



HAL
open science

Etude et réalisation de détecteurs ioniques de fumée sans source radioactive

Zohreh Mokhtari

► **To cite this version:**

Zohreh Mokhtari. Etude et réalisation de détecteurs ioniques de fumée sans source radioactive. Electronique. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2011. Français. NNT : 2011PA066635 . tel-00825396

HAL Id: tel-00825396

<https://theses.hal.science/tel-00825396>

Submitted on 23 May 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THESE de DOCTORAT de L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

(ECOLE DOCTORALE DE SCIENCES MECANIQUES, ACOUSTIQUE ET ELECTRONIQUE DE PARIS)

Spécialité

Electronique

Présenté par :

Zohreh MOKHTARI

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR de l'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE

Sujet de la thèse :

**Etude et réalisation de détecteurs ioniques de
fumée sans source radioactive**

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à Monsieur le professeur Jacques Lewiner, Directeur du Laboratoire d'Electricité Générale de l'Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles. Je le remercie de m'avoir accueillie au sein de son laboratoire et pour la confiance qui m'a accordé. Je lui suis reconnaissante aussi d'avoir été attentif à l'avancement de mon travail de thèse et de m'avoir fait partager son expérience et ses compétences pendant les années inoubliables passées dans ce laboratoire.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à Monsieur Stéphane Holé, Maître de conférences à l'université Pierre et Marie Curie, pour ses conseils et son encadrement tant efficace que chaleureux durant cette thèse. Je le remercie pour son dynamisme et l'infatigable suivi qu'il a apporté à ce travail ainsi que pour sa disponibilité et son encouragement.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur Philippe Molinié, Professeur assistant à Supélec et Monsieur Laurent Boudou, Maître de conférences à l'université Paul Sabatier de Toulouse qui ont bien voulu me faire l'honneur d'être les rapporteurs de ce travail. Je les remercie pour l'intérêt qu'ils ont accordé à cette thèse et pour leurs conseils et leurs remarques judicieuses sur le manuscrit.

Je tiens à remercier Monsieur Hamid Kokabi, Professeur à l'université de Pierre et Marie Curie, pour me faire l'honneur de participer au jury, pour le soutien qu'il m'a apporté dès mon entrée en France et pour m'avoir guidé dans mes études.

De même je tiens à remercier Monsieur Laurent Pichard, Directeur technique de la société Finsecur et de Monsieur Laurent Pin, Directeur du laboratoire DPMES, pour avoir accepté d'examiner cette thèse malgré leurs nombreuses autres activités.

Mes remerciements s'étendent à l'ensemble des membres et des doctorants du Laboratoire d'Electricité Générale, pour leurs aides et leurs soutiens précieux, et aussi pour l'ambiance conviviale et la bonne humeur installées dans le laboratoire grâce à eux tous. J'aimerai mentionner en particulier Christine Boué pour avoir relu mon manuscrit et m'avoir donné de précieux conseils et Julie Iem pour toute son assistance.

Il m'est difficile d'exprimer en quelques mots ce que je dois à toute ma famille et très particulièrement à mes parents qui n'ont jamais cessé de me soutenir et de m'encourager tout au long de ces années de travail de thèse. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude et mes sentiments les plus affectueux.

Mes plus grands remerciements vont à Morteza, mon mari pour sa grande patience, son écoute et ses conseils pertinents qui m'ont beaucoup apporté durant ces années de travail de thèse, et surtout pour ses aides précieuses et son soutien en particulier au moment de la rédaction de la thèse.

Enfin merci à toutes les personnes que je n'ai pas citées ici et qui se reconnaîtront dans ces quelques lignes en particulier Maryam et mes autres amis d'Iran.

TABLE DE MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	5
CHAPITRE I	9
CAUSE ET EFFET DE L'INCENDIE.....	9
I.1. PHENOMENE DE L'INCENDIE	11
I.1.1 Combustion	12
I.1.2. Combustible.....	13
I.1.3. Chaleur	14
I.2. PROPAGATION DU FEU ET PHASES D'UN INCENDIE	15
I.3. DETECTION D'INCENDIE.....	16
I.3.1. Détection d'incendie par la chaleur	16
I.3.2. Détection de la flamme.....	17
I.3.3. Compteur de particules de taille sub-micronique	18
I.3.4. Détection de fumées	19
I.3.4.1. Détection ponctuelle optique de fumée	20
I.3.4.2. Détecteur linéaire optique de fumée	20
I.3.4.3. Détecteur ionique.....	21
I.3.5. Choix d'un détecteur d'incendie	22
CHAPITRE II.....	25
DETECTION IONIQUE DE LA FUMEE.....	25
II.1. DETECTEUR IONIQUE A SOURCE RADIOACTIVE	29
II.2. AUTRES SOURCES POSSIBLES POUR PRODUIRE DES IONS	33
II.2.1. Émission par effet de champ	33
II.2.2. Source thermoionique	35
II.2.3. Source photoélectrique.....	37
II.2.4. Décharges électriques	38
II.2.4.1. Décharge luminescente	44
II.2.4.2. Décharge d'Arc	46
II.2.4.3. Décharge étincelle	47
II.2.4.4. Décharge Corona.....	48
<i>Distribution de champs pour les cas simples</i>	<i>51</i>
<i>Déclenchement d'une décharge Corona</i>	<i>52</i>

<i>Seuil de déclanchement dans l'air</i>	54
II.2.5. Choix d'une source d'ion	55
CHAPITRE III	59
SOURCE DE CHARGES PHOTOELECTRIQUE	59
III. 2. CONDUCTIVITE DANS LA CHAMBRE DE DETECTION	61
III.3. ETUDE D'UN PROTOTYPE EXPERIMENTAL	64
III.3.1 Cible.....	66
III.3.2 Source de photons.....	67
III.3.3. Source de fumée	70
III.4. ANALYSE DES RESULTATS	72
III.5. DISCUSSION ET CONCLUSION	80
CHAPITRE IV	83
DETECTEUR IONIQUE DE FUMEE PAR DECHARGE	83
IV.1. CHAMBRES D'IONISATION ET CHAMBRE DE MESURE	85
IV.1.1. Chambre d'ionisation dissymétrique	86
IV.1.2. Séparation physique des chambres d'ionisation et de dérive	92
IV.2. MONTAGE EXPERIMENTAL	96
IV.2.1. Protocole de mesure	98
IV.3. RESULTATS ET DISCUSSION	99
IV.3.1. Courant en l'absence de fumée.....	99
IV.3.2. Courant en présence de fumée.....	101
IV.3.3. Vitesse de réponse	103
IV.3.4. Test sous conditions environnementales	106
IV.3.4.1. Test sous conditions d'humidité élevée	107
IV.3.4.2. Test sous chaleur	109
IV.4. ANALYSE DES RESULTATS	111
IV.4.1. Diminution du courant en présence des particules de fumée	112
IV.4.2. Diminution de courant en fonction de l'humidité.....	112
IV.4.3. Augmentation du courant en présence de particules de fumée dans un milieu fortement humide	113
IV.4.4. Augmentation de courant en fonction de la chaleur	113
IV.5. VARIATION DES PARAMETRES GEOMETRIQUE	114
IV.5.1. Optimisation de la génération de la décharge.....	114

IV.5.2. Optimisation de la hauteur de la chambre à d'ionisation	115
IV.5.3. Optimisation de la grille	115
IV.5.4. Optimisation de la hauteur de la chambre de dérive.....	116
CHAPITRE V	119
DETECTEUR IONIQUE DE FUMEE A EFFET DE SEUIL.....	119
V.1. CONFIGURATIONS GEOMETRIQUES	121
V.2. RESULTATS ET DISCUSSION.....	125
V.2.1. Courant mesuré en présence de fumée.....	125
V.2.2. Expériences avec un générateur d'ion	127
V.2.3. Expérience à champ électrique nul	132
V.2.4. Origine de la baisse du seuil de la détection	133
V.2.5. Vitesse de réponse	135
V.2.6. Tests sous conditionnements environnementales	136
V.2.6.1. Tests sous conditions d'humidité élevée.....	136
V.2.6.2. Tests sous conditions de température.....	138
V.3. ANALYSE DES RESULTATS	139
CONCLUSION.....	143
BIBLIOGRAPHIE	145
ANNEXE I	151
ANNEXE II.....	155
ANNEXE III	161

INTRODUCTION GENERALE

En France les accidents de la vie courante tuent 3.5 fois plus que les accidents de la route. Chaque année, les 11 millions d'accidents de la vie courante sont fatals pour 19 000 personnes [1], 61% de ces accidents sont des accidents domestiques [2] et parmi ces accidents, l'incendie est le plus lourd de conséquences. Il représente un réel enjeu de santé publique, tant pour les pertes humaines que pour les invalidités liées aux blessures. En France, le nombre d'incendie a doublé ces dernières années. Il y a actuellement environ 250 000 incendies d'habitation par an [3, 4] ce qui représente un incendie toutes les deux minutes. Chaque année cela provoque près de 800 décès et 10 000 blessés. Il est estimé qu'un français sur trois sera victime d'un incendie au cours de sa vie [5]. Ces chiffres donnent un aperçu des incendies d'habitations mais il ne faut pas oublier que la majorité des accidents industriels sont aussi provoqués par des incendies. Le tableau 1 qui rapporte la cause des accidents industriels de 1992 à 2005 montre en effet que 51% de ces accidents sont dus à l'incendie [6].

Nombre total des accidents	21765
Incendie	51%
Polluant dispersé	47%
Explosion	5,3%
Effets dominos	3,2%

Tableau 1 : Répartition des accidents industriels entre 1992 et 2005 [6].

Pour comparer la situation de la France avec celle des autres pays européens, on peut classer le nombre de décès annuel par million d'habitants dans chaque pays tel que dans le tableau 2 selon l'Institut de Sécurité des Pays-Bas [7]. On constate que le taux de mortalité dans les pays européens est plus ou moins important mais jamais négligeable. La France se situe en milieu de tableau avec 11,8 décès par millions d'habitant et par an. Aux Etats Unis, un incendie domestique se produit toutes les 79 secondes et un habitant décède d'incendie toutes les 156 minutes [8]. Par ailleurs d'après la NFPA¹ les dommages de propriétés dues à l'incendie étaient estimés à 10 337 M\$ aux États-Unis en 2002, ce qui confère à l'incendie la

¹ NFPA : National Fire Protection Association

première place des calamités les plus coûteuses devant les tempêtes ou les tremblements de terre depuis plusieurs décennies [9]. L'incendie n'est donc pas un problème d'envergure nationale, mais international d'un point de vue aussi bien humain que matériel.

Luxembourg	2,8	Italy	12,8
Cyprus	4,0	Poland	13,2
Netherlands	4,1	Belgium	13,5
Spain	6,0	Denmark	14,3
Portugal	6,1	Ireland	14,5
Germany	7,3	Sweden	15,7
Slovakia	9,0	Bulgaria	16,0
Slovenia	9,7	Finland	16,5
Austria	9,8	Hungary	16,7
Greece	10,5	Romania	20,7
United Kingdom	10,8	Lithuania	62,9
Czech Republic	11,2	Latvia	114,4
France	11,8	Estonia	122,0

Tableau 2 : Mortalité annuelle par million d'habitants selon l'Institut de Sécurité de Pays-Bas [7].

La prévention est le meilleur moyen pour éviter les dégâts produits par le feu. Lorsqu'un feu débute il faut agir ou fuir dans les trois minutes. En effet pour éteindre un feu sec naissant, on estime qu'il suffit d'un verre d'eau pendant la première minute, d'un seau d'eau au cours de la seconde minute, mais d'une citerne d'eau au bout de la troisième minute [10]. Cet effet d'avalanche alimente les débats et investigations en matière de prévention au niveau national et international depuis quelques années dans plupart des pays. Les pouvoirs publics et les organismes tel que le CEPR², se sont mobilisés pour établir des règles de prévention relayées par la loi et l'éducation. Les mesures préventives sont variées et consistent en l'éducation à la sécurité incendie pour tous âges, en l'obligation de passer par des normes pour les installations électriques, et surtout en l'installation de détecteurs-avertisseurs de fumée dans différents endroits. Le détecteur-avertisseur de fumée est un dispositif important car il permet de prévenir les habitants en cas de feu nocturne ou dans un endroit non surveillé, sachant que 70% des incendies mortels se produisent la nuit. Dans les pays où le taux d'équipement en détecteurs de fumée dépasse 80%, une réduction de 50% de la mortalité due aux incendies d'habitation et une réduction du nombre d'interventions des pompiers sont constatées. A titre

² CEPR : Centre Européen de Prévention des Risques

d'exemple les Etats-Unis ont enregistré 3,2 millions d'incendies en 1977 dont 1,1 million d'incendies d'habitations ce qui a provoqué 6 000 décès. En 1995 alors que l'installation de détecteurs de fumée était devenue obligatoire dans 80% des états et que 93% des logements américains étaient équipés de détecteurs de fumée, le nombre d'incendies a baissé jusqu'à 1,97 million, dont 0,57 million d'incendies d'habitation causant 3 640 décès.

Parmi les pays les plus avancés dans le domaine de la prévention, on peut citer la Norvège avec 98% de logements équipés de détecteurs avertisseurs de fumée, les Etats-Unis avec 95% de logements équipés, le Canada avec 94% de logements équipés et l'Angleterre avec 89% de logements équipés [4].

En France il n'y a que 1 à 5% des logements équipés de détecteurs de fumée [11, 12]. Vu l'importance du nombre de victimes par incendie, les autorités ont décidé de rendre obligatoire l'installation d'au moins un détecteur d'incendie dans les lieux d'habitation neufs ou anciens ainsi que dans les parties communes des immeubles. Cette obligation sera applicable dès le 8 mars 2015 d'après le décret n°2011-36 du 10 janvier 2011³. On estime que l'application de ce décret permettra de réduire le nombre de victimes directes ou indirectes de 50 à 75% ce qui représente 400 à 500 vies épargnées chaque année. Dans ce même temps cela réduira le nombre de blessures par brûlures [5]. L'expérience menée dès 1998 dans les départements d'Ille-et-Vilaine et des Deux-Sèvres consistant à équiper 1 400 logements sociaux de détecteurs de fumée a divisé par 10 les risques mortels dus aux incendies [11]

Il existe plusieurs types de détecteur d'incendie comme des détecteurs de chaleur, des détecteurs de flamme ou des détecteurs de fumée optique et ionique. Malgré le rôle important joué par ces détecteurs pour prévenir les risques d'incendie, aucun peuvent être utilisés en toutes circonstances et pour tous types de feux. Parmi ces détecteurs, le détecteur de fumée ionique est très efficace surtout pour les feux vifs, et est très apprécié des industriels. Cependant les détecteurs ioniques fonctionnent grâce à une minuscule source radioactive et son utilisation n'est désormais pas favorable, principalement pour des raisons de recyclage.

Ce mémoire présente l'étude et la réalisation de nouveaux détecteurs ioniques de fumée sans l'utilisation d'une source radioactive. Dans la première partie, le phénomène d'incendie et le

³Le décret n°. 2011-36 du 10 janvier 2011 est consultable à l'annexe 1.

principe des différents dispositifs de détection d'incendie existants sont présentés. Dans la mesure où ce travail vise à déceler de nouvelles voies pour les détecteurs ioniques, la deuxième partie décrit les différentes méthodes de génération d'ions surtout le phénomène de décharge dans les gaz. Parmi les diverses méthodes de génération d'ion, l'effet photo-électrique et l'effet Corona ont particulièrement retenus notre attention. Les résultats expérimentaux sur les dispositifs retenus utilisant la méthode photo-électrique ou la décharge Corona sont présentés dans les troisième à cinquième parties avant la conclusion et les perspectives.

Chapitre I

Cause et effet de l'incendie

I.1. Phénomène de l'incendie

Le feu est une formidable source d'énergie utilisée par l'homme depuis des centaines de milliers d'année (400 millions). Il est créé par une réaction d'oxydation exothermique qui se déclenche lorsque trois éléments nécessaires sont réunis : (1) le combustible, (2) le comburant et (3) une source d'énergie d'activation. Cela est schématisé sur la figure 1.

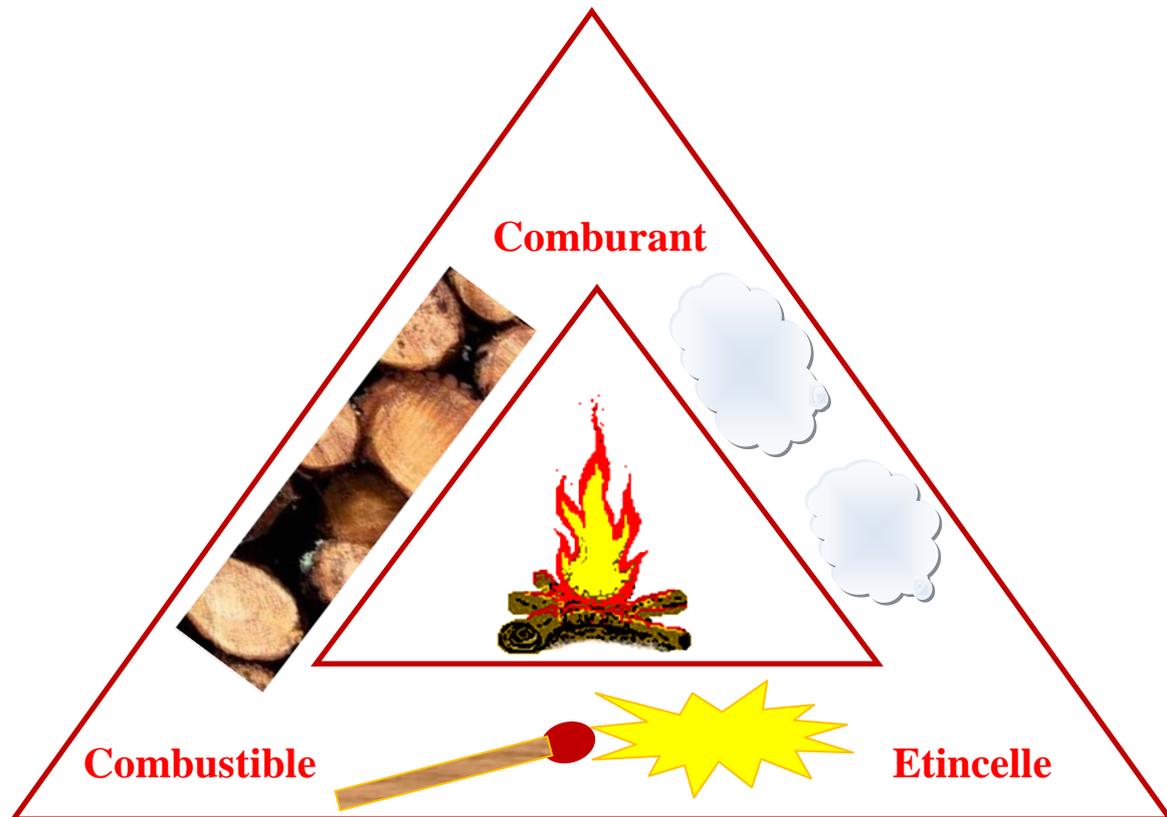


Figure 1 : Triangle du feu.

