

# Analyse des signaux transitoires émis par les arcs électriques générés dans les panneaux photovoltaïques

JAWAD DAHMANI<sup>1</sup>, CINDY BERNARD<sup>1</sup>, CORNEL IOANA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire GIPSA-Lab

11, rue des Mathématiques, Grenoble Campus, BP 46, F-38402 Saint Martin d'Herès Cedex, France

E-mails : [jawad.dahmani, cindy.bernard, cornel.ioana]@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

**Résumé** – Des arcs électriques aux conséquences graves peuvent parfois survenir au sein de panneaux photovoltaïques. Cet article décrit un système de détection d'arcs en utilisant deux méthodes différentes, lesquelles sont comparées au niveau des performances de détection. Une méthode de localisation est également décrite et évaluée sur la base de configurations réelles. Enfin, une description du démonstrateur opérationnel développé pour réaliser cette détection et localisation est présentée.

**Abstract** - Arcs with serious consequences can sometimes occur in photovoltaic panels. This article describes a system for detecting arcs using two different methods, which are compared in terms of detection performances. A localization method is also described and evaluated on actual configurations. Finally, we present a description of the operational demonstrator developed to achieve this detection and localization.

## 1 Introduction

L'apparition d'arcs électriques au niveau de panneaux photovoltaïques a entraîné des incendies ravageurs ces dernières années. En effet au cours de la vie de ces installations, plusieurs facteurs extérieurs (dilatations thermiques, vent, animaux, etc.) peuvent fragiliser et donc endommager les connexions, et laisser ainsi apparaître des arcs électriques entretenus (tant que l'éclairage persiste) parcourus par un courant continu.

Ces arcs électriques génèrent des signaux transitoires de différentes natures physiques: électrique, acoustique, thermique et électromagnétique. Dans ce papier, nous nous intéresserons plus précisément à la détection de type acoustique qui constitue un moyen relativement peu coûteux pour l'analyse de ce type de phénomène. La difficulté, en termes de traitement du signal, est que les signatures acoustiques transitoires peuvent avoir des formes différentes, dépendantes des phénomènes de propagation ou de la nature des arcs électriques. Dans ce contexte, nous nous proposons d'analyser et d'étudier des méthodes robustes de détection qui, appliquées dans un contexte multicapteurs, permettent de localiser les sources d'arcs électriques. Les méthodes de détection proposées et étudiées dans ce travail font l'objet du paragraphe 2 alors que le paragraphe 3 présente la méthodologie de localisation. Le démonstrateur est décrit dans le paragraphe 4 et les conclusions de ce travail font l'objet du paragraphe final.

## 2 Méthodes de détection

Plusieurs méthodes de détection existent dans la littérature, cependant nous nous sommes concentrés sur deux méthodes présentant des avantages par rapport au problème d'ingénierie adressé.

Nous désirons réaliser un système de détection puis de localisation d'arcs électriques avec une portée

importante. Ainsi nos algorithmes doivent être robustes à de forts bruits et ils doivent avoir un caractère générique, en raison de la variété de types de signatures acoustiques que les arcs peuvent avoir.

Par ailleurs, notre méthode de détection doit présenter un taux de fausses alarmes très faible afin d'éviter tout déplacement inutile d'un opérateur au niveau du panneau photovoltaïque. Pour ceci, une méthode de type filtrage adapté avec des références de transitoires est adéquate, car elle permet de détecter le transitoire correspondant à un arc et non tous types de transitoires comme c'est le cas pour d'autres méthodes telles que les statistiques d'ordres supérieures. Par contre, le caractère générique de ce type de méthode n'est pas assuré et cela nécessite un dictionnaire de grande taille avec des références d'arcs électriques.

C'est pourquoi nous investiguons des méthodes basées sur un traitement vectoriel du signal, permettant d'obtenir une bonne précision de localisation temporelle, permettant ainsi une bonne localisation de l'arc. Ces algorithmes présentent également l'avantage d'être facilement embarquables.

### 2.1 Détection par filtrage adapté

La première méthode de détection développée consiste en un filtrage adapté qui utilise, comme référence, une forme d'onde modélisée à travers une caractérisation physique du phénomène de génération d'arcs électriques. Le transitoire de référence est modélisé sur une base d'apprentissage de signaux d'arcs à l'aide d'un modèle ARMA.

Cette base d'apprentissage est construite à partir des signaux d'arcs expérimentaux en notre possession. À partir de cette base, nous déterminons les ordres du modèle ARMA ( $n=20$ ,  $m=20$ ) qui permettent de maximiser l'intercorrélation relative entre la réponse impulsionnelle du filtre ARMA et les signaux de la base

d'apprentissage.

