithmique

Ces circuits sont essentiellement utilisés pour obtenir une compression de gamme : si l'amplitude du signal d'entrée varie sur plusieurs décades (5 ou plus), ce signal saturera un amplificateur linéaire, mais pas un amplificateur logarithmique. Ces amplificateurs sont également utilisés pour obtenir directement en décibels le gain d'un amplificateur ou l'atténuation d'un filtre.

Les amplificateurs logarithmiques utilisés en instrumentation sont des circuits intégrés très complexes et coûteux car ils possèdent des circuits de compensation en température (correction des variations de la tension de sortie dues à l'influence du gain d'amplification et du courant de saturation de dipôle).

On propose le schéma simplifié de cet amplificateur (utilisé au réacteur NUR), afin de calculer la sortie obtenue par l'amplificateur logarithmique (figure 1.6) [2].

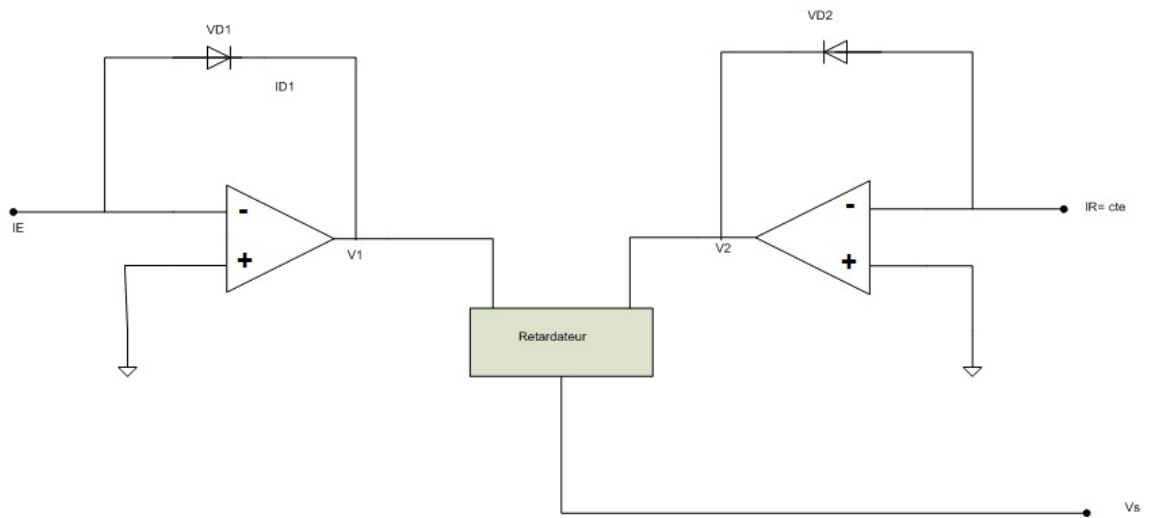


FIGURE 1.6 – schéma basique de l'amplificateur logarithmique utilisé à NUR

Avec :

$$I_E = I_{d1} \quad (1.9)$$

$$I_{d1} = I_{s1}(\exp(V_{D1}/V_T) - 1); \quad (1.10)$$

Pour une jonction  $PN$  en  $Si$ , le rapport  $V_t = KT/q = 26mV$  à la température ordinaire  $300K$ . Tel que  $K = C^{te} = 1.38J/K$  appelée la constante de Boltzman,  $T$  est la température en  $K$ ,  $q$  est la charge d'un électron qui vaut  $1.6021 * 10^{-19}C$ ,  $I_{s1}$  est le courant de saturation de la jonction et  $V_{D1}$  est la tension au bord de la diode (un élément non linéaire en générale).

Et comme le transistor utilisé dans le circuit pratique du réacteur NUR est le transistor  $2N4044$

[2], le courant de saturation  $I_{s1}$  est de l'ordre de  $10^{-14} A$ , alors on le néglige afin d'avoir :

$$I_{d1} = I_{s1} \exp(V_{D1}/V_T); \quad (1.11)$$

C'est clair que la tension  $V_{D1} = V_1$ , et donc on aura  $\ln(I_{d1}/I_{s1}) = V_1/V_T$ . Et au finale :

$$V_1 = V_T \ln(I_E/I_{s1}); \quad (1.12)$$

Le même traitement pour la deuxième diode, Alors on a aussi :

$$V_2 = V_T \ln(I_R/I_{s2}); \quad (1.13)$$

La sortie du retardateur donne la différence  $V_s = V_1 - V_2$ , est donc elle est égale à :

$$V_s = V_T \ln(I_E/I_R); \quad (1.14)$$

Car les courants  $I_{s1}$  et  $I_{s2}$  sont identiques.

Autrement dit, la tension de sortie est proportionnelle au logarithme du courant d'entrée, qui peut également être variée à volonté en agissant sur  $I_R$ , qui représente l'échelle de la valeur de référence.