Le combustible est l'élément qui brûle, par exemple le bois, le coton, le papier ou le fuel. Le comburant est ce qui alimente la combustion, principalement l'oxygène présent dans l'air. La source d'énergie d'activation permet de déclencher la réaction, cela peut être une étincelle, une flamme ou simplement le soleil. Il faut de plus que le combustible et le comburant interagissent de manière continue.

La combustion dégage de la chaleur, de la lumière et des produits chimiques. Lorsque la stoechiométrie du carburant et du comburant est contrôlée, la combustion est complète, le feu

est maîtrisé et son utilisation est bénéfique. Au contraire, lorsque la combustion est incomplète et non maîtrisée, beaucoup de fumée et de produits chimiques se dégagent. Le tableau 3 compare les combustions complète et incomplète.

Réaction complète	Réaction incomplète
Condition équilibrée	Défaut de combustible ou de comburant
Flamme bleue	Flamme jaune rouge et orange ou blanche
Pas de fumées Pas d'imbrûlés	Fumées Imbrûlés (suies, CO, ...)

Tableau 3 : Comparaison entre réaction de combustion complète et incomplète.

L'incendie est rapide. Il suffit de quelques minutes pour qu'il envahisse un habitat et devienne incontrôlable. Il est chaud, sa température peut atteindre 600°C en moins de 5 minutes provoquant des brûlures graves aux poumons pour les personnes présentes. Il dégage des fumées toxiques qui perturbent le fonctionnement mental, moteur et sensoriel des victimes. La fumée contient des suies noires qui font qu'en quelques minutes tout devient sombre même en plein jour, rendant difficile l'évacuation.

I.1.1 Combustion

Pour le feu, deux types de combustion existent : (1) les incandescents vifs avec des flammes et (2) les feux couvants, par exemple le charbon de bois. Le combustible et le comburant sont tous les deux sous forme gazeuse dans le premier cas tandis que le combustible est solide dans le second cas. La différence entre ces deux modes de combustion réside dans la nature et l'état du combustible mais aussi dans la quantité d'oxygène accessible. Pour en savoir plus sur les différents modes de combustion on peut se référer au handbook de Babrauskas [13].

Un feu couvant est caractérisé par l'absence de flamme. Il est souvent généré par des combustibles sous forme solide. Quand la température de surface est supérieure à 500°C, la combustion se produit avec des couleurs qui dépendent de leurs températures. Dans l'exemple du charbon il n'y a pas de flamme car les composants volatils qui contribuent au feu ouvert

ont déjà été dégagés lors de la carbonisation. Le charbon restant continue à brûler sous forme de feu couvant.

Des études [9] sur plusieurs incendies montrent que la phase de feu couvant représente soit la phase de naissance du feu soit sa phase finale. Souvent les incendies destructifs avec flammes commencent par un petit feu couvant. Ce feu peut couvrir pendant très longtemps et provoquer de nombreux dégâts même s'il n'aboutit pas à la génération de flammes. La production considérable de monoxyde de carbone et de fumée les rend particulièrement dangereux.

I.1.2. Combustible

Les combustibles sont très variés dans leur composition chimique, mais aussi dans leur mode d'oxydation, dans la quantité de chaleur dégagée, dans leur température et dans la quantité d'oxygène nécessaire pour commencer leur combustion. Le combustible peut être sous forme gazeuse, liquide ou solide à température ambiante, mais il ne s'enflamme que s'il est sous forme gazeuse. Si le combustible est sous forme liquide ou solide, il doit donc d'abord être vaporisé ou distillé pour s'enflammer. Si pour les hydrocarbures simples une vaporisation suffit pour créer des molécules directement combinables avec l'oxygène, les molécules de nombreux autres combustibles doivent être cassées en petits morceaux pour se combiner avec l'oxygène. Ainsi le premier effet de la chaleur sur un combustible comme le bois est de le décomposer. Cette décomposition sous l'effet de la chaleur est nommée pyrolyse. La figure 2 montre la dynamique des flammes d'un combustible solide.

Dans le cas du bois, la pyrolyse produit des gaz inflammables comme le méthane, des liquides volatiles comme le méthanol, des huiles et des résines combustibles, et une grande quantité de vapeur d'eau. Les gaz et les vapeurs de liquides ainsi créés diffusent dans l'air et brûlent via les flammes de la combustion. Les molécules de carbone restantes se combinent directement avec l'oxygène de l'air en contact, assurant ainsi un feu couvant. On trouvera dans l'annexe 2, le détail des composants de la combustion du bois.

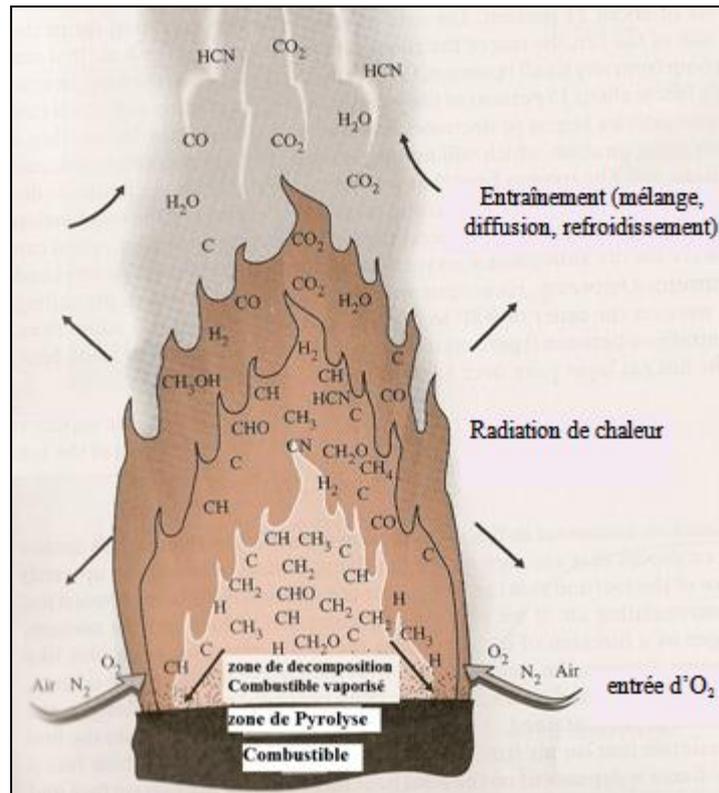


Figure 2 : Dynamique des flammes d'un combustible solide [9].

I.1.3. Chaleur

La vitesse de toutes réactions chimiques dépend de la température qui joue souvent le rôle d'accélérateur. Dans le cas du feu, le taux de combustion double tous les 10°C environ [9]. C'est ce qui fait qu'un feu est auto-entretenu dès lors que le combustible et le comburant sont réunis.

La majeure partie de l'énergie est dégagée par un incendie sous forme de chaleur. Elle diffuse par conduction, convection et radiation. La conduction est un transfert de chaleur à travers des solides alors que la convection est un transfert de chaleur par mouvement des fluides, notamment les gaz. Dans le cas de feux de taille moyenne, c'est la convection qui assure la majeure partie du transfert de chaleur à travers des liquides et des gaz. Dans le cas de feux plus importants, le transfert de chaleur par radiation est prépondérant.

I.2. Propagation du feu et phases d'un incendie

Un incendie se développe en plusieurs phases qui ont différentes caractéristiques. Il progresse, grandit en évacuant de plus en plus de chaleur et décline lorsque le combustible vient à manquer ou lorsque le niveau d'oxygène devient insuffisant. Ces différents stades sont illustrés schématiquement sur la figure 3.

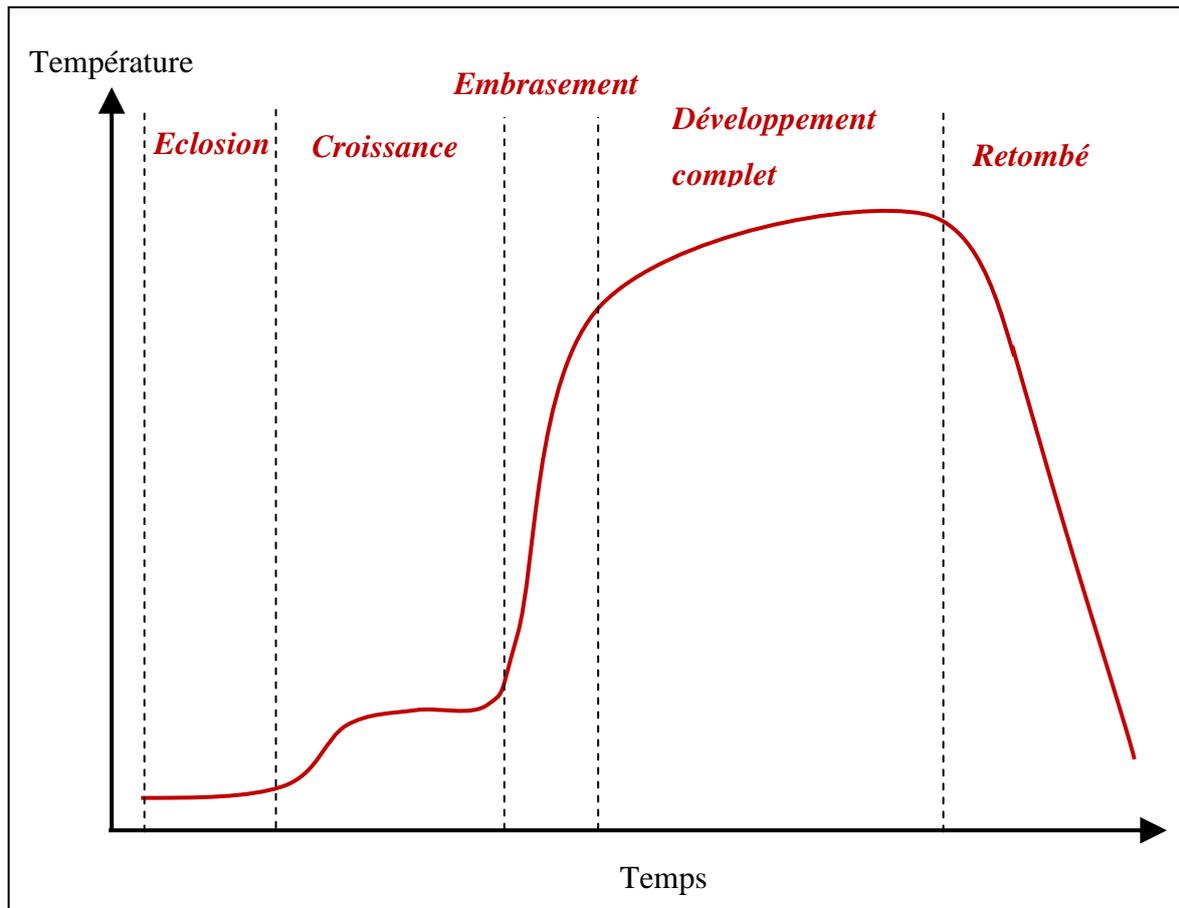


Figure 3 : Phases d'un incendie, de son éclosion jusqu'à son arrêt.

Le premier stade est l'éclosion, au moment où les éléments du triangle du feu sont réunis. A ce stade, le dégagement de chaleur est modéré, les fumées sont peu abondantes et le taux d'oxygène est normal, aux alentours de 21%. Le second stade est la croissance. A ce stade, la convection et les radiations font augmenter la température des autres combustibles de la pièce. Dès que ces derniers atteignent leur température d'ignition, ils s'enflamment et contribuent à la croissance de l'incendie. Cela continue jusqu'à ce que la pièce atteigne sa température

critique. L'embrassement généralisé (Flash-over) correspond au moment où tous les éléments de la pièce s'enflamment. Le feu se développe alors complètement avec un équilibre et un taux de dégagement de chaleur très élevé. Le stade suivant est la période de retombée du feu suite à l'épuisement du combustible. Le taux de dégagement de chaleur diminue jusqu'à l'arrêt complet de l'incendie.

I.3. Détection d'incendie

Le but de la détection d'incendie est de donner l'alerte au plus tôt et ainsi prendre les mesures appropriées afin de diminuer les conséquences humaines et matérielles. Ces mesures consistent en général en l'évacuation des personnes de la zone de danger et en l'extinction du feu aussi rapidement que possible par un personnel qualifié.

I.3.1. Détection d'incendie par la chaleur

Les détecteurs de chaleur sont les plus anciens détecteurs automatiques d'incendie et aussi les moins coûteux. Ils ont le plus petit taux de fausses alarmes mais aussi le temps de réponse le plus long. Ce dernier est de l'ordre de quelques minutes. Le détecteur de chaleur est donc le meilleur choix pour la détection de feu dans de petits espaces clos où la production de chaleur est rapide ou dans des endroits ne permettant pas l'utilisation d'autre type de détecteur. Les détecteurs de chaleur peuvent aussi être utilisés là où la vitesse de détection n'est pas l'élément primordial [14].

La chaleur étant véhiculée dans un premier temps par convection, les détecteurs de chaleur sont généralement situés près du plafond. Lorsqu'ils sont sensibles à un seuil de température prédéterminé, ils sont dénommés les détecteurs thermostatiques. Lorsqu'ils sont sensibles à la vitesse d'élévation de la température, ils sont dénommés détecteurs thermo-vélocimétriques. Certains détecteurs combinent les deux modes de détection pour un meilleur résultat.

I.3.2. Détection de la flamme

Les flammes émettent un rayonnement à spectre large. Le rayonnement dans le domaine visible et infrarouge provient en grande partie du rayonnement thermique des particules de carbone de la flamme. A titre de comparaison la flamme d'hydrogène est invisible. Le rayonnement dans le domaine ultraviolet provient en grande partie des agents OH des radicaux. C'est une des raisons qui fait que les flammes d'alcool apparaissent bleues [14].

Les détecteurs de flammes détectent les radiations ultraviolettes ou infrarouges dégagées par la flamme. En comparaison avec les autres détecteurs d'incendie, les détecteurs de flammes ont le taux de fausses alarmes le plus élevé et le temps de détection le plus rapide. Le temps de détection pour des détecteurs de flammes est généralement de l'ordre de la milliseconde.

Les détecteurs d'infrarouges sont essentiellement composés d'un filtre et d'un système de lentilles qui élimine les longueurs d'ondes indésirables et focalise l'énergie entrante sur une cellule photovoltaïque, photo-résistive ou pyro-électrique sensible à l'infrarouge.

Les détecteurs d'ultraviolets sont des dispositifs solides tels que le carbure de silicium ou le nitrure d'aluminium, ou des tubes de gaz qui s'ionisent en présence de radiations ultraviolettes. Les détecteurs d'ultraviolets sont opérationnels dans une gamme de longueurs d'ondes allant de 0,11 μm à 0,30 μm . Ils sont donc pratiquement insensibles aux lumières artificiels ou au soleil.

Les détecteurs de flammes sont généralement utilisés dans des secteurs à haut risque comme les plates-formes de chargement de carburants, les secteurs industriels, les chambres à haute pression, les endroits où un risque d'explosions ou d'incendie très rapides existe. En général l'utilisation des détecteurs de flammes est limitée aux endroits non-fumeur et aux zones de stockage des matériaux inflammables.

La combinaison de détecteurs d'ultraviolets et d'infrarouges est utilisée dans les aéronefs ou dans les chambres hyperbares.

I.3.3. Compteur de particules de taille sub-micronnique

Pendant les premières étapes de décomposition thermique ou de pyrolyse, un grand nombre de particules de taille sub-micronnique est produit. La taille de ces particules est située entre 5 nm et 20 nm. Bien que des particules de cette taille existent avec une concentration de quelques milliers par centimètre cube dans les zones rurales, et de quelques centaines de milliers par centimètre cube dans le secteur industriel, la présence d'un feu naissant peut augmenter cette concentration au-dessus du seuil normal pour être utilisé comme une indication d'incendie.

La plupart des détecteurs échantillonnant l'air sont des détecteurs de fumée aspirant. Ils fonctionnent en aspirant l'air dans un réseau de tuyaux disposés au-dessus ou au-dessous du plafond d'un secteur à protéger. De petits trous percés dans chaque tuyau forment une matrice pour pouvoir échantillonner par petite zone. Ces échantillons aériens sont transférés vers un dispositif optique sensible, souvent un laser solide, accordé pour détecter les particules de combustion extrêmement petites.

La plupart des systèmes de détection de fumée échantillonnant l'air ont une sensibilité plus haute que d'autre type de détecteurs de fumée et fournissent des niveaux multiples de seuil d'alarme. Ceci permet l'intervention manuelle ou l'activation de systèmes de suppression automatique avant qu'un feu ne se soit développé au-delà de l'étape couvante, augmentant ainsi le temps disponible pour l'évacuation et réduisant au minimum les dégâts.

Ils sont appropriés pour des environnements où une capacité de détection de fumée rapide fortement sensible est exigée, notamment les salles blanches, les secteurs qui contiennent des marchandises facilement endommagées par le feu comme le tabac, les dispositifs électroniques, les liquides fortement inflammables et les gaz. Leur inconvénient majeur est leur prix élevé et leur installation encombrante dans les pièces. Ces détecteurs sont particulièrement difficiles à installer et à maintenir.

I.3.4. Détection de fumées

Dans le domaine de la détection du feu, la fumée se réfère aux particules solides ou liquides générées pendant la combustion. Les solides sont des agglomérations de particules carbonées formées dans les parties riches en carburant de la flamme [14]. Les vapeurs peuvent condenser sur des noyaux solides, rapportant un liquide couvert de particules de fumée. Ce processus de condensation exige que la température soit en-dessous de la température de vaporisation quand la concentration de vapeur est suffisamment haute ce qui peut arriver dans le cas d'un feu couvant où toute la fumée est essentiellement sous forme de vapeur condensée. C'est pourquoi la fumée du feu couvant apparaît plus claire, le liquide étant en grande partie de l'eau. En revanche la fumée due aux flammes est plus sombre, constituée essentiellement de carbone. Il en résulte aussi que la taille des particules des feux couvants est plus grande que celle des feux vifs.