Une fois l'ordre du filtre fixé, nous en déterminons les coefficients permettant de modéliser au mieux le signal de référence. La figure suivante donne une représentation de plusieurs réalisations du signal d'arc puis du modèle ARMA.

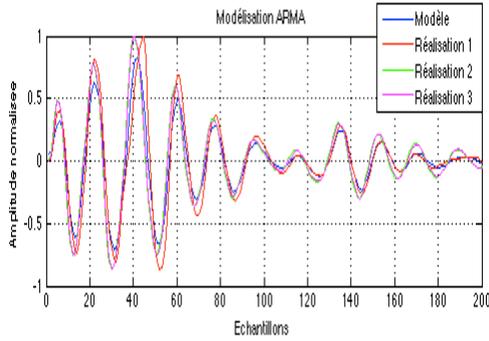


Figure 1 : Modèle ARMA utilisé pour la construction du signal de référence

La détection est alors réalisée par seuillage de la courbe de détection temporelle ainsi obtenue.

Cette méthode de détection fournit des résultats satisfaisants, cependant il est à noter que c'est une méthode qui nécessite la connaissance de la signature acoustique de l'arc liée à un capteur donné. Ainsi, le modèle devra être réadapté pour chaque capteur. C'est pour ceci, que nous avons développé une deuxième méthode afin de s'affranchir de ce modèle.

## 2.2 Détection basée sur le traitement vectoriel du signal (VESP – Vectorial Signal Processing)

Contrairement au filtrage adapté, la méthode VESP ne nécessite pas d'avoir une connaissance préalable du signal à détecter et permet de localiser facilement des événements transitoires. La méthode développée dans l'article [1] est la suivante : Le signal observé est représenté dans un premier temps comme une trajectoire dans un espace multidimensionnel appelé l'espace des phases; un diagramme de récurrences  $R_{l,n}$  est ensuite calculé et quantifié afin d'en déduire des informations sur la récurrence d'événements. Plusieurs mesures peuvent ensuite être définies et utilisées. Dans cette application, nous nous intéresserons à la mesure de  $\sigma_c$  définie dans [2] qui correspond à la somme normalisée des colonnes du diagramme de récurrence [2] :

$$\sigma_c(n) = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N R_{l,n} \quad (1)$$

La courbe de détection est obtenue en prenant le complément de  $\sigma_c$  qui est [3]:

$$\overline{\sigma_c}(n) = 1 - \sigma_c(n) \quad (2)$$

### 2.2.1 Résultats et comparaison

Ces deux méthodes se sont révélées très efficace pour la détection d'arcs électriques. La figure ci-dessous montre un exemple de signal de test comprenant un

transitoire provenant d'un arc, puis les courbe de détection temporelle correspondantes (avec les deux méthodes), et ce pour des distances source-capteur de 1 m et 2,50 m qui correspondent respectivement à des rapports signal à bruit de 37 dB et 22dB.

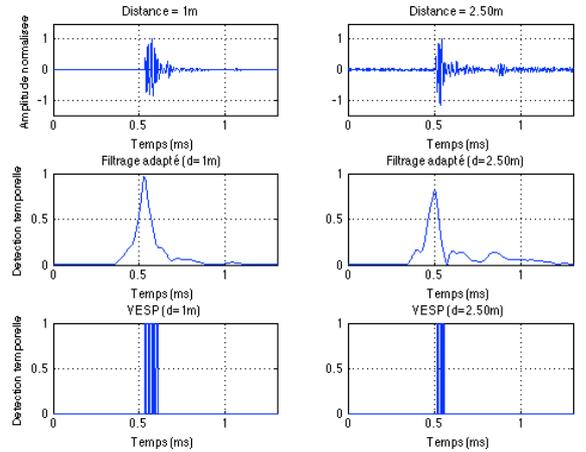


Figure 2: Résultats de détection (filtrage adapté et VESP)

Nous traçons à présent les courbes COR pour les deux méthodes de détection avec un niveau de bruit très élevé, correspondant à une distance arc-capteurs de plus de 10m :

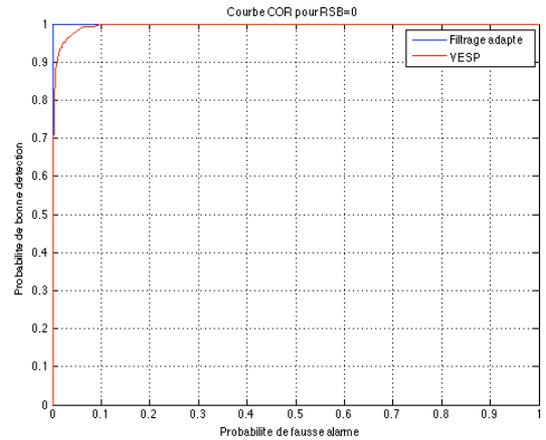


Figure 3: Courbes COR pour les deux méthodes (RSB=0dB)

Nous remarquons qu'avec le filtrage adapté nous obtenons une très bonne performance de détection. En effet c'est une méthode très robuste au bruit qui permet de retrouver dans un signal bruité la forme d'onde modélisée du signal acoustique d'un arc électrique. Mais ce résultat nécessite la connaissance de la référence d'arc électrique, ce qui restreint donc le caractère générique de la méthode.