#### 1.2.5.2 Amplificateur Anti-logarithmique

Pour retrouver la première fonction (signal donné par le détecteur), on a placé un amplificateur restituant le terme réel à partir du terme logarithmique. Cet amplificateur est représenté par le schéma de base suivant :

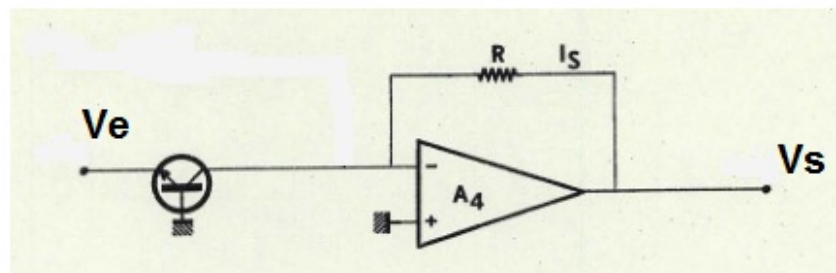


FIGURE 1.7 – Amplificateur Anti-logarithmique

### 1.2.5.3 Dérivateur

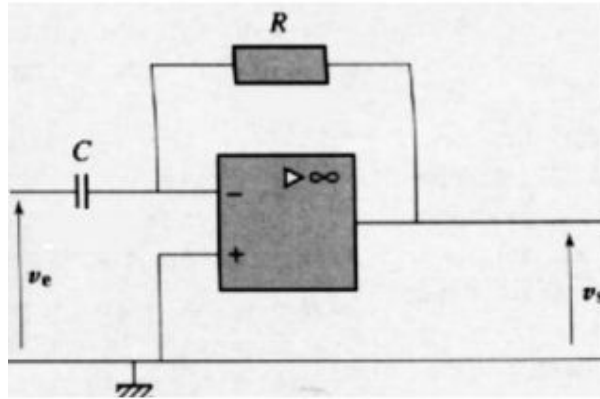


FIGURE 1.8 – Amplificateur Dérivateur

On considère le montage de la figure (1.8). La loi des nœuds appliquée à l'entrée inverseuse donne :

$$C \frac{d(V_e - V_-)}{dt} + \frac{V_s - V_-}{R} = 0; \quad (1.15)$$

En régime linéaire  $V_- = 0$  et dans ces conditions  $\frac{V_s}{R} + C \frac{dV_e}{dt} = 0$ , soit :

$$V_s = -RC \frac{dV_e}{dt}; \quad (1.16)$$

Et donc, ce montage réalise une dérivation.

### 1.2.5.4 Translateur de niveau

Ce bloc est constitué par des trois amplificateurs intégrateurs (chacun pour un des 3 signaux), ont la tâche d'intégrer les signaux dits rampes (puisque le détecteur donne des rampes chaque fois il reçoit des charges) pour enfin donner des signaux continus qui représentent le flux neutronique, ces amplificateurs intégrateurs ont des potentiomètres en entrée pour fixer le gain et l'offset (le zéro) en sortie. Dans ce bloc on a aussi des amplificateurs suiveurs ont le rôle de diviser la sortie en plusieurs, afin de pouvoir brancher les instruments de mesures, d'affichage, et de contrôle. Donc en général le rôle principal du translateur de niveau est d'assurer l'adaptation d'impédance, l'isolement et enfin avoir des sorties de contrôle et de mesure.

### 1.2.5.5 Isolateur galvanique

On parle d'isolation galvanique entre deux circuits électriques ou électroniques, lorsqu'il n'y a aucune liaison par un conducteur d'électricité (fil électrique, châssis métallique, etc.)



entre ces deux circuits.

Par exemple, Un transformateur permet une isolation galvanique de deux circuits, Un optocoupleur permet une isolation galvanique entre le circuit émetteur et celui du récepteur. C'est un flux lumineux qui assure la transmission d'information entre les deux circuits. Cette isolation est utilisée dans l'instrumentation du réacteur NUR pour protéger l'instrumentation de mesure.

### 1.3 Études pratiques

Comme on a dit auparavant cette partie va être consacrée juste aux études pratiques du circuit utilisé pour amplifier et mesurer le courant résultant du flux neutronique. Dont, on remarque qu'on a la nécessité de traiter principalement l'amplificateur logarithmique, l'anti-logarithmique et le dérivateur. On a choisit ces amplificateurs pour traiter précisément, puisque ils représentent les circuits responsables d'avoir un signal représentant du flux neutronique.

#### 1.3.1 Amplificateur logarithmique utilisé au réacteur

Le circuit représenté sur la figure 1.9, génère une tension de sortie proportionnelle au logarithme du courant d'entrée, l'un des transistors (a) est utilisé comme élément non linéaire pour créer une contre réaction pour l'amplificateur  $Z_1$ , et dans ce cas ce dernier est logarithmique. Étant donné que la sortie de  $Z_1$  est reliée a l'émetteur du transistor (a) par l'intermédiaire d'un diviseur résistif et de la base d'un autre transistor (b), et que le courant de collecteur du transistor (a) est égale au courant d'entrée  $I_E$ . Le transistor (b), est utilisé comme élément de contre-réaction pour  $Z_3$ , son courant de collecteur est par l'affection d'une rétroaction négative égal au courant de l'entrée constante  $I_R$ . Étant donné que le courant de collecteur et la tension base-émetteur sont constantes donc (sans tenir compte de l'effet de la température) la tension base-émetteur du premier transistor (a) est aussi constante et elle varie en fonction du changements dans le courant d'entrée . La tension de sortie  $V_s$  est une fonction de la différence des tensions émetteur-base des deux transistors, et donc les transistors (a) et (b) ont la tache du retardateur étudié à la partie théorique.