Les détecteurs de fumées sont plus coûteux que les détecteurs de chaleur, mais leur temps de réponse est de l'ordre de quelques secondes. C'est pourquoi les détecteurs de fumée sont très efficaces dans les endroits où la protection des personnes est primordiale. Leur emplacement est très important car les courants d'air peuvent affecter la direction des flux de fumée et doivent donc être pris en considération. Les détecteurs de fumées ne servent pas qu'à prévenir d'un danger, ils sont également utilisés dans les systèmes de ventilation automatique des grands bâtiments pour empêcher la circulation de fumée de l'extérieur vers l'intérieur. Une fois la fumée détectée l'appareil se met automatiquement en route pour faire sortir la fumée du bâtiment.

Les détecteurs de fumée sont classifiés selon leur principe d'exploitation. Il en existe deux types principaux : (1) à ionisation et (2) photoélectrique. Chacun de ces deux types de détecteurs a ses propres utilisations. En général, les détecteurs photoélectriques donnent une réponse plus rapide pour les feux couvants car ces feux produisent généralement une grande quantité de particules visibles et de grande taille. En revanche les détecteurs de fumée ioniques répondent plus rapidement aux feux vifs qui produisent des particules de fumée noires et de plus petite taille.

I.3.4.1. Détection ponctuelle optique de fumée

L'effet Tyndall est le principe physique utilisé dans ce type de détecteur. La chambre de détection contient une source de lumière (une LED par exemple) et un photorécepteur. Sans fumée, la disposition de la source et du détecteur est telle que la lumière émise n'est pas détectée. La source et le récepteur peuvent être séparés à l'aide d'une barrière physique par exemple. La pénétration de la fumée dans la chambre de détection entraîne la diffusion de la lumière émise par la source dans toutes les directions. Une partie de cette lumière diffusée sollicite le récepteur, ce qui déclenche l'alarme.

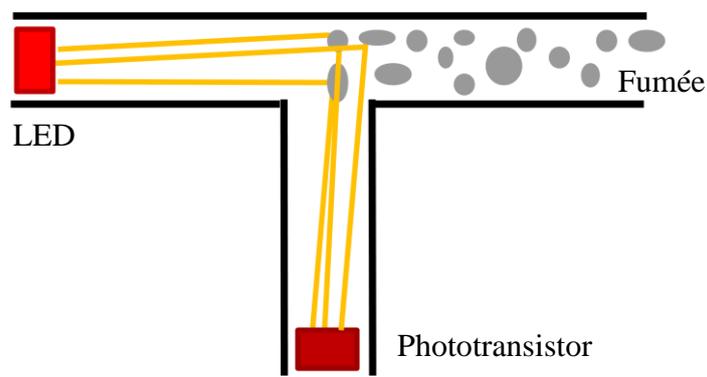


Figure 4 : Schéma d'un capteur optique ponctuel.

La figure 4 montre de manière schématique le fonctionnement d'un détecteur optique ponctuel. Ce détecteur est surtout efficace pour les fumées blanches. Les fumées noires ont en effet un faible coefficient de diffusion.

I.3.4.2. Détecteur linéaire optique de fumée

Contrairement aux détecteurs optiques ponctuels, la source de lumière et le récepteur des détecteurs linéaires de fumée sont placés de manière à ce que le récepteur reçoive toujours la lumière (infrarouge) émise par la source. Dans ce type de détecteur qui fonctionne sur le principe de l'absorption, le niveau de lumière reçu par le récepteur est mesuré et comparé en permanence avec un seuil prédéfini. Lorsque la fumée passe entre la source et le récepteur, l'absorption de la lumière par les particules de fumée baisse le niveau de la lumière reçu par le récepteur, et si le seuil prédéfini est atteint l'alarme se déclenche. La figure 5 montre

schématiquement un capteur de fumée linéaire. Avec ce type de détecteur, plus la distance entre la source de lumière et le récepteur est grande plus le détecteur est sensible. Il est donc particulièrement bien adapté pour la surveillance des aéroports, des centres commerciaux, des usines, des entrepôts, des musées, des gymnases, des églises etc. Il existe deux dispositions pour les détecteurs linéaires de fumée. Dans la première disposition, l'émetteur et le récepteur sont installés à chaque extrémité de la zone à protéger. Dans la seconde disposition, l'émetteur et le récepteur sont placés côte à côte et la lumière est réfléchiée par un catadioptre situé à l'autre extrémité de la zone à protéger.

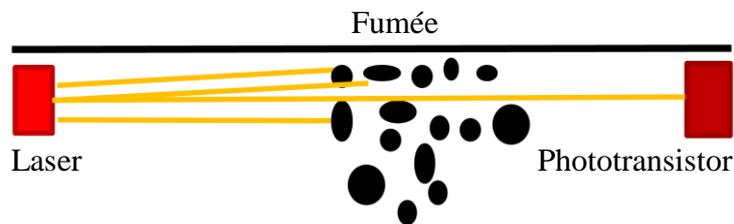


Figure 5 : Schéma d'un capteur optique linéaire.

I.3.4.3. Détecteur ionique

Le principe de fonctionnement d'un détecteur de fumée à ionisation est basé sur la réduction du courant électrique produit par la dérive de charges dans une chambre d'ionisation en dessous d'un seuil donné. Dans un premier temps, les molécules de l'air (l'azote et l'oxygène) sont ionisées dans la chambre d'ionisation. Ces molécules ionisées se déplacent ensuite dans la chambre sous l'effet d'un champ électrique produit par deux électrodes soumises à une tension de quelques Volts. De ce fait, un faible courant, de l'ordre de 10 pA, apparaît entre les électrodes. Lorsque des particules de fumée pénètrent dans la chambre d'ionisation, celles-ci s'attachent aux charges et les alourdissent significativement. Cela entraîne une diminution de la vitesse des charges ce qui laisse plus de temps aux charges pour se recombiner et donc le courant électrique entre les électrodes baisse.

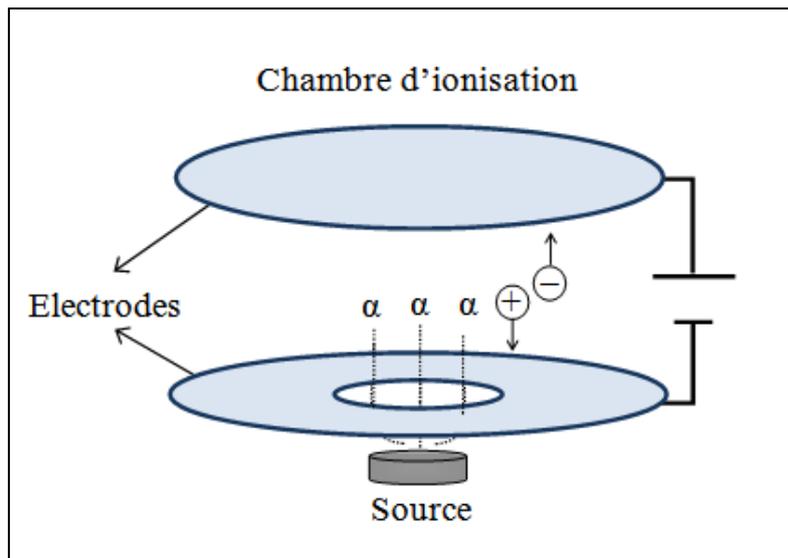


Figure 6 : Schéma d'un capteur ionique classique.

Les détecteurs ioniques réagissent aux composants de fumée qu'ils soient visibles ou invisibles. Ils détectent plus rapidement les particules de petites tailles que les détecteurs optiques. Ils répondent mieux aux particules de tailles entre 0,01 et 1,0 μm .

I.3.5. Choix d'un détecteur d'incendie

Il y a plusieurs paramètres qui jouent dans le choix d'un détecteur d'incendie comme par exemple le type et la quantité de carburant ou de matière inflammable, les possibles sources d'ignition, les conditions climatiques, la valeur des biens à protéger et la fréquentation de lieu par des personnes. Le tableau 4 donne un aperçu des applications des détecteurs d'incendie.

Domaines d'emploi	Détecteur					
	Ionique	Optique à diffusion	Thermo vélocimétrie	Thermostatique	Flamme UV	Flamme IR
Bureaux	***	***	**		*	*
Archives bibliothèque	***	***				
Imprimerie	**	**	**		*	*
Emballage	***	**	**		*	*
Chambre hôpital-hôtel	**	**	**			
Vestiaire	***	***				
Cuisine				***		
Cave à huile			**	**		
Laboratoire	*	**	***	**		**
Centres téléphoniques	**	***	*			
Parking	*	**	***			*
Chemin de câble	**	***		***		
Atelier mécanique			***	*	*	*
Atelier électronique	***	***	**			**
Salle informatique	***	***				**

Tableau 4 : Domaines d'emploi des détecteurs les plus utilisés [15].

Les détecteurs de chaleur ont un très bas coût et le plus faible taux de fausses alarmes. En revanche ils ont la réponse la plus lente. Puisque la chaleur a tendance à se dissiper assez rapidement, mieux vaut utiliser les détecteurs de chaleur dans des espaces fermés, ou dans des endroits qui peuvent s'enflammer rapidement.

Les détecteurs de fumée sont plus coûteux que les détecteurs de chaleur, mais ils sont beaucoup plus rapides. En raison de leur plus grande sensibilité, ils génèrent plus de fausses alarmes surtout s'ils ne sont pas correctement installés. Puisque la fumée ne se dissipe pas aussi rapidement que la chaleur, les détecteurs de fumée sont aussi appropriés pour protéger des espaces ouverts relativement grand. En revanche les détecteurs de fumée sont sujets à la corrosion, la poussière et autres endommagements environnementaux. Ils consomment aussi

de la puissance électrique donc le nombre de détecteurs de fumée qui peuvent être connectés à une unité de commande est limité par la source d'énergie qui alimente le réseau des détecteurs.

Les détecteurs de fumée photoélectriques sont particulièrement sensibles aux feux couvants ou aux feux dus à la pyrolyse à basse température de l'isolant PVC des fils électriques par exemple. Les détecteurs de fumée à ionisation sont particulièrement appropriés pour les feux vifs produisant des flammes. Enfin les détecteurs à ionisation réagissent aux particules de fumée visibles ou invisibles. Ils répondent mieux aux particules de taille comprise entre 0,01 μm et 1,0 μm .

Les compteurs de particules répondent à toutes les tailles de particules, donc ils peuvent être utilisés pour tous types de feu. Ces détecteurs sont en revanche assez coûteux, difficiles à installer et à maintenir.

Les détecteurs de flammes répondent extrêmement rapidement, mais à n'importe quelle source de radiation dans leur gamme de sensibilité. Leur taux de fausses alarmes est donc assez élevé et ils doivent être installés seulement dans les endroits où aucune flamme n'est permise, comme dans les zones de stockage de matériaux inflammables. Leur coût est relativement élevé, mais ils sont très utiles dans les secteurs où des vapeurs explosives ou inflammables et des poussières existent.

Chapitre II

Détection ionique de la fumée

En général un détecteur ionique contient une chambre d'ionisation dans laquelle est placée la source d'ions. Cette chambre d'ionisation peut être séparée de la chambre de détection selon la technique de fonctionnement du détecteur ionique. La chambre de détection possède des ouvertures vers l'extérieur pour que la fumée puisse y pénétrer. Elle est aussi reliée à la chambre d'ionisation pour que les ions générés puissent y entrer et ainsi permettre l'interaction entre les ions et la fumée. Un champ électrique de faible amplitude guide les ions dans la chambre de détection vers l'électrode de masse. Lorsque les particules de fumée traversent la chambre de détection, ils s'attachent aux ions et les alourdissent. Leur mobilité décroît considérablement, ils ralentissent ce qui laisse plus de temps aux charges pour se recombiner. Ainsi la quantité de charges atteignant l'électrode de mesure réduit ce qui cause la baisse du courant mesuré. Cela est la base de fonctionnement des détecteurs ionique de fumée.

Les particules de fumée entrées dans la chambre de détection sont soumises au champ électrique de faible amplitude produit par les électrodes, mais aussi à celui produit par les ions. Près des ions, le champ électrique est fortement divergeant et les particules de fumées situées à proximité se polarisent et ont tendance à se lier aux ions grâce à la force dielectrophoretique. Si on considère une particule de fumée comme un corps diélectrique homogène et donc polarisable, la force dielectrophoretique \vec{F} que subit la particule de fumée peut être exprimée de la façon suivante :

$$\vec{F} = \frac{1}{2} \alpha v \overrightarrow{grad} (E(d)^2) \quad (1)$$

où α dépend de la polarisabilité de la particule de fumée, v est le volume de particule de fumée et $E(d)$ est l'amplitude du champ électrique produit par l'ion le plus proche à l'emplacement de la particule de fumée [16]. Le coefficient α est typiquement de l'ordre de $\epsilon_0/3$ [17] où ϵ_0 est la constante diélectrique du vide. Une particule de fumée de 1 μm de diamètre a un volume de 4 μm^3 environ.

D'après la loi du Coulomb, l'amplitude du champ électrique E produit par un ion est :

$$E(d) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 d^2} \quad (2)$$

où q est la charge de l'ion et d la distance entre l'ion et la particule de fumée. En combinant les équations (1) et (2), on trouve la variation de la force dielectrophoretique avec la distance. On constate que celle-ci diminue en s'éloignant de l'ion source avec un rapport $1/d^5$. Cela signifie qu'une particule de fumée et un ion peuvent s'attacher seulement s'ils sont très proches de l'un et l'autre. Si la particule de fumée est relativement loin de la charge, le temps d'interaction peut être relativement long donc il est nécessaire que l'ion dérive suffisamment lentement dans la chambre de détection pour optimiser l'interaction. En effet si l'ion traverse la chambre de détection trop rapidement, il n'y aura pas assez de temps pour que la particule de fumée se lie et rien ne sera détecté.

La vitesse des ions dans la chambre de détection, est directement liée à leur mobilité μ . La mobilité étant inversement proportionnelle à la masse, quand les particules de fumée s'attachent aux ions libres grâce à la force dielectrophorétique, les ions deviennent des corps lourds et leur mobilité diminue brusquement. Cela abouti à une baisse significative de leur vitesse et leur laisse ainsi plus de temps pour se recombinaison. La densité de charges diminue alors significativement ainsi que le courant électrique mesuré entre les électrodes dans la chambre de détection.

$$\vec{j} = \rho\mu\vec{E} \quad (3)$$

Dans l'équation (3), ρ est la densité de charges, μ est leur mobilité et \vec{E} est le champ électrique. La baisse simultanée de ρ et μ conduit ainsi à la chute de la densité de courant \vec{j} .

S'il est important que la vitesse de dérive des ions dans la chambre de détection soit suffisamment lente pour garantir leur interaction avec les particules de fumée, un autre aspect important d'un détecteur ionique est sa consommation. Très souvent les détecteurs de fumée fonctionnent à l'aide d'une pile de 9 V. Même ceux connectés au secteur doivent d'être capables de fonctionner avec une pile en cas de coupure électrique. Il est donc très important que le détecteur consomme aussi peu d'énergie que possible pour avoir une durée de vie assez longue, typiquement de l'ordre d'un an. D'ailleurs on peut voir l'importance de la consommation d'un détecteur en se référant aux statistiques. Il faut savoir que les détecteurs d'incendie classiques sont opérationnels sans changer la pile pendant un an. Il faut donc changer la pile tous les ans, ce qui est souvent oublié par les utilisateurs. Cet oubli met hors

service le détecteur de fumée installé. Aux Etats-Unis par exemple, même si 95% des habitations ont au moins un détecteur de fumée installé, un grand nombre de ces détecteurs ne fonctionne pas ou n'est pas correctement installé. La figure 7 montre le pourcentage d'incendies et de décès résultants de 2000 à 2004 aux Etats-Unis selon l'état de fonctionnement du détecteur de fumée installé. On constate que 46% des habitats américains n'auraient pas de détecteurs en état de fonctionnement et que cela a été la cause de 65% des décès. D'après ces chiffres si tous les détecteurs avaient correctement fonctionnés, 33 personnes sur 100 auraient pu être sauvées.

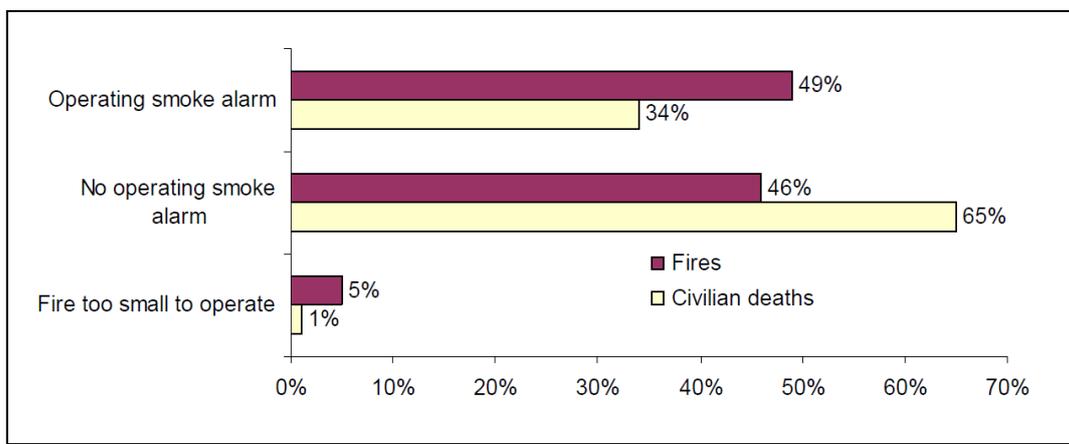


Figure 7 : Incendies et décès selon l'état de fonctionnement du détecteur de fumée entre 2000 et 2004 [8].

II.1. Détecteur ionique à source radioactive

Des premiers détecteurs ioniques de fumée des années 70 jusqu'aux plus élaborés actuels, tous ont utilisé une source radioactive pour produire les ions. La source crée des particules alpha ou bêta. La source alpha est généralement une petite quantité d'américium 241 (Am-241) d'une masse d'environ 0,3 µg. La durée de demi-vie ($t_{1/2}$) d'Am-241 est de 432 ans dont l'équation de désintégration est donnée par (4). Cela peut être vu comme une forme de fission nucléaire où le noyau père (Am-241) se désintègre en deux noyaux fils dont l'un est un noyau de Neptunium et l'autre un noyau d'hélium ou plus simplement une particule alpha.