Nous comparons également les deux méthodes de détection d'un point de vue de la précision temporelle. Nous opérons les méthodes de détection sur une batterie de signaux d'arcs, puis nous relevons les instants d'interventions de l'information de détection que nous comparons à l'instant effectif de l'arc relevé sur le signal de test. Nous déterminons ainsi les précisions de

localisation temporelles pour les deux méthodes. Le moyennage a été effectué sur une dizaine de réalisations de signaux d'arc. Nous obtenons une précision de l'ordre de 13 us pour le filtrage adapté et de 10 us pour la méthode VESP.

Nous déterminons ainsi les précisions de localisation spatiale qui peuvent être obtenues pour les deux méthodes.

La distance étant donnée par:  $d = vt$ , l'incertitude sur la distance résultant de l'incertitude sur le temps est donnée par:

$$\frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2}$$

On obtient ainsi une incertitude relative au niveau de la distance de l'ordre de 1.4% pour le filtrage adapté et de 1.1% pour la méthode VESP. On peut ainsi atteindre une localisation très précise à l'aide de ces méthodes.

### 3 Localisation [3]

#### 3.1 Principe

Après avoir réalisé la détection, il s'agit de définir l'emplacement de l'arc électrique pour permettre une intervention avant l'emballage thermique du panneau. Le principe de localisation ainsi que les résultats de localisation obtenus sur le démonstrateur sont décrits ci-dessous.

Soit  $A(x_A, y_A, z_A)$ ,  $B(x_B, y_B, z_B)$ ,  $C(x_C, y_C, z_C)$  et  $D(x_D, y_D, z_D)$  les 4 capteurs utilisés dans notre système et leurs coordonnées, et  $S(x, y, z)$  la source à localiser. N'ayant pas accès à la durée de propagation entre la source et le capteur, nous utilisons les différences de temps d'arrivée de l'onde au niveau des différents capteurs, desquelles nous pouvons déduire les différences de distances source/capteurs. Nous pouvons ainsi remonter à l'information de localisation de la source par résolution d'un système. La différence de distance entre la source et les capteurs A et B est donnée par :

$$d_B - d_A = \sqrt{(x-x_B)^2 + (y-y_B)^2 + (z-z_B)^2} - \sqrt{(x-x_A)^2 + (y-y_A)^2 + (z-z_A)^2} \quad (3)$$

De plus :

$$d_B - d_A = (t_B - t_A) \cdot v_{\text{onde}} \quad (4)$$

La différence  $t_B - t_A$  peut être calculée en déterminant les instants d'arrivée  $t_A$  et  $t_B$  de l'onde au niveau des différents capteurs (obtenus sur la courbe de détection). Nous obtenons alors une équation d'inconnus  $x$ ,  $y$  et  $z$ .

De la même manière, on détermine les quantités  $d_C - d_A$  et  $d_D - d_A$ , on obtient ainsi un système à 3 équations dont l'inconnue est  $(x, y, z)$  on peut ainsi localiser l'arc.

#### 3.2 Résultats

Nous réalisons la localisation pour plusieurs emplacements de l'arc. Sur la figure ci-dessous, A, B, C et D désignent les 4 capteurs de notre antenne, ils sont localisés dans le repère  $(x, y, z)$  respectivement aux coordonnées suivantes :  $(-40, 2, 4.5)$ ,  $(0, 40, 4.5)$ ,  $(40, 2, 4.5)$ , et  $(0, 2, 35)$ . L'unité utilisée est le centimètre.

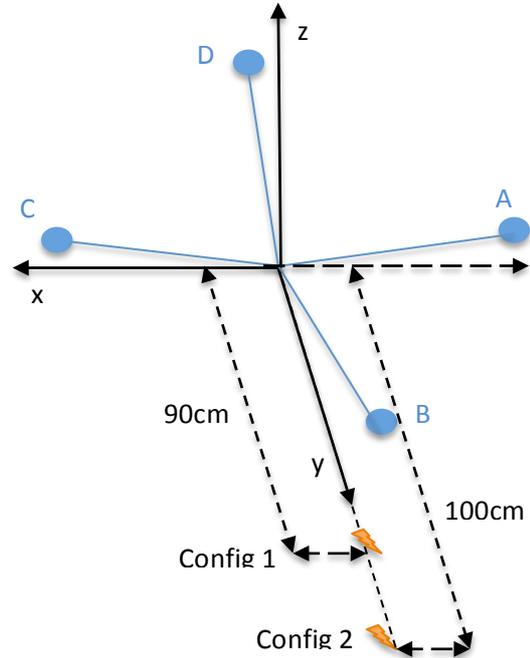


Figure 4: Configurations de localisation

Nous obtenons les résultats suivants :