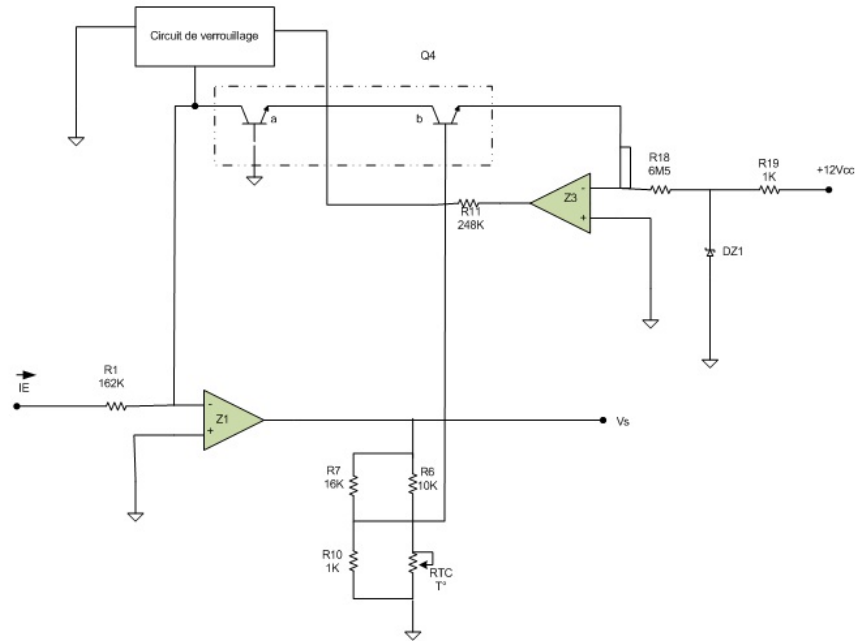


FIGURE 1.9 – Amplificateur logarithmique utilisé au sein de NUR

Et donc, on trouve :

$$V_s = \frac{(R_7//R_6) + (R_{TC}//R_{10})}{(R_{TC}//R_{10})} (V_{BEb} - V_{BEa}); \quad (1.17)$$

avec

$$V_{BE} = (V_{BEb} - V_{BEa}) = -(KT/q) \ln(I_{ca}/I_{cb}); \quad (1.18)$$

Et, par la suite on a :

$$V_s = -(KT/q) \frac{(R_7//R_6) + (R_{TC}//R_{10})}{(R_{TC}//R_{10})} \ln(I_{ca}/I_{cb}); \quad (1.19)$$

Cette dernière expression montre que la sortie est proportionnelle au logarithme du courant d'entrée.

Le coefficient  $KT/q$  indique que la tension de sortie est directement fonction de la température absolue, cependant  $R_{TC}$  est directement proportionnelle à la température, elle peut maintenir un gain constant pour une précision contre température requise. La compensation de température est d'environ  $\pm 0.0005C^{-1}$  sur une plage de température de  $0 - 50C$ .

Le diviseur de tension  $\frac{(R_7//R_6) + (R_{TC}//R_{10})}{(R_{TC}//R_{10})}$  fixe le gain, tandis que le courant à travers la résistance  $R_{18}$  définit zéro. Avec les valeurs spécifiées le facteur d'échelle est de  $1V/decades$ , nous avons alors :

$$V_s = -[\lg(I_E/I_R) + 0.5] Volt; \quad (1.20)$$

Mais étant donné que le courant d'entrée est directement proportionnelle au flux de neutrons du réacteur, en fin de compte on a une sortie de tension proportionnel au logarithme du flux de neutrons, et donc :

$$V_s = A \lg(n(t)); \quad (1.21)$$

Dont,  $A$  est le facteur d'échelle et  $n(t)$  est le flux neutronique. Pour un débit de croissance exponentielle (produite par un accroissement positif de la réactivité) on a :

$$n(t) = n(0) \exp(t/T); \quad (1.22)$$

Tel que,  $n(0)$  est le flux initiale et  $T$  est temps de croissance constant ou la période.

Le débit  $V_s$  est représenté par une tension de sortie d'une phase logarithmique, et donc on peut arriver à l'équation suivante.

$$V_s = -[\lg(n(0)) + t/T \lg(\exp)]; \quad (1.23)$$

En dérivant le signal obtenu :

$$\frac{dV_s}{dt} = A \frac{0.43}{T} \text{decades/s}; \quad (1.24)$$

### 1.3.2 Amplificateur Anti-logarithmique utilisé au réacteur

En effet, cet amplificateur est un simple amplificateur suiveur avec un gain unitaire (le rapport entre  $R_{17}$  et  $R_{13}$ ) et non pas un anti-logarithmique, puisque son entrée est la même entrée de l'amplificateur logarithmique, cette entrée est acheminé par l'intermédiaire du transistor (a). Le courant d'entrée (donné par le détecteur) est égal au courant  $I_{ca}$ , et donc égal au courant  $I_{ea}$  qui est l'entrée de l'amplificateur Z4, la diode DZ4 a la tâche de fixer la tension entre les entrées de l'amplificateur et même la bande passante (on travail toujours on basses fréquences). la figure (1.10) représente le schéma de cet amplificateur.

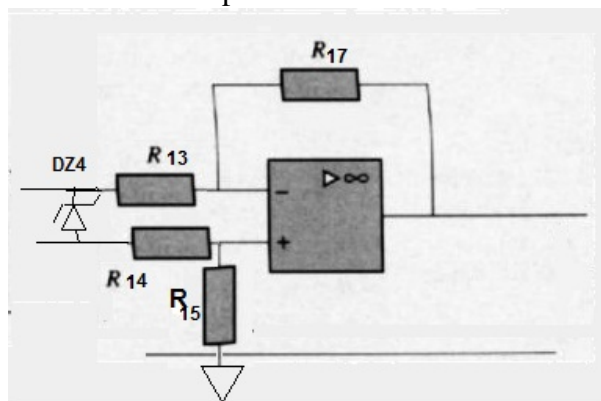


FIGURE 1.10 – Amplificateur Anti-logarithmique utilisé au NUR

### 1.3.3 Dérivateur utilisé au réacteur

Pour ce dérivateur, la tension de sortie donne toujours la dérivé du signal d'entrée.