L'énergie libérée par cette réaction est 5,7 MeV dont $E_\alpha = 5,6$ MeV est emportée par la particule alpha. Selon le pourcentage d'azote et l'oxygène, l'énergie d'ionisation moyenne de l'air est d'environ $E_i = 95$ eV. Chaque particule alpha peut donc générer environ 60 000 électrons libres dans la chambre d'ionisation.

L'oxygène et l'azote positivement chargé, sont attirés par l'électrode négative et les électrons par l'électrode positive de la chambre de détection. Cela produit un petit courant électrique continu. L'équation (5) donne l'expression de ce courant si l'activité de la source Am-241 est A_α désintégrations par seconde.

$$I = A_\alpha \frac{E_\alpha}{E_i} \quad (5)$$

Ce courant est typiquement de l'ordre d'une fraction de nano-Ampère, en l'absence de particules de fumée.

Selon la position de la source alpha ou de la distance entre les électrodes, deux types de chambres d'ionisation ont été développées. Dans une première conception c'est l'emplacement de la source alpha qui distingue les chambres unipolaire et bipolaire. Dans une chambre unipolaire, la source alpha est placée près de l'électrode négative. Ainsi seule une petite partie de l'air de la chambre est ionisée. La plupart des ions positifs sont rapidement captés par la cathode, laissant la prédominance aux ions négatifs occupant la chambre jusqu'à l'anode. Dans une chambre bipolaire, la source alpha est située au centre de détecteur et l'ensemble de l'air de la chambre est ionisé. Ainsi les deux types d'ion participent à la détection [14]. La figure 8 montre les chambres unipolaires et bipolaires.

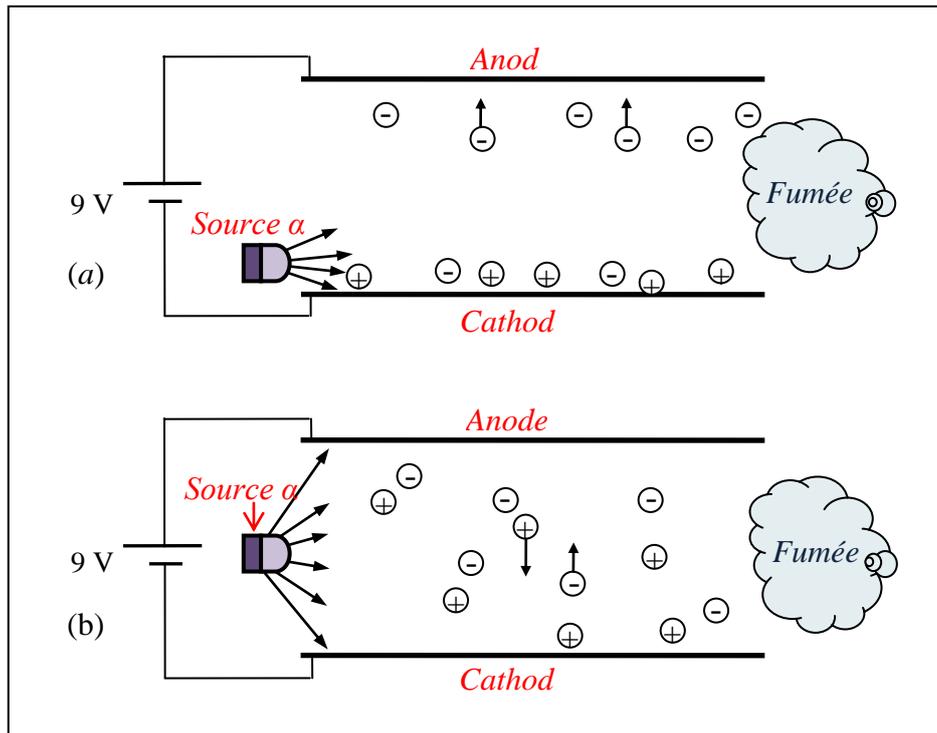


Figure 8 : (a) Chambre unipolaire et (b) chambre bipolaire.

Dans la seconde conception, la source de particules alpha est toujours située sur la cathode mais la chambre d'ionisation peut être unipolaire ou bipolaire selon la distance inter-électrodes. En effet comme les particules alpha de la source d'Am-241 ont un libre parcours moyen proche de 4 cm dans l'air, les chambres d'ionisation de moins de 4 cm contiennent quasiment le même nombre d'ions positifs et négatifs. C'est donc une chambre de type bipolaire. Quand l'espacement entre les électrodes est plus grand que 4 cm, une partie de la chambre est bipolaire mais au-delà de 4 cm elle devient unipolaire. Une zone de charges d'espace sépare ces deux régions et agit pour stabiliser la concentration d'ions dans la région unipolaire [18]. La figure 9 illustre ces deux types de chambres.

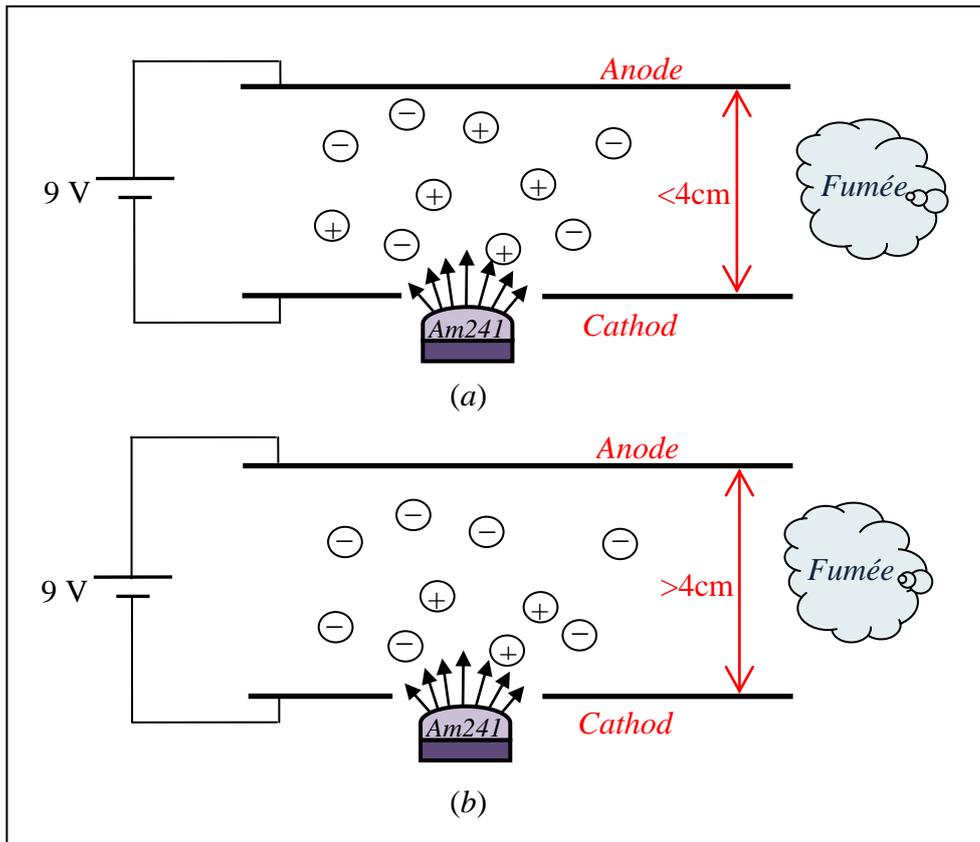


Figure 9 : (a) Chambre d'ionisation bipolaire, et (b) chambre d'ionisation unipolaire.

Les détecteurs ioniques de fumée ont une durée de vie de dix ans au moins, et une très faible consommation d'énergie. Ils étaient de ce fait très efficaces et très demandés durant des années mais, malgré ces avantages, leur utilisation n'est plus admissible à cause de la source radioactive qu'ils contiennent, même si la taille de cette source a diminué à mesure des avancées technologiques. Bien que le risque de contamination radioactive des utilisateurs est négligeable, la procédure de collecte et le recyclage de ces sources est difficile et très coûteuse. Chaque année plusieurs millions de détecteurs ioniques contenant une petite source radioactive finissent leur vie de détecteur mais les sources restent actives durant encore plusieurs centaines d'année. La plupart des pays développés ont donc déjà arrêté la production des détecteurs ioniques et n'ont autorisé que le remplacement de pièces d'anciens détecteurs ioniques installés dans les bâtiments industriels.

II.2. Autres sources possibles pour produire des ions

Connaissant les avantages des détecteurs ioniques de fumée par rapport aux autres détecteurs d'incendie, il paraît intéressant de trouver des sources d'ions utilisant un procédé alternatif à la radioactivité. Cette source doit cependant être efficace et ne pas consommer trop d'énergie puisque le détecteur doit pouvoir fonctionner au moins un an avec une pile de 9 V seulement.

Différentes méthodes de génération d'ion sont décrites et discuté ci-après. Les méthodes semblant les plus prometteuses pour une application à la détection de fumée sont listées à la fin.

II.2.1. Émission par effet de champ

L'émission par effet de champs permet de générer des électrons. C'est une émission induite par champ électrique, qui fait sortir des électrons d'une surface solide ou liquide lorsque le champ est suffisamment fort. Ce phénomène s'explique par l'effet tunnel quantique. La théorie d'émission par effet de champ dans les métaux a été proposée par Fowler et Nordheim [19].

Contrairement aux cas de l'émission thermoïonique et de l'émission photoélectrique où les électrons reçoivent suffisamment d'énergie pour passer au dessus de la barrière de potentiel, dans le cas de l'émission par effet de champ, la barrière de potentiel φ est déformée de sorte que certains électrons puissent la franchir par l'effet tunnel. Cette situation est montrée sur la figure 10.

Quand un champ électrique E est appliqué à la surface, des électrons près du niveau de Fermi E_F voient une hauteur de barrière φ et une épaisseur $x = \varphi/qE$ en première approximation. Si cette épaisseur est suffisamment mince, 2 nm typiquement, les électrons du métal ont une probabilité non négligeable de traverser la barrière par effet de tunnel. Cependant la barrière de potentielle triangulaire est seulement une première approximation de la forme de $V(x)$ à la surface. La barrière de potentiel au voisinage de la surface est aussi diminuée de $(1/4\pi\epsilon_0)q^2/4x$. La distribution typique des électrons émis en fonction de l'énergie est

indiquée sur la figure 10. L'intensité des électrons d'effet de champ est plus important proche de E_F car en dessous de cette valeur la barrière est plus épaisse.

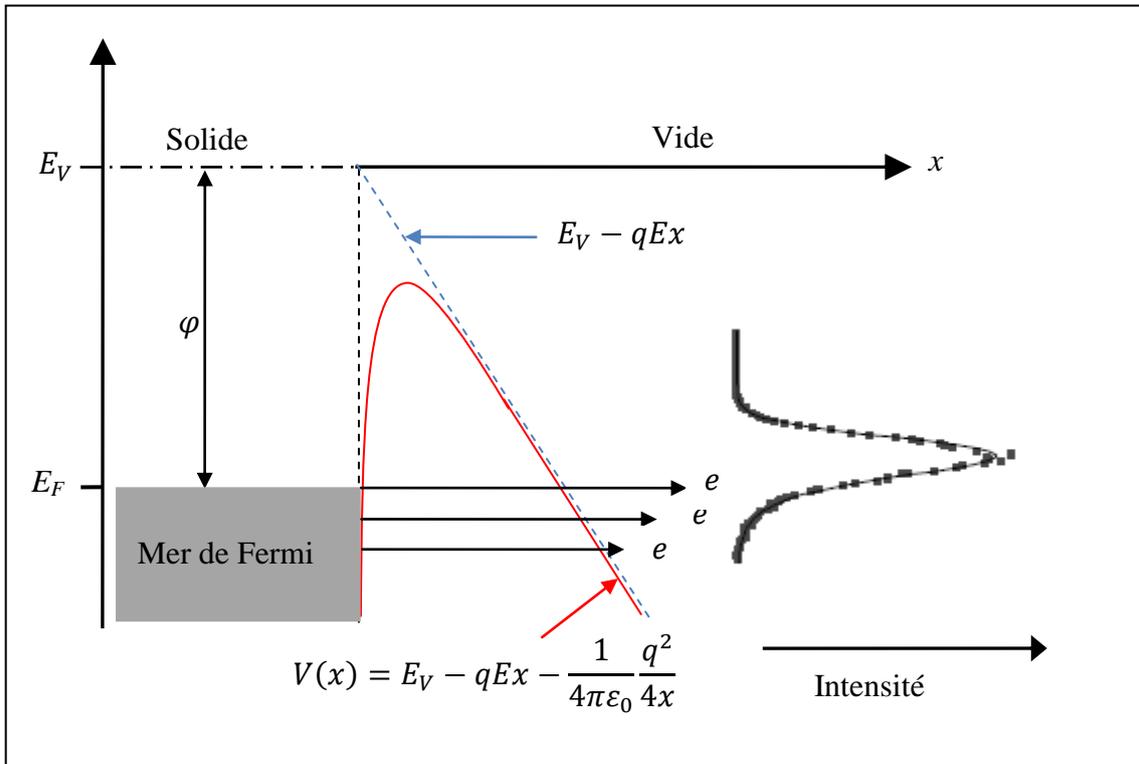


Figure 10 : Extraction d'électrons de la surface d'un solide, grâce à l'effet tunnel à travers la barrière de potentiel.

La densité de courant d'électron J générée par le champ électrique E appliqué perpendiculairement à la surface du métal à la température zéro Kelvin, est donnée par l'équation (6) dite équation de Fowler-Nordheim [19].

$$J = \frac{1,56 \times 10^{-6}}{\varphi t^2(y)} E^2 \exp\left(-\frac{6,83 \times 10^7 \varphi^{1.5}}{E} v(y)\right) \quad (6)$$

Où y s'exprime selon

$$y = \sqrt{\frac{q^3 E}{4\pi\epsilon_0 \varphi^2}} \quad (7)$$

Dans l'équation (6) la densité de courant J s'exprime en A/cm^2 , le travail de sortie φ en eV et le champ électrique E à l'endroit de l'émission en V/cm . Les termes $t(y)$ et $v(y)$ sont les fonctions elliptiques de Nordheim, qui ont pour valeurs approximatives : $t^2(y) \approx 1,1$ et $v(y) \approx 0,95 - y^2$ [20]. Une forme simplifiée de l'équation Fowler-Nordheim a été proposée par Spindt [20] où les fonctions $v(y)$ et $t(y)$ sont les valeurs approximatives.

$$J = \frac{1,5 \times 10^{-6}}{\varphi} E^2 \exp\left(\frac{10,4}{\sqrt{\varphi}}\right) \exp\left(-\frac{6,44 \times 10^7}{E} \varphi^{1,5}\right) \quad (8)$$

II.2.2. Source thermoïonique

Pour qu'un électron puisse se libérer de la surface d'un métal, il doit franchir la barrière de potentiel qui le retient. Si dans le cas de l'émission par effet de champ, l'énergie nécessaire pour franchir la barrière de potentiel est fournie par le champ électrique présent à la surface, dans le cas d'émission thermoïonique, c'est la chaleur du métal qui fournit cette énergie.

L'équation (9), formulée par Richardson et Duchman [21], donne la densité de courant électrique de l'émission thermoïonique d'un métal.

$$J = A_G T^2 \exp\left(\frac{-\varphi}{kT}\right) \quad (9)$$

où J est la densité de courant en A/m^2 , T la température de la surface de métal en K, φ le travail de sortie du métal en eV, k la constante de Boltzman ($1,35 \times 10^{-23}$ J/K ou 86×10^{-6} eV/K) et A_G la constante de Richardson qui s'écrit de la manière suivante :

$$A_G = \lambda_R A_0 \quad (10)$$

où λ_R est un facteur de correction qui dépend du matériau de la surface émettrice. Ce facteur est typiquement de l'ordre de 0,5. La constante universelle A_0 est donnée par l'équation suivante [22] :

$$A_0 = \frac{4m\pi k^2 q}{h^3} \quad (11)$$

où m est la masse d'un électron et h est le constante de Plank.

Ce phénomène peut être accompagné de l'application d'un champ électrique à la surface du métal qui fournit une énergie supplémentaire aux électrons et baisse le niveau de barrière de potentiel. L'effet de renforcement de l'émission thermoionique par un champ externe est nommé effet Schottky. Cela revient à remplacer dans l'équation (9) le travail de sortie φ par $\varphi - \Delta w$ où $\Delta w = \sqrt{q^3 E / 4\pi\epsilon_0}$ est l'énergie fournie par le champ externe [23, 24]. Si le champ électrique externe dépasse un seuil d'environ $10^8 V/m$, l'émission thermoionique renforcée par le champ électrique est remplacée par l'émission par effet de champ. La figure 11 montre symboliquement la position de la barrière de potentiel sous différents effet externe comme le champ électrique et l'effet thermoionique.