Tab 1: Performances de localisation

Configuration	Position effective de l'arc (cm)			Position estimée de l'arc (cm)			Erreur de localisation		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Config 1	0	90	0	-2	85.6	4.7	2	4.4	4.7
Config 2	0	100	0	1.7	92.9	1.9	1.7	7.1	1.9

Les erreurs de localisation sont relativement faibles prouvant ainsi les performances de notre système de détection-localisation.

## 4 Démonstrateur

### 4.1 Equipements

Le démonstrateur développé comporte les éléments suivants :

- Une antenne acoustique formée de 4 transducteurs ultrasons « USG Electret Ultrasound Microphone » de la société Avisoft opérant dans la bande 10kHz-130kHz (cf figure 5)
- Une carte permettant la préamplification des signaux et l'alimentation des capteurs
- Un système d'acquisition comprenant les 4 voies échantillonnées à 50 MHz nécessaires à notre

démonstrateur, la sortie de l'acquisition est sous forme USB

-Un PC permettant de réaliser les traitements relatifs à la détection, ainsi que l'interface.



Figure 5: Antenne acoustique (4 capteurs)

L'antenne acoustique développée a été caractérisée et présente le diagramme de directivité suivant :

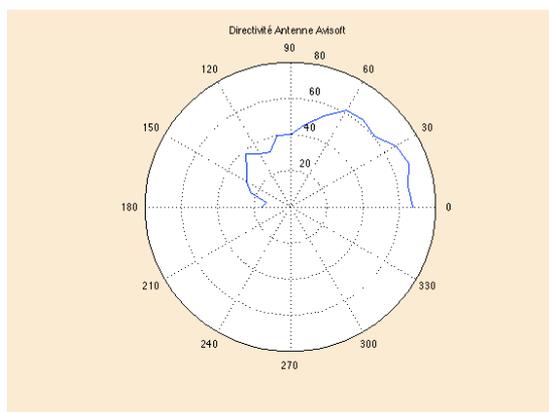


Figure 6: Diagramme de directivité- Antenne Avisoft

## 4.2 Performances

Nous avons testé notre système de détection sur une portée de 10 m, et nous avons montré que la détection et la localisation sont réalisables avec de bonnes performances pour cette distance. D'autres essais sont en cours afin de préciser la portée maximale de notre système détection-localisation.

## 5 Conclusion

Ce papier présente une méthodologie de détection-localisation des sources d'arcs électriques dans des moyens de productions photovoltaïques. A partir de cette méthodologie, nous avons ainsi réalisé un premier démonstrateur qui nous a permis de valider le principe de détection acoustique à l'aide de deux méthodes. Une première méthode par filtrage adapté robuste mais liée à un modèle dépendant de la physique de l'arc, des propriétés de propagation, ainsi que du capteur utilisé, puis une deuxième méthode (VESP) pour laquelle nous

pouvons nous affranchir de ce modèle. Les deux méthodes permettent d'obtenir de très bonnes performances de détection au regard des niveaux de bruits mesurés.

Une méthode de localisation a également été développée, en se basant sur les délais d'arrivée des signaux au niveau des différents capteurs. Cette méthode se base sur les courbes de détection temporelle pour la détermination des instants d'arrivée des signaux aux différents capteurs.

**Remerciements.** Ce travail a été financé par l'Institut Carnot « Energies du futur » à travers le projet « Arc Locator »

## 6 Bibliographie

- [1] Florin-Marian Birleanu, Cornel Ioana, Cédric Gervaise, Alexandru Serbanescu, Jocelyn Chanussot, Caractérisation des signaux transitoires par l'analyse des récurrences de phase, *in XIIIième colloque GRETSI*, Bordeaux, France, 2011
- [2] Florin-Marian Birleanu, Ion Candel, Cornel Ioana, Cédric Gervaise, Alexandru Serbanescu, Gheorghe Serban, A vector approach to transient signal processing, *in 11th International Conference on Information science, Signal Processing and their Applications*, Montreal, Canada, 2012
- [3] Le Yang, An Approximately Efficient TDOA Localization Algorithm in Closed-Form for Locating Multiple Disjoint Sources With Erroneous Sensor Positions, *IEEE Transactions on Signal processing*, December 2009