$$V_s = V_e \frac{Z_2}{Z_1} \quad (1.25)$$

Tel que,  $Z_1 = 1/PC_1$  et  $Z_2 = R_8$  (faire référence au Datasheet CIC). Et donc on peut écrire

$$V_s = PR_8C_1V_e \quad (1.26)$$

Ce qui implique

$$V_s = R_8C_1 \frac{dV_e}{dt} \quad (1.27)$$

En remplaçant  $V_e$

$$V_s = R_8C_1A \frac{d(\lg(n(t)))}{dt} \quad (1.28)$$

La sortie de ce dérivateur est proportionnelle à la dérivé du flux neutronique.

$$V_s = R_8C_1A \frac{0.43}{T} \quad (1.29)$$

Dans plusieurs montages, l'amplificateur dérivateur est utilisé principalement pour surveillé les variations du signal, puisque ce circuit peut donner la dérivé et donc la période du signal traité. Au sein du réacteur NUR la sortie du dérivateur est très importante afin d'avoir la période du signal représentant de flux neutronique, cette information sur la période est le clé de contrôler la réaction en cours.

### 1.3.4 Remarques et conclusion

On a traité dans cette approche, le circuit utilisé au réacteur NUR en général. Il reste de mentionner le rôle des circuits de verrouillage, ces circuits bloquent la chaine de mesure en cas d'un courant d'entrée très élevé afin de protéger le circuit global. En addition, d'autres circuits et dispositifs sont utilisés pour afficher les signaux sur des afficheurs analogiques.

# Chapitre 2

## Application de l'algorithme PCA à la détection de flux neutronique

### 2.1 Introduction

L'application du traitement de signal dans l'instrumentation a un très grand succès à nos jours. Le traitement d'antenne est un des exemples les plus connus et les plus bénéfiques. Dans ce sous-chapitre, on a aimé introduire des notions de traitement d'antenne dans la chaîne de mesure constituée par un réseau de capteurs (antennes) situés dans l'enceinte du réacteur. Ce réseau de capteurs a l'importance de nous livrer le signal représentant du flux neutronique (résultats obtenus auparavant) et donc de contrôler le réacteur en basant sur cette information de valeur. Et pour cette raison on a proposé l'approche de l'algorithme *PCA* (*Principal Component Analysis*). Cet algorithme a intérêt de filtrer le bruit et de décider le capteur qui a le signal le plus exacte.

Le PCA est le nom en général d'une technique qui utilise des principes mathématiques sophistiqués pour transformer un nombre de paramètres probablement corrélés à un nombre inférieur ou égale de paramètres décorrélés nommés "Principals Components". L'origine du PCA est lié à l'analyse multivariée de données, et donc il a plusieurs applications dans le traitement de signal et même dans le traitement de l'image (restauration, compression et décompression), les applications les plus connues de l'algorithme PCA est le *de-noising signals* et la séparation de sources.

En général, le PCA utilise une transformation de l'espace de vecteur pour réduire la taille (dimension) très grande de la donnée. En utilisant une projection mathématique, la donnée original à beaucoup de variables, peut être simplifiée pour la représenter enfin avec peu de variables.

L'objectif de cette partie de travail est d'expliquer le coté théorique du PCA, et de fournir une application pratique de l'algorithme sur la chaîne de mesure du réacteur NUR.

## 2.2 Théorie de l'algorithme PCA

Pour un signal défini dans une base quelconque, l'information toujours donnée avec un bruit aléatoire supposé de distribution Gaussienne, ce bruit peut influencer la mesure et donner de fausses résultats (dans le cas d'une chaîne de mesure désadaptée). Le principe du PCA est de transformer les vecteurs de signal dans une première base vers une autres base (à chercher), pour enfin de compte avoir un signal moins bruité.

La question qui se pose maintenant c'est : *est-ce-qu'on peut trouver une autre base qui est une composition linéaire de l'ancienne base, et à partir de cette base est-ce-qu'on peut reconstruire notre signal ?*.

En assumant qu'on a un ensemble de données représentées en terme de matrice  $m \times n$ ,  $X$  où  $n$  est le nombre de colonnes (échantillons en temps) et le  $m$  est le nombre des lignes qui représentent le nombres de variables (signaux).

On a la tache maintenant de transformer la matrice  $X$  linéairement, pour avoir une autre matrice  $Y$ , avec les mêmes dimensions  $m \times n$ , avec une matrice de transformation  $P$  de dimension  $m \times m$ ;

$$Y = PX \tag{2.1}$$

Cette équation représente le changement de base. Si on considère les colonnes de  $P$  d'être les vecteurs colonnes  $p_1, p_2, \dots, p_m$ , et les colonnes de  $X$  comme la suite de vecteurs  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$ , on aura l'interprétation suivante :

$$PX = (P\bar{x}_1 P\bar{x}_2 \dots P\bar{x}_n) = \begin{pmatrix} p_1\bar{x}_1 & p_1\bar{x}_2 & \dots & p_1\bar{x}_n \\ p_2\bar{x}_1 & p_2\bar{x}_2 & \dots & p_2\bar{x}_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_m\bar{x}_1 & p_m\bar{x}_2 & \dots & p_m\bar{x}_n \end{pmatrix} = Y; \tag{2.2}$$

Tel que,  $p_i, \bar{x}_j \in R^m$ , et  $p_i x_j$  est le produit Euclidien standard (scalaire). Ce produit scalaire est donc la projection de  $X$  dans l'espace engendré par les colonnes de  $P$ , cet espace représente les directions des composantes principales.