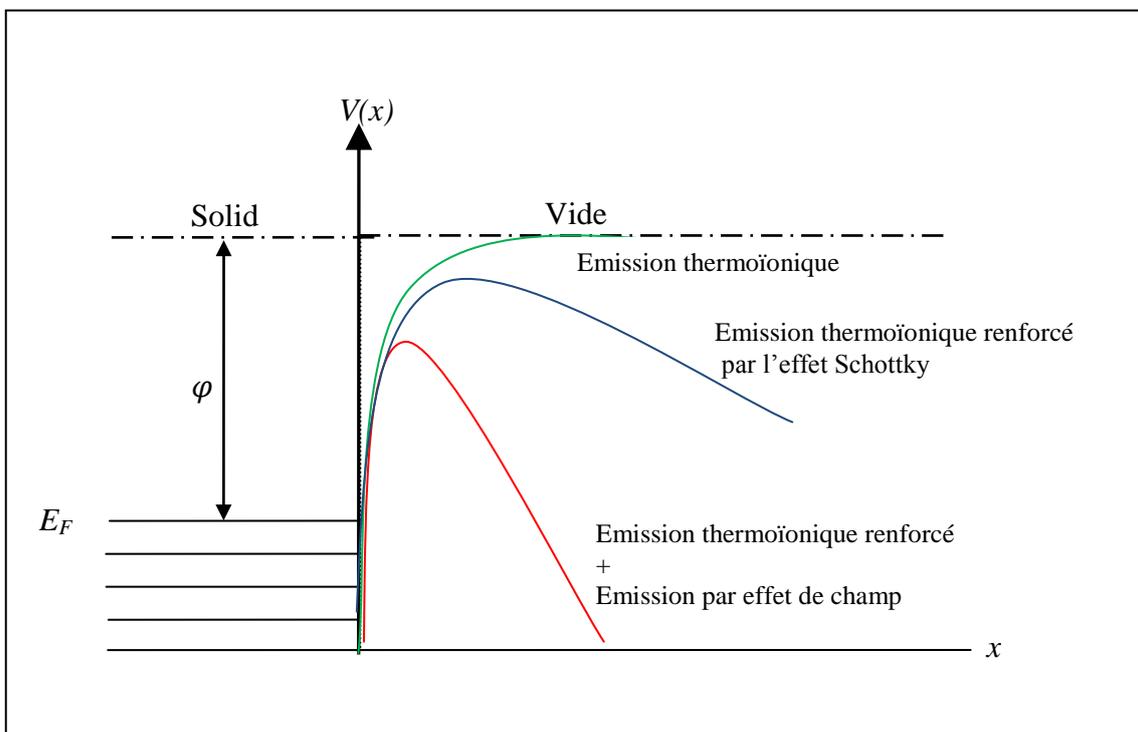


Figure 11 : Niveau de la barrière de potentiel pour l'émission thermoionique et l'émission de champ.

II.2.3. Source photoélectrique

L'apport d'énergie lumineuse permet également d'aider les électrons à sortir d'un métal. Lorsqu'on irradie la surface d'un métal avec un rayonnement d'énergie suffisante, les électrons de conduction du métal peuvent acquérir suffisamment d'énergie pour passer la barrière de potentielle et sortir [25].

Le rayonnement électromagnétique contient des photons d'une énergie qui dépend directement de la fréquence du rayonnement. L'énergie d'un photon ayant la fréquence ν est donnée par $h\nu$, où h est le constante de plank. L'énergie minimale nécessaire pour faire sortir un électron du métal correspond à son travail de sortie. Si l'énergie du photon est supérieure au travail de sortie, l'électron sort du métal avec l'énergie cinétique E_e .

$$E_e = h\nu - \varphi \quad (12)$$

Si l'énergie des photons incidents est égale au travail de sortie du métal, $E_e = 0$ et les électrons sortent du métal à une vitesse nulle.

Pour mettre en équation le phénomène photoélectrique à température ambiante, on peut s'inspirer de l'effet thermoïonique qui est simple à comprendre [49]. En effet ces deux effets sont relativement similaires puisqu'il s'agit de fournir suffisamment d'énergie aux électrons d'un matériau pour en sortir. Dans le cas de l'effet thermoïonique c'est uniquement l'agitation thermique qui fournit cette énergie alors que dans le cas de l'effet photoélectrique le photon en fournit la majeure partie. Pour adapter l'équation thermoïonique au cas de l'effet photoélectrique, le travail de sortie du métal est diminué de l'énergie des photons incidents $h\nu$ dans l'équation (9).

$$J = A_G T^2 \exp\left(-\frac{\varphi - h\nu}{kT}\right) \quad (13)$$

Si on suppose que tous les photons incidents sont absorbés et transmettent leur énergie aux électrons le rendement quantique est dit de 1. Cela dit, surtout si la source de rayonnement est une source à spectre large, seule une proportion η d'électrons est excitée par les photons. Les

$(1 - \eta)$ électrons qui n'ont pas bénéficié de l'énergie des photons, obéissent seulement à l'effet thermoïonique. L'équation (14) donne alors la densité de courant total en considérant le rendement quantique.

$$J = A_G T^2 \left\{ \eta \exp\left(-\frac{\varphi - h\nu}{kT}\right) + (1 - \eta) \exp\left(-\frac{\varphi}{kT}\right) \right\} \quad (14)$$

A température ambiante, le deuxième terme du second membre est négligeable. Par ailleurs l'équation (14) donne l'influence de la fréquence du rayonnement et de la température sur la densité de courant photo-induite.

II.2.4. Décharges électriques

Considérons le plus simple système de décharge : deux électrodes métalliques dans un gaz. En l'absence de champ électrique, les rayonnements cosmiques et la radioactivité naturelle génèrent en permanence des électrons de germes avec une densité de l'ordre de 1 000 à 2 000 par cm^3 dans le cas de l'air par exemple. Le libre parcours moyen des électrons étant de l'ordre de 0,1 μm dans l'air à pression ambiante, la plupart des électrons sont éliminés par des phénomènes d'attachement ou de recombinaison avant d'arriver à l'une ou l'autre des électrodes.

Si on applique un champ électrique par l'intermédiaire des électrodes, les électrons de germes accélèrent et suivent le champ pour arriver à l'électrode chargée positivement (l'anode). Un courant est alors mesuré. A partir d'une certaine valeur du champ électrique, pratiquement tous les électrons de germes arrivent à l'anode et le courant sature, ne dépendant plus du potentiel appliqué aux électrodes. C'est une décharge dite non auto-entretenu.

Si le champ électrique augmente et devient suffisamment fort, les électrons de germes acquièrent l'énergie nécessaire pour pouvoir ioniser des atomes ou des molécules du gaz environnant. Puisque le libre parcours moyen des électrons est très petit par rapport à la distance inter-électrodes, ils peuvent produire plusieurs ionisations sur leur parcours dans le champ électrique, créant ainsi plusieurs particules chargées. Les électrons supplémentaires vont être accélérés à leur tour et participer à la procédure d'ionisation. Ce mécanisme d'ionisations successives est nommé « décharge de Townsend ». Les particules chargées ainsi

créées vont se déplacer dans le champ électrique et générer un courant de décharge. D'après la théorie de Townsend, le nombre moyen de paires d'ion-électron produit par unité de longueur par électron incident est déterminé par le premier coefficient de Townsend α . Ce coefficient d'ionisation est la superposition de phénomènes tels que l'ionisation par chocs d'électrons, l'attachement et le détachement dans le gaz [26]. Le coefficient α est une fonction du champ électrique, de la nature et de la pression du gaz dont l'équation empirique suivante donne une approximation [26] :

$$\frac{\alpha}{P} = A \exp\left(-B \frac{P}{E}\right) \quad (15)$$

où A et B sont des constantes, P est la pression du gaz dans lequel la décharge se produit et E est l'amplitude du champ électrique appliqué. A partir d'un électron initial, le nombre d'électrons créés dans l'ensemble de l'avalanche due à la multiplication est inférieur ou égal à $\exp(\alpha d)$ où d est la distance inter-électrodes.

Si le champ électrique augmente encore, l'émission secondaire intervient aussi. Les électrons arrivent à l'anode avec suffisamment d'énergie pour provoquer une émission d'ions positifs vers la cathode. Par ailleurs, les particules résultantes du processus primaire d'ionisation, comme les ions positifs, les atomes excités, les électrons, ou les photons incidents émis lors de la recombinaison ion-électron, peuvent participer à une émission secondaire. De tous ces phénomènes, ceux qui sont localisés sur la cathode sont les plus efficaces, car il est plus facile d'extraire des électrons que des ions. D'ailleurs la densité de courant dépend beaucoup de la nature de la cathode [27]. Cette émission secondaire est déterminée par le deuxième coefficient de Townsend γ qui représente le nombre d'électrons émis par la cathode dans le système de décharge suite au bombardement d'ions positifs. Cependant l'énergie cinétique des ions de décharge n'est pas suffisante pour arracher des électrons de la cathode. Pour comprendre le mécanisme d'émission secondaire via la cathode, on peut se référer au mécanisme décrit par Penning [28]. Quand l'ion positif s'approche de la surface du métal à une distance de l'ordre des dimensions atomiques, il agit sur la barrière de potentiel en l'affinant. Les électrons peuvent alors passer à travers cette dernière, entrer dans le champ de l'ion et le neutraliser. Si l'énergie ainsi dégagée est plus grande que le travail de sortie des électrons du métal, il peut faire sortir d'autres électrons.

Si $\gamma \exp(\alpha d) > 1$, le phénomène de décharge peut s'amplifier indéfiniment [26, 29]. Au contraire si $\gamma \exp(\alpha d) < 1$, la multiplication indéfinie de l'électron initial est impossible. Cette relation donne la condition nécessaire mais non suffisante pour qu'une décharge électrique soit autoentretenu [26]. Cette relation est valable pour un champ électrique uniforme où α ne dépend pas de la position des électrons par rapport aux électrodes.

On peut voir l'effet des premier et second coefficients de Townsend dans le courant électrique de la décharge dans un champ électrique uniforme. Si on a N_0 électrons initiaux, grâce à la radioactivité naturelle ou à un phénomène photoélectrique, le courant initial cathodique est $i_0 = qN_0$, et celui récupéré à l'anode en absence d'émission secondaire est $i = i_0 \exp(\alpha d)$. En effet chaque électron sortant de la cathode, laisse $\exp(\alpha d) - 1$ ions positifs sur son chemin jusqu'à l'anode. Si tous ces ions arrivent à la cathode, le courant sur la cathode est $i = i_{electron} + i_{ion} = i_0 + i_0[\exp(\alpha d) - 1]$. On suppose que l'émission secondaire est seulement due aux ions, donc chacun des $\exp(\alpha d) - 1$ ions fait sortir γ électrons de la cathode. Le courant secondaire s'ajoute au courant primaire ce qui donne un courant à la cathode $i_1 = i_0 + \gamma i_1[\exp(\alpha d) - 1]$ et un courant à l'anode qui sort dans le circuit :

$$i = i_1 \exp(\alpha d) = \frac{i_0 \exp(\alpha d)}{1 - \gamma[\exp(\alpha d) - 1]} \quad (16)$$

Le claquage donné par Townsend correspond à l'annulation du dénominateur de l'équation (16) pour une distance critique d_c :

$$1 - \gamma[\exp(\alpha d_c) - 1] = 0 \quad (17)$$

Lorsque le champ inter-électrodes est non uniforme comme pour un système fil-cylindre ou fil-plan, le coefficient α varie puisque le champ varie et le critère de claquage s'exprime de manière suivante :

$$\gamma \left[\exp \left(\int_0^{d_c} \alpha dx \right) - 1 \right] = 1 \quad (18)$$

La diffusion de la décharge dépend de la nature du gaz, de l'importance relative des phénomènes d'ionisation et d'attachement, ainsi que de la densité d'électrons primaires

présente dans le gaz [29]. Dans le cas d'un gaz à pression très élevée les électrons acquièrent difficilement de l'énergie entre deux collisions pour pouvoir ioniser d'autres particules. Au contraire, si la pression est très faible le libre parcours moyen est très grand, les électrons acquièrent alors une grande énergie, mais ne rencontrent pas beaucoup de molécules à ioniser.

Dans le cas d'une décharge de type Townsend on distingue en général quatre régimes [30] :

(1) Le champ électrique est très faible. L'ionisation issue de la radioactivité naturelle ou du rayonnement cosmique, crée un courant très faible, typiquement moins de 1 pA/cm^2 .

(2) En augmentant la tension appliquée aux électrodes. Le champ électrique atteint un seuil suffisant pour qu'un électron acquière suffisamment d'énergie et puisse ioniser une particule de gaz. L'avalanche se déclenche mais elle n'est pas auto-entretenu. On parle de régime de Townsend non entretenu et le courant reste faible, typiquement moins de 1 nA/cm^2 .

(3) Avec la tension, la composante continue du courant augmente. La décharge ne s'éteint plus car la condition d'auto-entretien est atteinte. C'est la décharge luminescente.

(4) Les courants de décharges deviennent très importants car toute l'énergie passe par un même canal préférentiel dans l'espace inter-électrodes. C'est le régime des décharges disruptives telles que les arcs électriques.

Cependant dans le cas de grandes valeurs du produit pression par distance inter-électrodes (pd) lorsque les électrodes sont planes et parallèles, mais également lorsque les électrodes produisent un champ d'électrique fortement divergeant, la décharge et la rupture sous haute tension se produisent beaucoup plus rapidement que prévue par la théorie de Townsend. Le mécanisme de Townsend prévoit en effet des temps caractéristiques de décharge de l'ordre de $10 \text{ }\mu\text{s}$, tandis que pour les décharges à haute tension avec de fortes valeurs de pd , ce temps est réduit à 10 ns . Un temps aussi faible ne permet plus l'émission secondaire d'électrons à la cathode car il n'est pas suffisant pour permettre aux ions d'aller de l'anode à la cathode. Le mécanisme de photoémission d'électrons secondaire à la cathode n'est pas suffisamment rapide non plus, car le canal du courant se forme en un temps inférieur ou égal au temps de passage d'un électron [31]. De plus le matériau de la cathode devrait intervenir sur le courant

de décharge Townsend en affectant l'émission secondaire des électrons, ce qui n'est pas le cas des décharges à haute tension avec de fortes valeurs de pd . Ainsi le mécanisme de multiplication Townsend ne permet pas d'expliquer le comportement des décharges à haute pression comme par exemple la décharge Corona.

Les fondamentaux de la nouvelle théorie de rupture d'étincelle (Spark) a été développée par Loeb, Meek, Raether [32, 33, 34]. Cela permet de mieux expliquer le comportement de décharge à haut pression. Cette théorie est basée sur le concept de développement d'un canal ionisé et étroit (streamer) entre les électrodes. Il devient alors possible d'expliquer la faible tension de claquage dans les systèmes d'électrodes dissymétriques [35]. Cette théorie est basée sur plusieurs observations empiriques, dont les suivantes [27] :

(1) La tension disruptive est indépendante du matériau composant la cathode pour des valeurs de pd supérieurs à 200 Torr.cm. Par conséquent, l'émission d'électrons par bombardement des ions positifs, qui est conditionnée par la valeur du second coefficient de Townsend, n'est pas un mécanisme essentiel dans ce type de décharge.

(2) Le courant est très élevé et la décharge est très rapide dans le cas de tensions appliquées importantes.

(3) La décharge n'est pas diffuse, mais concentrée dans un canal étroit avec des subdivisions, et des changements de direction.

(4) Sur le parcours du canal, le champ électrique est perturbé par les charges d'espace.

D'après Meek [34], le canal commence à se former quand le champ induit par la charge d'espace devient aussi important que le champ extérieur. Raether [32] donne comme condition nécessaire que le nombre de charges dans l'avalanche doit augmenter à une valeur comprise entre 10^8 et 10^{10} ions, soit 16 pC et 1,6 nC. A partir de ces valeurs c'est le champ produit par la charge d'espace qui pilote la dynamique de la décharge. Le canal correspond à une onde d'ionisation qui se développe entre l'anode et la cathode sous l'effet de son propre champ de charge d'espace. La décharge se structure en filaments. La tête du canal est une zone de charge d'espace caractérisée par un très fort champ local, tandis que dans le corps du

canal les ions positifs attirent les électrons d'avalanche pour une neutralisation locale, ce qui crée une trainée de plasma quasi-neutre [27]. C'est ce mécanisme qui permet au canal une vitesse de propagation de l'ordre de 10^8 m/s, bien plus élevée que la vitesse de dérive des électrons d'une avalanche Townsend. Un canal n'est pas un phénomène directionnel, mais plutôt isotrope et aléatoire. Il peut se développer vers la cathode ou vers l'anode puisque sa propagation ne dépend que du champ de sa charge d'espace. Dans le cas d'un canal anodique, la propagation est liée aux électrons, tandis que pour un canal cathodique le développement est lié aux photons émis par les micro-décharges [35].

La figure 12 montre le mécanisme de création d'un canal en trois étapes successives dans lesquelles (a) montre quand l'avalanche a traversé la distance inter-électrodes d , (b) montre quand le canal a traversé la moitié de d et (c) montre quand la zone inter-électrodes est devenue conductrice à cause du canal.

Le canal principal peut être accompagné par plusieurs petits canaux secondaires dû au phénomène de ramification. Ce phénomène est d'autant plus important que la tension appliquée est élevée.

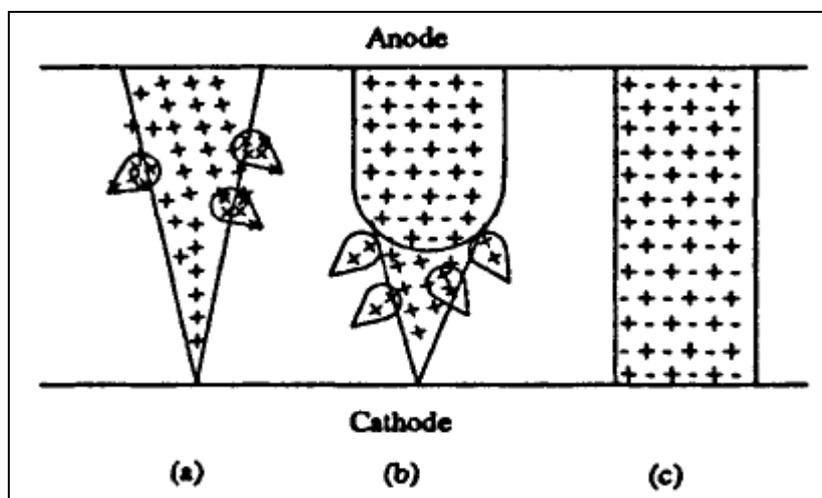


Figure 12 : Micro-décharges se développant dans la direction de la cathode, créant un canal cathodique [36].

II.2.4.1. Décharge luminescente

La décharge luminescente est l'une des décharges gazeuses les plus étudiées et les plus utilisées. C'est une décharge auto-entretenu utilisant une cathode froide émettant des électrons qui proviennent pour la plupart de l'émission secondaire due au bombardement de la cathode par des ions positifs énergétiques. Cette décharge est souvent créée dans un tube de gaz sous basse pression (10^{-5} à 10^{-1} bar) en appliquant une tension de 10^2 à 10^3 V entre la cathode et l'anode. Cela génère un courant de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-1} A. La particularité de cette décharge est la couche épaisse de charges positives au voisinage de la cathode. Cette région présente une chute de tension considérable de 100 à 400 V et s'appelle « couche cathodique ». L'épaisseur de la couche cathodique est inversement proportionnelle à la pression du gaz. Si la distance entre les deux électrodes est suffisamment grande, une région de plasma neutre se forme entre la couche cathodique et l'anode. Cette région s'appelle colonne positive et le champ électrique y est très faible. Contrairement à la couche cathodique qui est indispensable pour une décharge luminescente, la colonne positive n'est pas essentielle et n'existe pas si la couche cathodique remplit tout l'espace inter-électrodes. La figure 13 montre qualitativement l'emplacement des différentes couches dans un tube de décharges ainsi que la distribution des paramètres principaux.

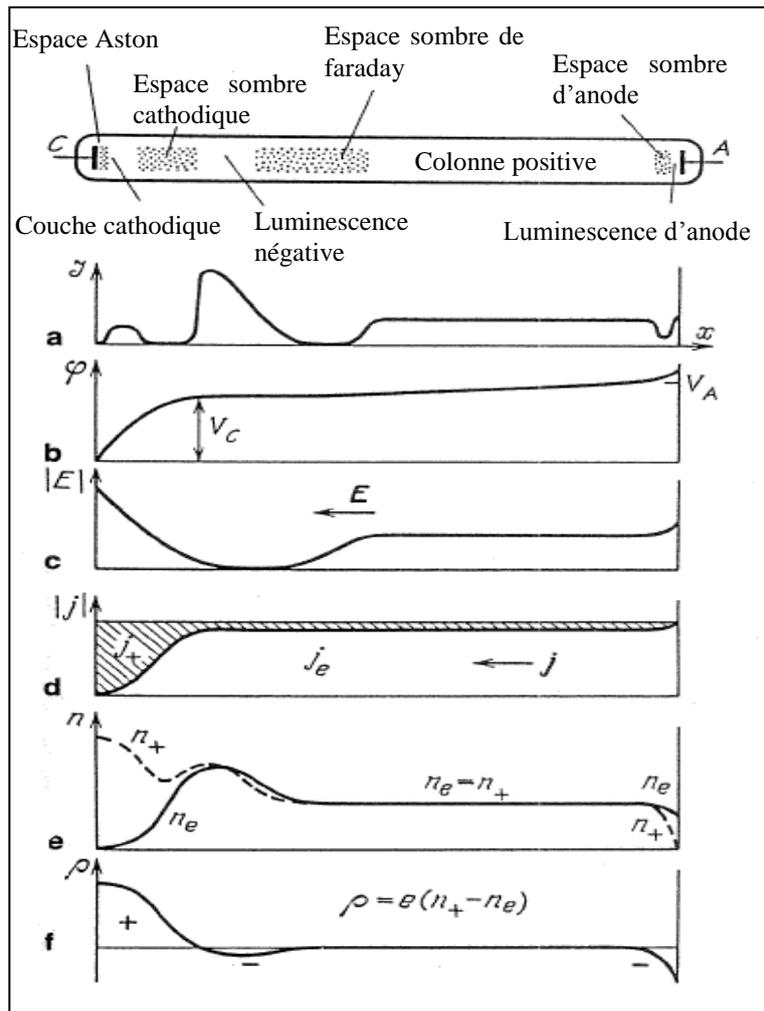


Figure 13 : Décharge lumineuse dans un tube et distribution de l'intensité de luminescence (a), du potentiel électrique (b), du champ électrique longitudinal E (c), de la densité de courant électronique (j_e) et ionique (j_+) (d), de la densité de charge négative (n_e) et positive (n_+) (e) et de la charge d'espace $\rho = e(n_+ - n_e)$ (f) [31].

Pour interpréter l'intensité de luminosité produite dans le tube, il faut détailler la procédure de création des charges. Les électrons éjectés de la cathode ont une énergie de moins de 1 eV et ne peuvent donc pas exciter d'atomes. Cela produit la zone sombre à la cathode nommée l'espace « Aston ». Sous l'effet du champ électrique, les électrons accélèrent et gagnent suffisamment d'énergie pour exciter les atomes du gaz qu'ils rencontrent sur leur trajet. Chaque impact produit des photons, ce qui est à l'origine de la couche cathodique lumineuse. Les électrons gagnent de plus en plus d'énergie et au lieu d'exciter les atomes ils les ionisent, ce qui forme l'espace « sombre cathodique ». Dans cette région l'ionisation des atomes est prédominante. Les ions ayant une charge positive se déplacent lentement c'est pourquoi une importante zone de charges positives se crée et le courant est plutôt transporté

par les ions. La région de « luminescence négative » qui suit la région sombre est due à l'excitation des atomes par les électrons qui ont été émis dans la procédure d'avalanche, surtout ceux à la fin de la couche cathodique où le champ électrique n'est plus très fort. Ce champ électrique étant faible, ces électrons ne gagnent plus assez d'énergie une fois qu'ils en ont cédé pour produire les photons. Il se crée alors la zone « sombre de Faraday ».

II.2.4.2. Décharge d'Arc

L'arc est également une décharge autoentretenu qui se produit dans les gaz à basse ou à haute pression sous une tension électrique souvent peu élevée. L'arc produit un courant de l'ordre de 1 A à 10^5 A, beaucoup plus élevé que la décharge luminescente. La caractéristique qui distingue ce type de décharge d'une décharge luminescente est que la chute de potentiel au niveau de la cathode est très faible et le niveau des charges positives au voisinage de la cathode est élevé, cela s'explique par le mécanisme d'émission à la cathode qui est une « émission thermoïonique », une « émission à effet de champ » ou une « émission à effet de champ thermoïonique » [31]. Ces mécanismes sont capables de générer à eux seuls la majeure partie du courant total de la cathode. Différents mécanismes d'arc existent selon la pression du gaz, pour certains la cathode est chaude à cause de la décharge ou d'une source externe, tandis que pour d'autres la cathode est froide.

Pour qu'un arc se déclenche entre deux électrodes, le plus simple est d'appliquer une tension assez forte ou de mettre les électrodes en contact direct et puis de les séparer lentement. En effet les points de contact sur les électrodes atteignant une température élevés, vaporise en partie le métal et déclenche l'émission. Au moment de la séparation des électrodes, l'arc se développe dans la vapeur de métal souvent plus facile à ioniser que l'air, puis dans l'air. Dans le cas d'électrodes fixes, il faut appliquer une tension plus forte que le seuil de rupture entre-électrode du gaz.

Contrairement à la décharge luminescente, la couche cathodique, outre l'autoentretien du courant, permet de maintenir la température de la cathode en apportant continuellement de l'énergie.

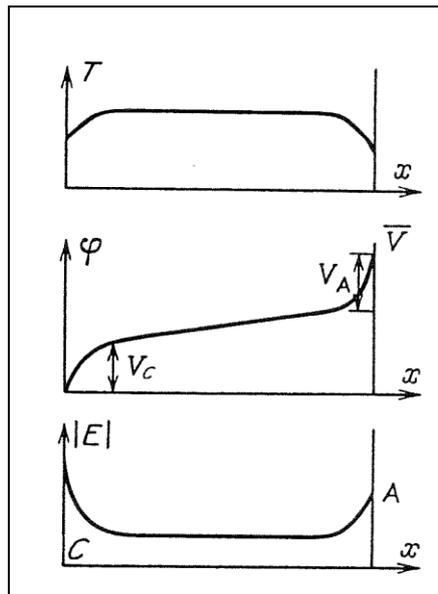


Figure 14 : Distribution de la température, du potentiel électrique, et du champ électrique lors d'un arc électrique [31].

La faible tension entre les électrodes lors de la décharge s'explique par les forts courants électroniques et ioniques au voisinage de la cathode. Si le spectre d'émission d'une décharge lumineuse coïncide avec celui du gaz, celui d'une décharge correspond au spectre du métal vaporisé. La figure 14 montre les variations de la température, du champ électrique et du potentiel électrique entre l'anode et la cathode pendant une décharge d'arc.

II.2.4.3. Décharge étincelle

Les décharges lumineuses et d'arc se produisent plutôt à basse pression. Quand la pression du gaz augmente la génération de la décharge devient difficile. L'étincelle est une des décharges qui se produit à pression atmosphérique ou à pression plus élevée, entre deux électrodes séparées par une distance de l'ordre du centimètre. Dans ce cas $pd > 1$ bar.cm et la tension nécessaire pour la décharge va d'une dizaine à quelques centaines de kiloVolts. Cette décharge est rapide, transitoire et instable. Elle est lumineuse et accompagnée d'un son intense.

Le minimum de tension nécessaire pour la décharge étincelle dépend de la distance inter-électrodes, de la pression du gaz, de la température et de l'humidité. Cette décharge se produit

dans un champ électrique uniforme, entre deux électrodes planes parallèles, ou dans un champ fortement divergeant en géométrie pointe-plan ou fil-cylindre par exemple. Lorsque le champ est non uniforme une décharge Corona précède l'étincelle.

II.2.4.4. Décharge Corona

La décharge Corona est souvent observée aux pressions proches de la pression atmosphérique. C'est une décharge hors-équilibre avec une faible intensité de courant. La figure 15 montre la courbe de caractéristique courant-tension des décharges à haute pression et en champ inhomogène.

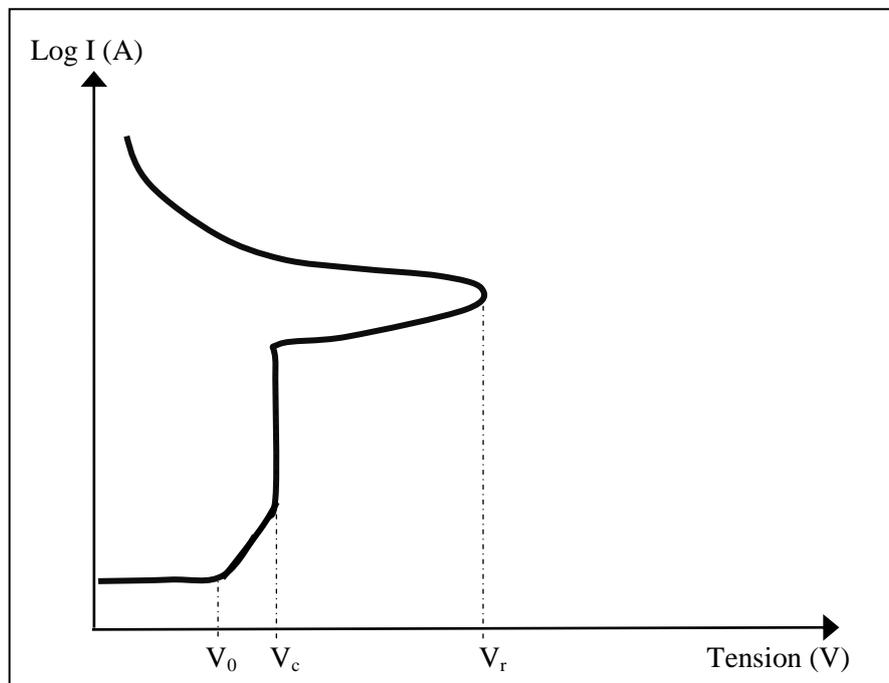


Figure 15 : Caractéristique tension-courant des décharges à hautes pressions.

Les décharges depuis la collection des électrons germes jusqu'à la transition à l'arc sont représentées. La tension V_0 correspond au seuil des premières ionisations ayant lieu dans l'espace inter-électrodes, V_c au seuil de l'effet Corona et V_r à la transition à l'arc électrique.

En dessous de V_c le courant est très faible. Intéressons nous à la portée de la courbe légèrement au dessus de V_c . Cette partie de courbe courant-tension est agrandie sur la figure 16.

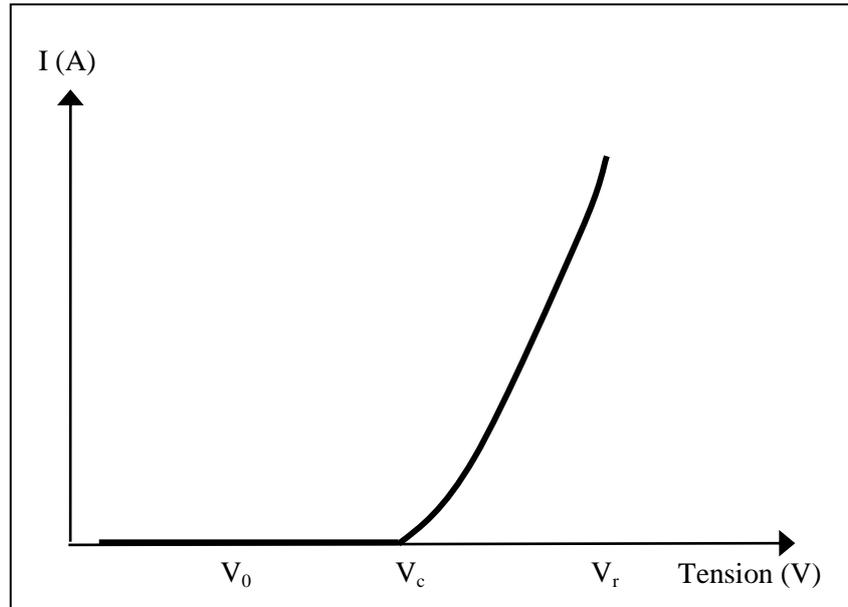


Figure 16 : Caractéristique courant-tension au voisinage du seuil de l'effet Corona.

La forme de cette courbe caractéristique a été l'objet de plusieurs études [37, 38]. On considère généralement deux suppositions. La première est que les particules chargées dans la chambre de détection sont toutes de même signe. Ici on les considère positivement chargées ce qui correspond au cas d'une décharge Corona positive. La deuxième est que la diffusion des particules chargées est négligeable. On en déduit l'expression (19) de la densité de courant totale \vec{j} dont la divergence (20) est nulle.

$$\vec{j} = \rho \mu \vec{E} \quad (19)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0 \quad (20)$$

La valeur de la mobilité moyenne des ions positifs est donnée par différents auteurs [39, 40], et la densité de charge ρ s'écrit de la manière suivante :

$$\rho = \nabla V \nabla \rho / \nabla^2 V \quad (21)$$

Le remplacement de cette valeur de ρ dans l'équation de Poisson permet d'obtenir.

$$(\nabla^2 V)^2 - \nabla V \nabla (\nabla^2 V) = 0 \quad (22)$$

L'équation (22) est l'équation de base qui gouverne la région de dérive quand on considère que la mobilité des ions est constante et indépendante du champ électrique. La figure 17 montre les zones d'ionisation et de dérive dans des géométries cylindrique et fil-plan. La résolution de l'équation (22) en supposant que le courant sur la cathode est seulement dû aux ions positifs collectés est décrite par Thompson [38] et Townsend [41] en utilisant des conditions limites appropriées à l'effet Corona. Pour une géométrie cylindrique la relation entre le champ électrique et le courant dans la zone de dérive est donnée par [42] :

$$(rE(r))^2 - (R_c E_c)^2 = \frac{I}{2\pi\mu\epsilon_0} (r^2 - R_c^2) \quad (23)$$

où $E(r)$ est le champ électrique, I est le courant par unité de longueur du cylindre, μ est la mobilité moyenne des ions, ϵ_0 est la permittivité de l'air et R_c et E_c représentent la limite de la zone d'ionisation et le champ électrique à cette limite. Ce champ électrique correspond au minimum de champ ionisant où bien au seuil de déclenchement de l'effet Corona. L'équation (23) est souvent utilisée pour trouver la loi courant-tension pour l'effet Corona. Townsend [41] a établi pour la première fois cette loi avec quelques suppositions classiques :

$$I = C\mu V(V - V_c) \quad (24)$$

V_c étant la tension de déclenchement et C une constante dépendant de la géométrie des électrodes. Dans une géométrie cylindrique par exemple $C = 8\pi\epsilon_0/R^2 \ln(R/R_0)$ où R et R_0 sont les rayons des cylindres extérieur et intérieur respectivement.

La décharge Corona nécessite des tensions qui dépendent de conditions spécifiques. Si la tension est trop élevée, une décharge étincelle se produit. La décharge Corona est initiée dans une géométrie de champ électrique fortement divergent. Le champ dépasse localement la limite d'ionisation du gaz au voisinage de l'électrode ayant le plus petit rayon de courbure (électrode active). La zone d'ionisation autour de l'électrode active ne s'étend pas très loin, car le champ électrique décroît très rapidement en s'éloignant de l'électrode active, rendant impossible l'ionisation du gaz. En dehors de cette zone d'ionisation, le champ électrique n'est plus assez fort pour soutenir l'ionisation du gaz, mais il sert à l'entraînement des charges. C'est la zone de dérive qui s'étend jusqu'à l'autre électrode. Les charges de même polarité que l'électrode active créées dans la zone de décharge entre dans la zone de dérive où elles se

dispersent sous l'effet de la force de coulomb et se dirigent vers l'autre électrode, nommée électrode passive où les charges sont collectées.

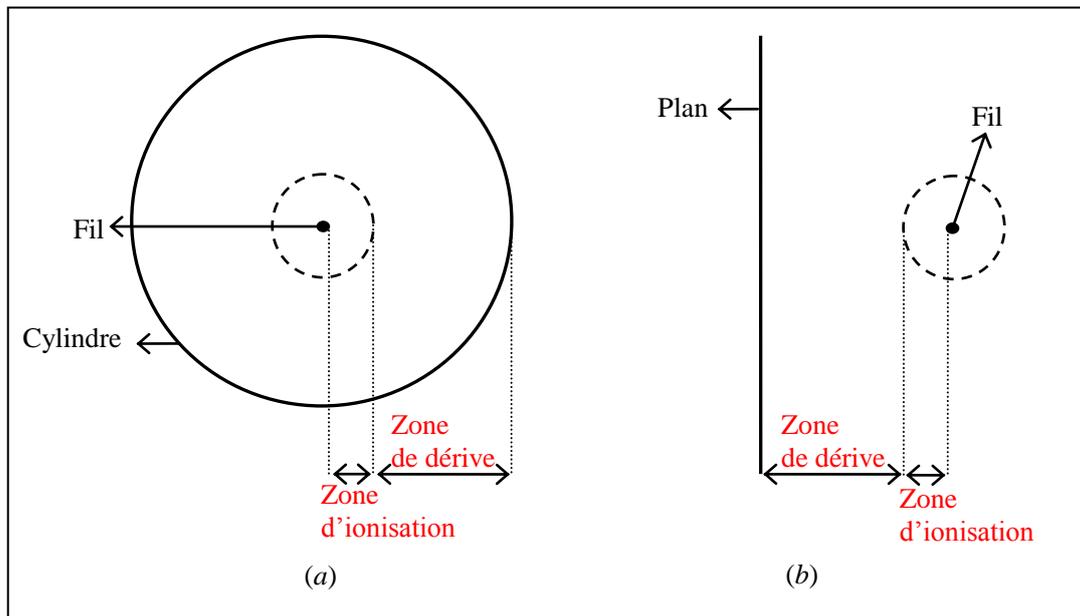


Figure 17 : Zones d'ionisation et de dérive dans des géométries cylindrique (a) et fil-plan (b).