Pour une matrice  $X$  de vecteurs  $\bar{x}_j$  centrés, on peut considérer la matrice de covariance suivante :

$$C_X = \frac{1}{n} \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \bar{x}_1^T & \bar{x}_1 \bar{x}_2^T & \dots & \bar{x}_1 \bar{x}_n^T \\ \bar{x}_2 \bar{x}_1^T & \bar{x}_2 \bar{x}_2^T & \dots & \bar{x}_2 \bar{x}_n^T \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_n \bar{x}_1^T & \bar{x}_n \bar{x}_2^T & \dots & \bar{x}_n \bar{x}_n^T \end{pmatrix} \in R^{m \times m} \quad (2.3)$$

Pour cette matrice, on a calculé les auto-covariances sur la diagonale, et les cross-covariances sur le reste des termes. Revenant à notre problème, la transformation linéaire (la projection) de la matrice des données, en utilisant l'équation (2.1), avec une matrice  $P$  qu'on doit chercher. Il faut décider aussi les caractéristiques et les propriétés que la matrice  $Y$  ( $C_Y$ ) doit vérifier pour obtenir notre objectif de compression et de filtrage.

La matrice de covariance est considérée comme un paramètre qui détermine le niveau de corrélation entre les vecteurs d'une matrice. La méthode de l'algorithme PCA, consiste à chercher une matrice  $Y$  avec des colonnes les moins corrélées possible, et donc les cross termes de la matrice  $C_Y$  doivent être nuls (les termes de la diagonale sont obligatoirement positifs). Par contre on s'intéresse aux valeurs larges de la diagonale de la matrice résultante, puisque elles représentent la dynamique du système (puisque les petites termes de la diagonale représentent le bruit). Donc pour construire la matrice  $C_Y$ , on a l'intérêt à :

- Maximiser le signal, et donc maximiser les termes de la diagonale
- Minimiser la variance entre les variables, et donc minimiser les cross-termes de la matrice de covariance

On arrive à la conclusion qui dit, plus que les cross-termes sont proches de zéro plus qu'on a une matrice  $C_Y$  diagonale. Si on doit choisir une matrice de changement de base  $P$ , donc ça doit être la quelle qui donne une matrice  $C_Y$  diagonale, avec cette solution on pourra atteindre notre objectif.

Les vecteurs  $p_1, p_2, \dots, p_m$ , sont supposés orthonormaux [9]. Avec la dernière supposition on peut obtenir la matrice diagonale de  $C_Y$  voulue. En considérant la formule mathématique de la matrice de covariance  $C_Y$  en fonction des paramètres  $X$ , et  $P$ .

$$C_Y = \frac{1}{n} Y Y^T = \frac{1}{n} (P X) (P X)^T = \frac{1}{n} P (X X^T) P^T, \quad (2.4)$$

et, donc

$$C_Y = \frac{1}{n} P S P^T \quad (2.5)$$

où :

$$S = X X^T \quad (2.6)$$

Notant, que la matrice  $S$  est symétrique et de dimensions  $m \times m$ . Qui veut dire qu'elle est diagonalisable en une autre matrice avec des colonnes orthonormales, Donc on peut l'écrire sous la forme :

$$S = E D E^T \quad (2.7)$$

Où,  $E$  une matrice  $m \times m$  orthonormale, tel que ses colonnes sont les vecteurs propres orthonormaux de la matrice  $S$ , et  $D$  la matrice des valeurs propres diagonale. Le rang  $r$  de la matrice  $S$  représente le nombre de vecteurs propres ou de valeurs propres non nulles, donc cette projection, un sous-espace signal représenté par les  $r$  vecteurs propres de la matrice  $S$ , et  $m - r$  sera la dimension du sous-espace bruit (avec des valeurs propres de  $D$  presque nulles).

En ce moment, on peut définir la matrice de transformation de base  $P = E^T$ . cela nous donnera :

$$C_Y = \frac{1}{n} P S P^T = \frac{1}{n} E^T (E D E^T) E \quad (2.8)$$

Sachant que, la matrice  $E$  est orthonormale donc  $E^T E = I$ , où  $I$  est la matrice identité  $m \times m$ .

Pour ce spécial choix de  $P$  :

$$C_Y = \frac{1}{n} D \quad (2.9)$$

Un dernier point à remarquer pour cette méthode, qu'on a automatiquement obtenu les composants principales directement à partir de la matrice de variance orthogonale. La valeur propre considérable représentent la première composante principale (signal utile avec un changement de base), la deuxième valeur propre représente la deuxième composante qui sera le bruit dans le cas de deux capteurs (exemple de simulation). Donc on doit ordonner les valeurs propres dans un ordre croissant (la même chose pour les vecteurs propres), à ce stade on atteint notre objectif de transformer la matrice  $C_Y$  en matrice diagonale  $D$  avec une matrice de changement de base



$P = E^T$ , et donc pour reconstruire notre signal on a juste à multiplier le premier vecteur propre de  $E$  avec la racine carré de la première valeur propre de  $D$  afin d'avoir le signal utile filtré du premier capteur.

### 2.3 Simulation et commentaires

Sous MATLAB, on a réalisé un programme simple pour appliquer l'algorithme PCA sur les signaux obtenus par les chambres d'ionisation situées à l'intérieur du réacteur NUR. On a prit les signaux de deux capteurs pour plus de simplicité, et afin de pouvoir représenter ces signaux en deux dimension (et non pas plus). les signaux utilisés sont bruités et non pas centrés pour obtenir un décalage sur l'axe des  $y$  afin de comparer les signaux entre eux et entre signaux et signaux après l'application du PCA. On a aimé aussi de traiter le cas où on a une panne au niveau d'un des capteurs, c'est pour voir le comportement de l'algorithme PCA.