Selon la polarité de l'électrode active, une décharge Corona peut être soit positive, soit négative. On parle de Corona positif ou de Corona négatif selon la polarité de l'électrode active. La physique de ces deux types de décharge est très différente du fait de la différence de masse entre les électrons et les ions. En effet seuls les électrons ont la possibilité de générer un degré d'ionisation significatif par collisions inélastiques à température ambiante et pression atmosphérique.

Distribution de champs pour les cas simples

Pour les géométries simples on peut trouver la solution exacte du champ électrique dans l'espace inter-électrodes. En l'absence de charge d'espace, l'équation (25) donne l'expression du champ électrique E en géométrie pointe plan, lorsque le plan est à la masse et que le potentiel V est appliqué à la pointe, le long de l'axe de symétrie x [31, 43].

$$E(x) = 2V / (2x + r) \ln \left[\frac{2d+r}{r} \right] \quad (25)$$

$$E_{max}(x) \approx 2V/r \ln[2d/r] \quad (26)$$

avec d la distance inter-électrodes, r le rayon de courbure de la pointe et x l'abscisse du point considéré par rapport à l'extrémité de la pointe prise comme origine.

Dans une configuration cylindrique où un fil de rayon r au potentiel V est entouré par un cylindre de rayon R à la masse, le champ électrique dans l'espace inter-électrodes à une distance x de l'axe est donné par [31].

$$E(x) = V/[x \ln (R/r)] \quad (27)$$

$$E_{max} = V/[r \ln (R/r)] \quad (28)$$

Enfin pour un fil de rayon r au potentiel V situé à distance d d'une plaque à la masse, le champ électrique dans espace inter-électrodes et le champ maximum sur le fil sont données par les équations (29) et (30).

$$E(x) = 2dV/x(x - 2d) \ln \left[\frac{2d-r}{r} \right] \quad (29)$$

$$E_{max} = V/[r \ln (2d/r)] \quad (30)$$

Déclenchement d'une décharge Corona

Supposons un circuit contenant un système d'électrodes fortement dissymétrique. Si la tension V appliquée entre les électrodes est plus petite que la tension seuil V_c de déclenchement de la décharge Corona, un courant non auto-entretenu de l'ordre de 10^{-14} A est détecté dans le circuit. Ce courant est créé par le rayonnement cosmétique et la radioactivité naturelle. Dans l'air et au niveau de la mer, environ 10 paires d'ions par cm^3 sont créés toutes les secondes, ce qui donne un nombre d'ions d'environ 10^3 par cm^3 dans un état stable.

Si $V > V_c$ la décharge Corona est initiée et se manifeste par une couche (de faible luminosité) et un saut de courant de décharge important. Les conditions nécessaires pour créer une décharge Corona dépendent des mécanismes physiques de génération des électrons dans la

région d'ionisation. Le mécanisme de multiplication des électrons dépend essentiellement de la polarité de l'électrode active. Dans une décharge Corona négative, la multiplication d'avalanche et l'émission secondaires due à la cathode et probablement la photo-ionisation dans le gaz sont des sources d'électrons. En principe, le déclenchement de la décharge Corona négative n'est pas différente de celui de la décharge Townsend [31]. Le critère de déclenchement qui inclut aussi les champs non-uniformes prenant en considération l'effet d'attachement est donné par l'équation (31) [31] :

$$\int_0^{x_1} [\alpha(x) - a(x)] dx = \ln(1 + \gamma^{-1}) \quad (31)$$

où α et a sont des coefficients d'ionisation et d'attachement, et γ est le coefficient d'émission secondaire.

La région d'ionisation s'étend de la surface de la cathode jusqu'au point x_1 où $\alpha = a$ et la multiplication des électrons s'arrête. Dans les gaz sans attachement, cette intégrale peut s'étendre jusqu'à l'anode mais en pratique puisque le champ électrique baisse très rapidement en s'éloignant de la cathode, l'ionisation s'arrête. Dans un gaz électronégatif il n'y a pratiquement pas d'électrons au-delà de la région d'ionisation, car tous les électrons forment des ions négatifs après avoir parcouru une petite distance.

Si l'électrode active est l'anode, la cathode ne peut pas participer à l'émission secondaire d'électron. La multiplication des électrons se fait uniquement par photo-processus secondaire dans le gaz autour de l'électrode active. Contrairement à la décharge Corona négative, les critères de déclenchement de la décharge positive dépendent de la condition de formation de canaux [31].

$$\int_0^{x_1} (\alpha - a) dx \approx 18 - 20 \quad (32)$$

Les coefficients α et a dépendent très fortement du champ électrique. Il a été empiriquement montré que les tensions de déclenchement des décharges Corona positive et négative sont peu différentes. Dans certains gaz comme l'air, V_c est légèrement inférieur pour la décharge Corona négative.

Seuil de déclanchement dans l'air

Le seuil de l'apparition de l'effet Corona a été étudié depuis très longtemps. Plusieurs expressions empirique [44], semi-empirique [45] et théoriques [46, 47] ont été proposées. Toutes les expressions proposées expriment le seuil de déclanchement d'une décharge Corona sous la forme :

$$E_c = A(1 + B/r_0^\beta) \quad (33)$$

où A , B et β sont des constantes et r_0 le rayon de l'électrode active.

En 1929 Peek a établi pour la première fois l'équation empirique (34) pour estimer le seuil de déclanchement d'une décharge Corona dans l'air sec et en tension alternative. Cette expression peut être utilisée dans le cas d'une géométrie cylindrique ou fil-plaque où la tension appliquée au fil est alternative [44] :

$$E_c = 3 \times 10^6 \eta \left(\delta + 0,03 \sqrt{\frac{\delta}{r}} \right) \quad (34)$$

Dans cette expression E_c est calculé en V/m, r est le rayon du fil en mètre, η est un coefficient sans dimension qui dépend de la rugosité de surface d'électrode ($\eta = 1$ pour une surface lisse et $\eta < 1$ pour une surface rugueuse) et δ est la densité relative de l'air ($\delta = T_0 P / TP_0$), où T_0 et P_0 sont respectivement la température et la pression de référence (293 K et 101,325 Pa).

Au seuil d'apparition de l'effet Corona la configuration du champ reste laplacienne (charge d'espace négligée), la tension de déclanchement est ainsi obtenue par les équations (28) et (30) pour des géométries fil-cylindre et fil-plaque en remplaçant E_{max} par E_c ce qui donne $V_c = rE_c \ln(R/r)$ et $V_c = rE_c \ln(2d/r)$ respectivement.

Zaleski [48] a établi en 1948 une autre loi empirique en géométrie cylindrique, mais en tension continue qui diffère de la précédente par les valeurs des constantes A , B , β .

$$E_c = 2,4 \times 10^6 \left(1 + \frac{0,613}{r^{0,4}} \right) \quad (35)$$

Le seuil de déclenchement qui est souvent considéré constant dépend pourtant de l'humidité et de la température du gaz. Dans un développement récent Hartmann [47] a montré la dépendance de E_c à l'humidité absolu (H_a) et à la densité de l'air (δ) selon :

$$E_c(\delta, H_a) = E_c(1,0)\delta(1 + \alpha_H\sqrt{H_a}) \quad (36)$$

Où $E_c(1,0)$ est le seuil dans l'air sec et $\alpha_H = 16,03 \times 10^{-3}(g/m^3)^{-1/2}$, $\delta = 1$ pour $T = 293$ K et $P = 101,325$ Pa.

II.2.5. Choix d'une source d'ion

Parmi les différentes méthodes de génération de charges présentées dans les sous-sections précédentes, toutes ne sont pas utilisables pour la réalisation d'un détecteur de fumée. Les paramètres importants sont :

- (1) la consommation du détecteur qui ne doit pas être très élevée car un détecteur de fumée doit fonctionner avec une pile pendant plus d'un an.
- (2) la vitesse des charges générées doit être suffisamment faible pour garantir une bonne interaction avec la fumée.
- (3) le principe physique utilisé doit être facile à mettre en œuvre.
- (4) le coût de fabrication ne doit pas être élevé.

La génération de charges par effet de champ est une méthode pour laquelle l'amplitude du champ électrique joue un rôle important. Supposons une géométrie fil-cylindre dans laquelle le fil est à la tension V et le cylindre à la masse. Le champ électrique sur le fil est donné par l'équation (28) et la densité de courant d'électrons résultante à la température zéro, est donnée par (8). La figure 18 montre le champ électrique d'interface d'une géométrie cylindrique pour des fils d'or portés à 2 kV et un cylindre de 18 mm de diamètre à la masse. Sur la courbe

quatre valeurs de champ électrique sont marquées pour quatre rayons de courbure de fil différents, $r = 10 \text{ nm}$, 100 nm , $1 \text{ }\mu\text{m}$ et $10 \text{ }\mu\text{m}$.

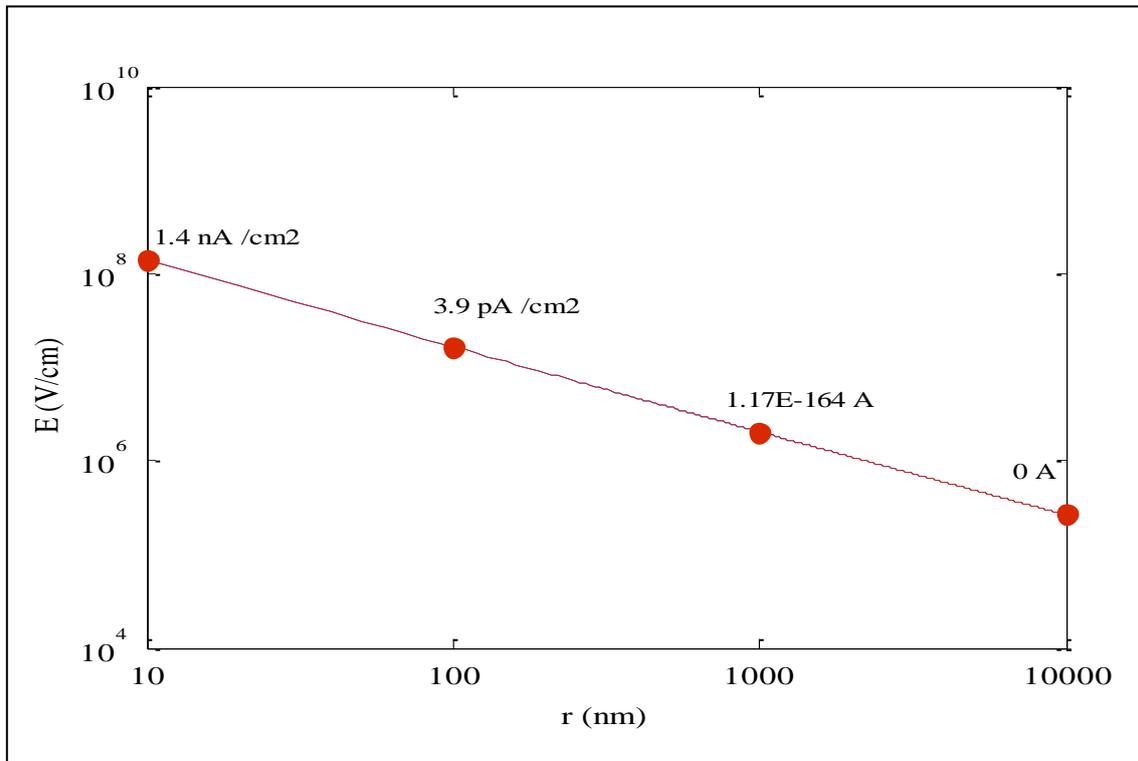


Figure 18 : Champ électrique d'interface dans une géométrie cylindrique et courant par effet de champ attendu.

Les valeurs de la densité de courant sont indiquées à côté de ces quatre rayons. On constate que pour un fil de 100 nm de rayon, la densité de courant est de l'ordre de 4 pA/cm^2 un courant raisonnable pour la détection de fumée. Si on augmente le rayon de fil à $1 \text{ }\mu\text{m}$ le courant est presque nul. Ainsi la méthode d'émission par effet de champ peut être une bonne source de charges si le rayon de courbure des électrodes est nanométrique ou si on applique des tensions encore plus élevées. Cette dernière possibilité n'est pas compatible avec une diminution de la consommation électrique.

En ce qui concerne l'émission thermoïonique, pour la même géométrie que l'exemple précédant pour un fil de $12,5 \text{ }\mu\text{m}$ de rayon, de 5 cm de longueur et chauffé à 1300 K , la densité de courant générée est de l'ordre de 2 nA/m^2 . La consommation est en revanche d'au moins $0,63 \text{ W}$ qui correspond uniquement à la puissance rayonnée par le fil chaud. Cette

consommation, calculée par la loi de Stefan-Boltzmann, est déjà trop élevée pour une application aux détecteurs de fumée.

L'utilisation d'une source photo-ionique pour générer des charges nécessite au moins une électrode ayant un travail de sortie aussi faible que possible. Compte tenu des métaux utilisables et des longueurs d'onde de sources lumineuses simples, donc peu chères telles que les diodes électroluminescentes, la source photo-ionique semble un candidat raisonnable pour le remplacement des sources radioactives des détecteurs ioniques de fumée.

Quant à la génération de charges par décharge électrique, il convient de discuter de chacun des phénomènes utilisables. Evidemment seules les décharges déclenchables à la pression atmosphérique, autoentretenues et contrôlables peuvent être utilisées pour la détection de fumée. C'est pourquoi la décharge luminescente nécessitant une pression relativement basse n'est pas discutée ci-après.

La décharge d'Arc produit un courant très important. Cependant l'arc n'est pas une source de charges adéquates pour un détecteur de fumée car elle est difficile à contrôler, rapide et produit des électrons de très grande vitesse.

Il en est de même pour l'étincelle qui produit également une décharge rapide, transitoire et instable. De plus la tension nécessaire pour le déclenchement de cette décharge est très élevée.

La décharge Corona qui précède l'étincelle dans une géométrie non uniforme semble avoir toutes les caractéristiques d'une source de charges utilisable pour un détecteur ionique de fumée. C'est en effet une décharge qui se produit à la pression atmosphérique sous une tension appliquée modérée de l'ordre du kiloVolt. Cette tension dépend de la géométrie de la chambre d'ionisation et du rayon de courbure de l'électrode active. C'est en plus une décharge autoentretenu et facile à contrôler.

Finalement deux types de source de charges alternatives ont été choisis pour l'étude d'un détecteur ionique de fumée, une source photo-luminescente et une source Corona. L'utilisation de ces deux types de source fait l'objet des trois chapitres suivants.

Chapitre III

Source de charges photoélectrique

Dans ce chapitre un prototype de capteur de fumée utilisant une source de charges photoélectrique est étudié. Ce capteur contient une chambre d'ionisation comme celle utilisée dans tous les capteurs ioniques. Elle comprend deux électrodes métalliques polarisées sous une faible tension pour générer un champ électrique de dérive. Les charges sont générées par un effet photoélectrique à partir de l'électrode négative (cathode). La source de photon nécessaire à la création des charges est installée à côté de l'électrode de polarité positive. Elle génère des photons d'une énergie suffisante pour qu'ils puissent extraire les électrons de la cathode. La puissance de la source lumineuse doit être suffisante pour créer un courant électronique assez élevé dans la chambre d'ionisation. Quant à la cible, elle doit être d'un métal dont les électrons sont faciles à extraire. Le fonctionnement général du capteur reste le même. Lorsque des particules de fumée passent entre les électrodes, elles s'attachent aux charges les rendant beaucoup plus lourdes, leur vitesse de dérive et donc le courant mesuré diminue alors en conséquence.

III. 2. Conductivité dans la chambre de détection

Une fois les charges photo-induites sorties de l'électrode, elles sont soumises aux conditions électriques de la chambre d'ionisation. Le courant résultant n'est donc pas directement donné par l'équation (14), cette dernière expression ne donnant que le courant maximal utilisable. En supposant un rendement quantique de 1 et que chaque électron arrive à se fixer sur une molécule de l'air, on peut déterminer le courant électronique de départ dans l'espace inter-électrodes en calculant le nombre de photons arrivant sur la cible. Soit P la puissance de la source lumineuse et S la surface éclairée de la cible. Le flux lumineux émis est donc $\Phi = P/S$. On a donc une densité surfacique d'électron N générée chaque seconde à la surface de la cible $N = \Phi/h\nu$. On peut introduire un facteur de proportionnalité C constant dépendant du spectre de la source lumineuse. On en déduit la densité de courant sortant de la cathode vers la chambre.

$$J_0 = -eCN \cong -eC \frac{\Phi}{h\nu} \quad (37)$$

en multipliant par la surface éclairée on obtient l'expression du courant I_0 .

$$I_0 = -eC \frac{\Phi}{hv} S \quad (38)$$

Ce courant se modifie en passant à travers l'espace inter-électrodes qui est considérée comme la chambre de détection, à cause du champ électrique et des interactions entre les particules.

On note la masse des particules chargées résultantes m_a et leur rayon r_a . La différence de potentiel ΔV appliquée aux électrodes séparées de la distance d crée un champ électrique \vec{E} dirigé de l'anode vers la cathode. La force électrostatique d'entraînement \vec{F}_e et la force de frottement \vec{F}_f que subissent les ions négatifs dans l'espace inter-électrodes sont :

$$\vec{F}_e = q\vec{E} = \frac{-e\Delta V}{d} \hat{x} \quad (39)$$

$$\vec{F}_f = -c\xi r_a \vec{v} = -c\xi r_a \frac{dx}{dt} \hat{x} \quad (40)$$

où q est la charge électrique, \hat{x} est vecteur unitaire dirigé de l'anode vers la cathode, ξ est la viscosité de l'air à température ambiante et c une constante.