#### 2.3.1 Cas de deux capteurs

Dans cette partie de simulation, on a prit les signaux des deux chambres d'ionisation. On a donc un signal  $Cap_1$  et un autre  $Cap_2$ . les signaux  $Cap_1$  et  $Cap_2$  sont influencés par le bruit de la chaine de mesure, mais se bruit est n'est pas le même sur les deux capteurs, par contre les signaux utiles des deux capteurs sont corrélés (condition de même chaine de mesure pour les deux capteurs). En appuyant sur se principe, l'algorithme PCA cette fois cherchera le max d'énergie dans les deux signaux (valeurs propres les plus considérables), ce maximum d'énergie représente donc le signal utile qu'on cherche.

Soit  $Cap_1$  et  $Cap_2$  deux signaux idéaux (sans bruit) obtenus par deux capteurs, on a donc :

$$Cap_1 = Sig_1, \tag{2.10}$$

$$Cap_2 = Sig_2. \tag{2.11}$$

Si, on trace le signal  $Cap_1$  en fonction de  $Cap_2$  on va avoir une ligne droite représente le maximum de corrélation entre les deux signaux puisque ils sont théoriquement identiques, ce maximum de corrélation représente aussi le maximum d'énergie utile (le signal utile).

Maintenant, pour le cas réel on a :

$$Cap_1 = Sig_1 + n_1, \quad (2.12)$$

$$Cap_2 = Sig_2 + n_2, \quad (2.13)$$

Dans ce cas, le tracé du signal  $Cap_1$  en fonction de  $Cap_2$  est donné par la figure 2.1.

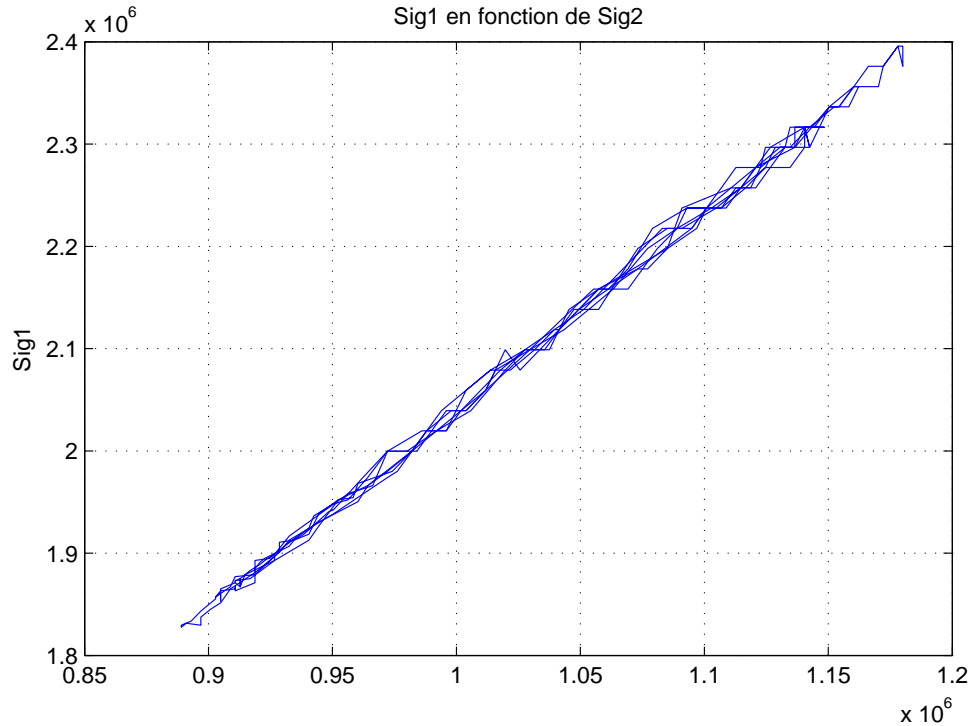


FIGURE 2.1 – Représentation des deux signaux bruités

En remarque une dispersion de l'énergie autour de la ligne supposée linéaire auparavant, c'est l'effet du bruit additif sur les deux signaux. L'algorithme PCA va donc chercher cette ligne droite (qui représente le maximum de corrélation entre les deux signaux) en cherchant la matrice diagonale transformée. la figure (2.2) représente les signaux des deux capteurs et le signal reconstitué après filtrage PCA.

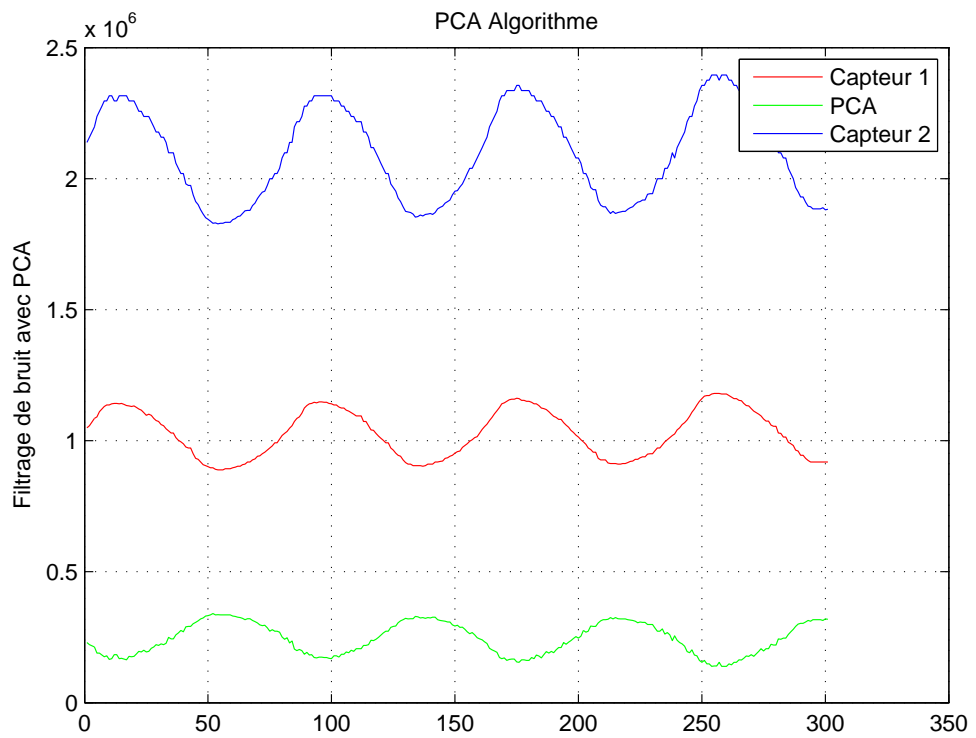


FIGURE 2.2 – Algorithme PCA

On remarque que le signal obtenu par la méthode PCA est proche aux signaux non filtrés de point de vu bruit puisque la chaine de mesure utilisée au le réacteur NUR est vraiment adaptée et a un rapport SNR très grand. On remarque aussi que les deux signaux donnés par les capteurs ont des amplitudes différentes (la composante alternative) et donc le signal obtenu par le PCA a une amplitude minimale puisque la différence d'amplitude est considérée comme bruit pour cet algorithme. On a aussi un déphasage entre les signaux non filtrés et le signal donné par le PCA, c'est tout simplement l'effet du filtrage, le PCA est en fait un filtre qui a une fonction de transfert qui introduit un gain  $G$  inférieur à 1 et un déphasage  $\Phi$ .

### 2.3.2 Cas de panne

Le cas où un des capteurs tombe en panne pendant l'acquisition ou le traitement des signaux. Ce cas donne une imprécision majeure, puisque les signaux donnés par les deux capteurs vont être déc-corrélés et avec une grande différence entre valeurs. Le PCA dans ce cas prend le maximum d'énergie qui va être le signal donné par le capteur en bonne état. La figure (2.3) représente le premier signal en fonction du deuxième, et la figure (2.4) représente les signaux après filtrage avec PCA.

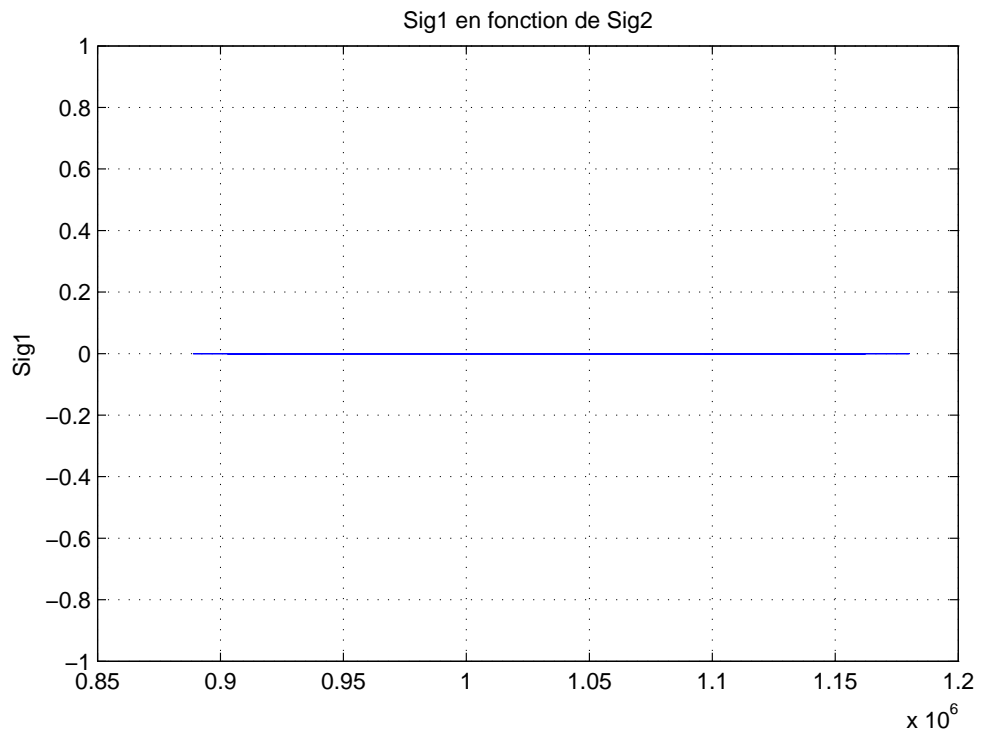


FIGURE 2.3 – Représentation des deux signaux bruités dans le cas de panne

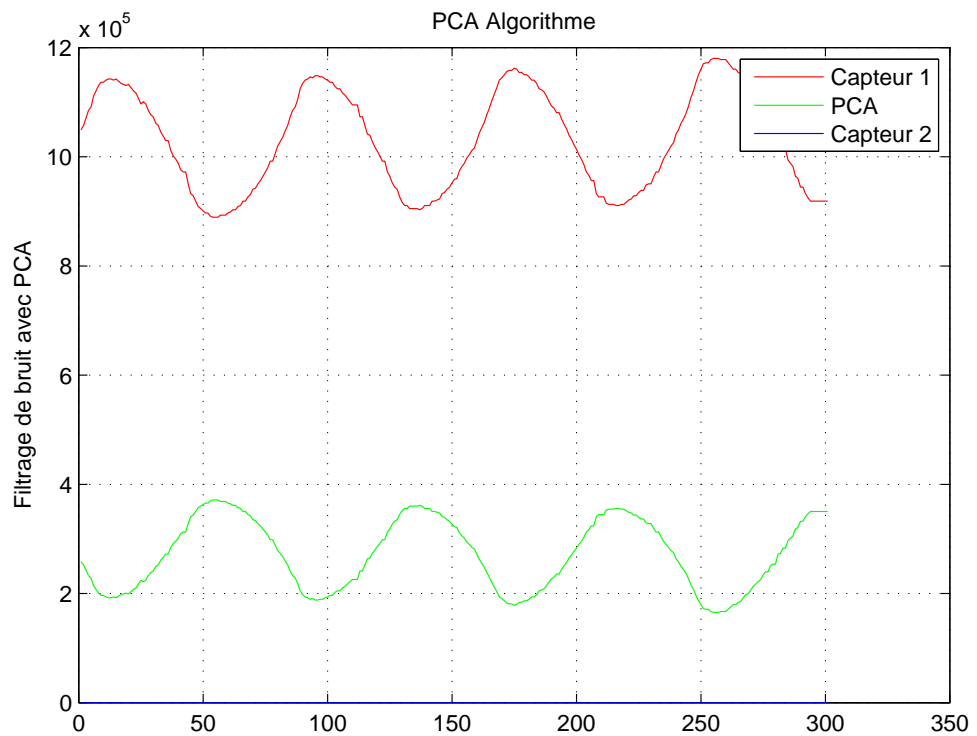


FIGURE 2.4 – Algorithme PCA dans le cas de panne

En remarque pour la deuxième figure, que l'algorithme donne un signal proche au signal du capteur en bonne état car le signal filtré représente la valeur propre la plus grande est donc le maximum d'énergie, qui est le signal  $Sig_1$  dans notre exemple. On remarque aussi un filtrage de bruit au niveau du signal obtenu par PCA.

## 2.4 Conclusion

La séparation de source avec l'algorithme PCA a ces avantages et ces inconvénients, l'avantage majeur est la simplicité de l'étude théorique et même la simplicité de l'implémentation sur MATLAB, l'inconvénient de cet algorithme est dans le cas où les deux capteurs (chaines de mesures) ne sont pas identiques et donc les signaux utiles obtenus seront moins corrélés. Ou dans le cas où le rapport signal sur bruit est faible dans ce cas le maximum d'énergie ne représentera plus le signal utile mais le bruit, et donc on aura une divergence de signal obtenu vers le bruit.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans ce sujet de Master, on a traité les types de détecteurs utilisés au réacteur NUR. On a fait aussi l'étude théorique et pratique de la chaîne de mesure qui était un travail de fourmi vu sa difficulté, cette chaîne de mesure a la tâche de donner des informations sur la puissance du réacteur, le flux neutronique et même sur la période du signal représentant le flux neutronique (tiré de la dérivé et donc on pourra même savoir la vitesse de la réaction), enfin on a introduit des notions de traitement de signal (séparation de source) pour améliorer la chaîne de mesure afin d'avoir moins de bruit sur la mesure, l'application MATLAB a gardée les propriétés de cet algorithme et elle nous a montrée l'efficacité de la séparation de sources dans l'instrumentation en général, en plus de ça on a pu voir la puissance de l'algorithme PCA dans ce genre d'approches.

Comme on a cité, l'algorithme utilisé durant ce Master a beaucoup de points forts, ce qui justifier sa large utilisation mais au même temps et comme tout algorithme, l'algorithme *PCA* a ces inconvénients comme filtre. Les recherches actuelles sur cet algorithme a le but principal de généraliser le *PCA* en basant sur des pondérations différentes à des objets de données en fonction de leur pertinence estimée qui va augmenter la robustesse de notre algorithme.

# Bibliographie

- [1] J-L. MOURLEVAT, Instrumentation interne des réacteurs, *Techniques de l'Ingénieur, traité Génie nucléaire*, Adjoint du Chef du Département Performances Cœur à Framatome - ANP, 2000.
- [2] F.Adda, Application de la commande de la logique flou au contrôle d'un réacteur nucléaire de recherche, *Thèse de magister*, ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'Alger, 06 Mai 2001.
- [3] D.Jacquemain, Les accidents de fusion du cœur des réacteurs nucléaires de puissance État des connaissances, INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETÉ NUCLÉAIRE. COLLECTION SCIENCES ET TECHNIQUES,FRANCE 2013
- [4] Richard, M.A., Rowe, A.M. Chahine, R. Bose, T.K. Barclay, J.Ana, Towards magnetic liquefaction of hydrogen : experiments with an active magnetic regenerator test apparatus, *Hydrogen and Fuel cells conference*, Vancouver, June 8-11, 2003
- [5] Incropera, F.P. DeWitt, D. P. Fundamentals of heat and mass transfer. Fifth ed. John Wiley & Sons, Inc. 2002.
- [6] D.G, Cacuci. Handbook of Nuclear Engineering, Volume 1. *Library of Congress Control* 2010, Number : 2010927864.
- [7] P, REUSS. Précis de neutronique, EDP Sciences 2003, Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires.
- [8] S. Haykin. KALMAN Filtrng and Neural Networks. *Mc Master University, Communication Research Laboratory*, Hamilton, Ontario, Canada, 2001.
- [9] M. Richardson, Principal Component Analysis. May, Université of MIT, 2001.