La force F_f dépend linéairement à la vitesse \vec{v} lorsque le nombre de Reynold est faible [50]. Cela est le cas des particules de diamètre inférieur à 10 μm à basse vitesse dans l'air. La somme des forces appliquées à la particule chargée est donc :

$$\Sigma \vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_f = -eE\hat{x} - c\xi r_a \frac{dx}{dt} \hat{x} = m_a \frac{d^2x}{dt^2} \hat{x} \quad (41)$$

On en déduit l'expression (42) de la vitesse des particules chargées où la vitesse maximale $\vec{v}_{\max} = -eE\hat{x}/c\xi r_a$ et le temps caractéristique est $\tau = m_a/c\xi r_a$.

$$\vec{v} = \vec{v}_{\max}(1 - e^{-t/\tau}) \cong \vec{v}_{\max} \quad (42)$$

On peut considérer la vitesse des particules chargées constante car la constante de temps τ est en général très petite. A titre d'exemple la viscosité de l'air à 0°C est de $\xi = 17,1 \times 10^{-6}$ Pa.s et la masse m_a est comprise entre 10^{-26} et 10^{-25} kg/molécule pour des particules

d'air de rayon r_a de l'ordre de 1 nm [51]. On en déduit une constante de temps τ d'environ 0,1 ns qui est un temps extrêmement court.

La vitesse d'une particule chargée dans un champ électrique auquel elle est soumise est donnée par l'équation (43) où μ est la mobilité électrique des particules chargées que l'on suppose indépendante de E .

$$v = \mu E \quad (43)$$

Par identification avec la solution de (41), on obtient pour la mobilité μ :

$$\mu = -e\tau/m_a \quad (44)$$

La densité de courant mesurée sur l'anode dépend de la vitesse des particules chargées, mais également de leur densité. On obtient :

$$J = n\tau e^2 E / m_a \quad (45)$$

et donc la conductivité de gaz est :

$$\sigma = n\tau e^2 / m_a \quad (46)$$

L'expression de la conductivité donnée par l'équation (46) est dans l'hypothèse où l'on est en présence d'un gaz pur ionisé. Supposons qu'il y ait k genres de particules de gaz dans l'atmosphère ayant des mobilités et concentrations différentes, la conductivité apparente s'exprimerait selon :

$$\sigma = -e \sum_{i=1}^k n_i \mu_i \quad (47)$$

On constate que la conductivité varie en fonction de la concentration des particules chargées, de la charge portée par chaque particule, de la masse des particules et de la constante de temps représentant la durée moyenne entre deux chocs. On constate que les paramètres

thermodynamiques jouent aussi un rôle important au travers des chocs entre les particules chargées.

III.3. Etude d'un prototype expérimental

Le principe d'un détecteur photoélectrique est montré schématiquement sur la figure 19. Une source de lumière ultraviolette convenablement placée envoie des photons sur la surface d'une cible en hafnium. Les photons absorbés par la cible (cathode), libèrent des électrons dans l'espace inter-électrodes qui suivent le champ électrique jusqu'à l'anode placée en face. Contrairement à la cible dont la matière doit avoir des propriétés photoélectriques particulières, le matériau de l'anode n'a pas d'importance car il ne joue que le rôle de collecteur de charges. L'anode est par exemple une plaque de cuivre (Cu) reliée à un potentiel plus élevé que celui de la cible. Pour créer un courant photo-induit continu, le champ électrique d'entraînement est généré par une alimentation stabilisée. Les ions arrivés à l'anode libèrent leur charge, ce qui crée un petit courant permanent mesurable par un électromètre.

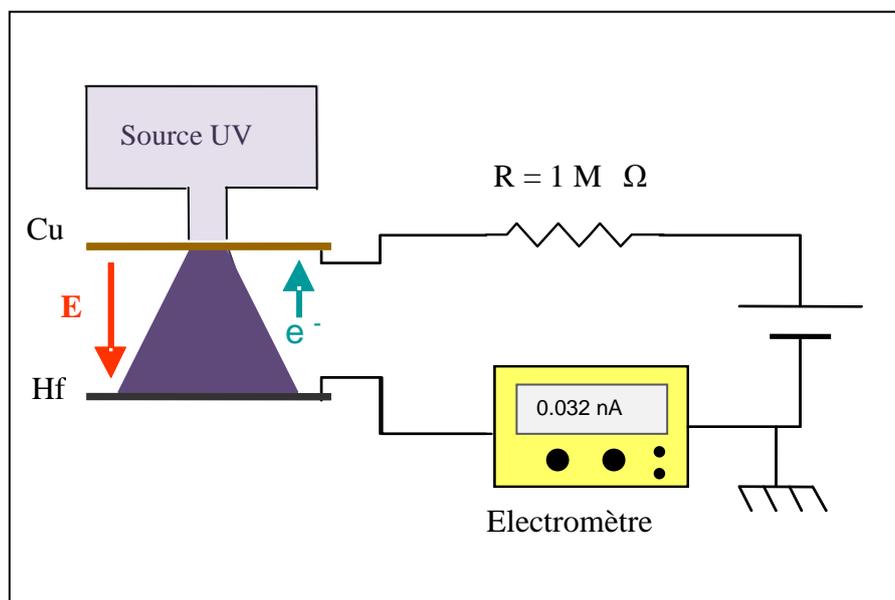


Figure 19 : Schéma de principe du fonctionnement d'un détecteur de fumées à effet photoélectrique.

La taille des particules de fumée est environ mille fois plus grande que celle des particules d'air. Ainsi en présence de fumée dans l'espace inter-électrodes, les ions se lient aux particules de fumée présentes ce qui forme des particules chargées beaucoup plus grosses et

lourdes. Par conséquent, la mobilité des ions chute brutalement entraînant du coup une hausse du nombre de recombinaisons et une diminution significative du courant.

La figure 20 montre le système de mesure réalisé au laboratoire. Deux électrodes parallèles sont séparées d'une distance réglable de 6 mm à 20 mm à l'aide d'une platine micro contrôle. Cela permet un réglage précis à 10 μm de l'espace inter-électrodes. L'anode est un disque en cuivre de 90 mm de diamètre. La source de tension continue utilisée est une alimentation stabilisée TEKTRONIX, modèle PS280. L'appareil de mesure pour mesurer le courant photo-induit est un électromètre KEITHLEY INSTRUMENTS modèle 600B ELECTROMETER. Le signal mesuré par l'électromètre est transmis par un câble blindé à un oscilloscope de type TEKTRONIX modèle TDS 3012, puis vers un ordinateur de bureau via une liaison GPIB-USB de NATIONAL INSTRUMENT modèle GPIB-USB-B. Le capteur ainsi que l'électromètre sont placés dans une boîte métallique en acier qui joue le rôle de cage de Faraday pour éviter les bruits de l'environnement surtout ceux à 50 Hz provenant des alimentations électriques.

Afin d'acheminer la fumée jusqu'au capteur, c'est-à-dire entre les électrodes, un conduit a été installé dans la boîte métallique. A l'extérieur de la boîte, la fumée est guidée par un flexible de 2 m depuis la source. Ces deux conduits sont indiqués sur la figure 20. Le flexible a pour rôle de refroidir la fumée et en partie de la neutraliser afin de ne pas fausser les mesures. Pour certaines mesures particulières, une grille métallique est placée à l'entrée de la boîte et permet de collecter la quantité résiduelle de charges véhiculée par la fumée.

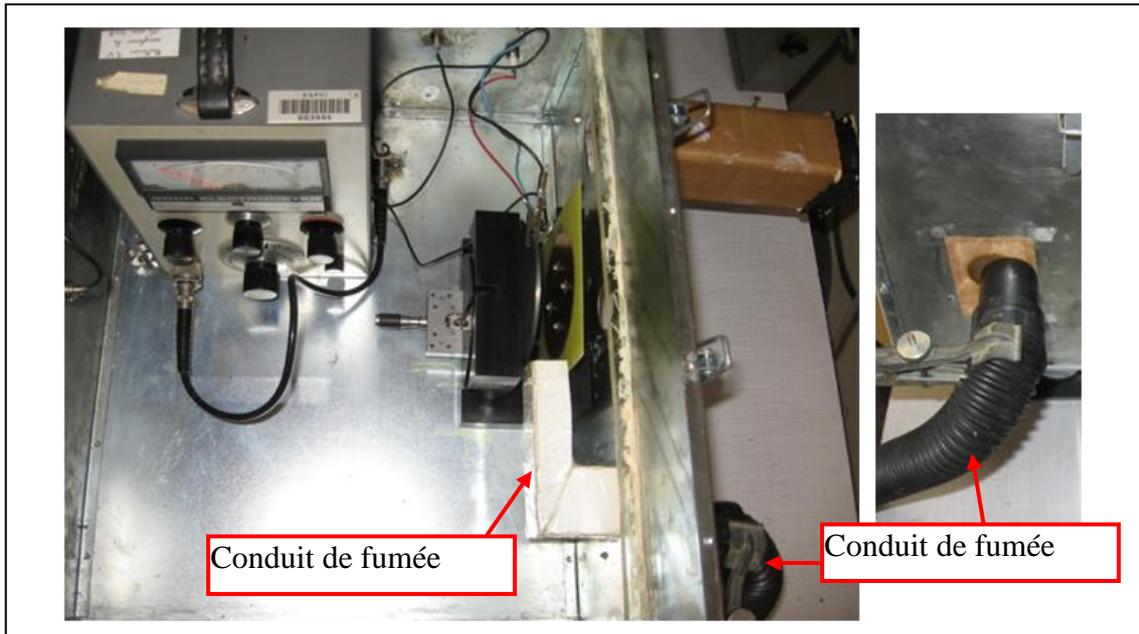


Figure 20 : Ensemble de la manipulation optique utilisée.

III.3.1 Cible

La cible des photons doit être choisie parmi des métaux ayant un faible travail de sortie. En effet plus le travail de sortie est faible et moins il faut de photons pour générer un courant donné.

Le tableau 5 donne le travail de sortie de quelques métaux ainsi que leurs avantages et inconvénients. Bien évidemment il faut choisir une cible qui ne s'oxyde pas facilement dans l'air et qui soit stable à température ambiante.

Pour le samarium (Sm) par exemple, avec un travail de sortie de $\varphi = 2,7$ eV, les photons incidents doivent avoir une fréquence supérieure à $\nu = 600$ THz et donc une longueur d'onde inférieure à $\lambda = 460$ nm d'après l'équation (12). Cette longueur d'onde est dans le bleu profond voire l'UV.

métal	travail de sorti ϕ (eV)	avantages	inconvénients
Ca	2,87	travail très faible	passivé par l'air sec, réagit violemment avec l'eau
Ce	2,9	travail très faible	passivé par l'air sec, réagit violemment avec l'eau
Cs	2,14	travail très faible	liquide à température ambiante ; à utiliser en alliage
Sm	2,70	travail très faible relativement	s'enflamme spontanément à 150°C
Na	2,75	travail très faible	s'oxyde lentement à l'air humide et réagit violemment avec l'eau
Tb	3,00	travail faible assez stable dans l'air	
Gd	3,10	travail faible	relativement stable en air sec. en air humide il se terni.
Y	3,10	travail faible Relativement stable en air	réduit en poudre ou copeaux, peut s'enflammer dans l'air
Mg	3,66		trop sensible à l'air.
Hf	3,90		en morceaux fins il prend feu spontanément en air.
Zr	4,05	résistance à la corrosion	en morceaux fins il prend feu spontanément en air.
Th	3,40		en état pur, il est stable en air. lentement attaqué par l'eau.
Cu	5,10		excellente conductivité électrique

Tableau 5 : Le travail de sortie de quelques métaux.

III.3.2 Source de photons

La source lumineuse choisie pour générer les photons est constituée de diodes électroluminescentes (LEDs) dans un premier temps. Des LEDs UV de référence LZ1-00UA05, de 4.40 mm de diamètre sont utilisées. Chaque LED a une puissance maximale de 5 W et une longueur d'onde comprise entre 405 nm et 410 nm ce qui leur permet de faire sortir des électrons d'une cible dont le travail de sortie est de moins de 3 eV.

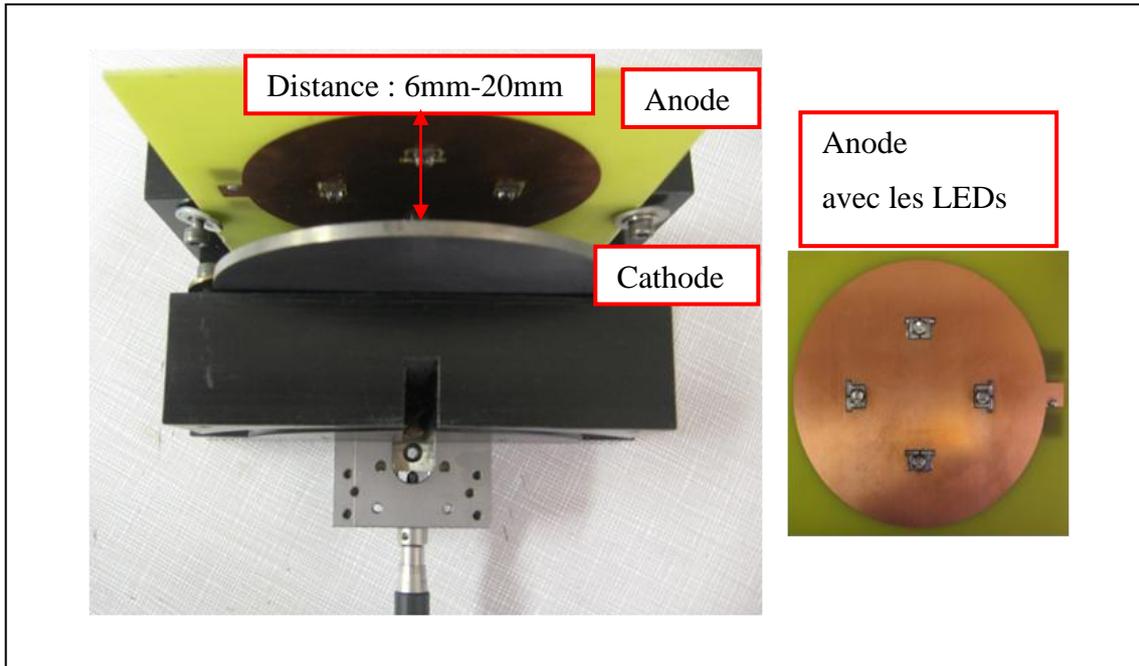


Figure 21 : Schéma du système de mesure utilisant des LEDs comme source de photons

La figure 21 montre l'emplacement des LEDs sur l'anode. Elles peuvent ainsi éclairer la cible avec le maximum d'éclairement. Les diodes sont en série deux à deux et sont alimentées par deux sources de courant indépendantes.

Lorsque la puissance des LEDs n'est pas suffisante ou lorsqu'on a besoin de longueurs d'onde plus petites, on utilise une lampe à UV de la marque ORIEL INSTRUMENTS modèle 68840 Deuterium Power Supply de puissance de 30 W dont le Spectre d'émission est donné sur la figure 22. Les longueurs d'onde des photons émis par cette source vont de 200 nm à 500 nm. Cela permet d'utiliser des cibles ayant un travail de sortie jusqu'à 6 eV environ.

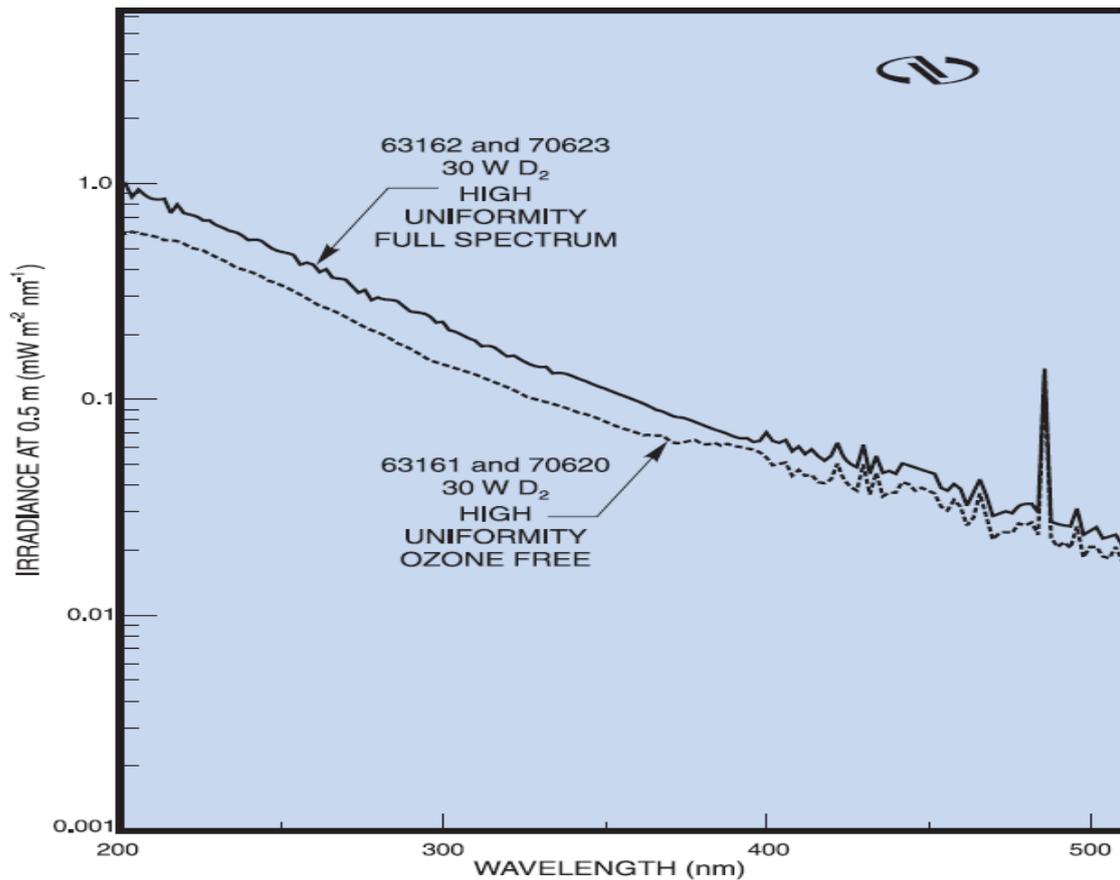


Figure 22 : Spectre d'émission de la lampe à ultraviolets utilisée pour les manipulations.

Lorsque la lampe est utilisée, celle-ci est positionnée derrière l'anode comme le montre la figure 23. La lumière passe par un trou au centre de l'anode après avoir traversé une lentille convergente et vient éclairer la cathode. La cible est un disque de 50 à 100 mm de diamètre d'un métal ayant un faible travail de sortie, de l'hafnium dans le cas de la figure 23.

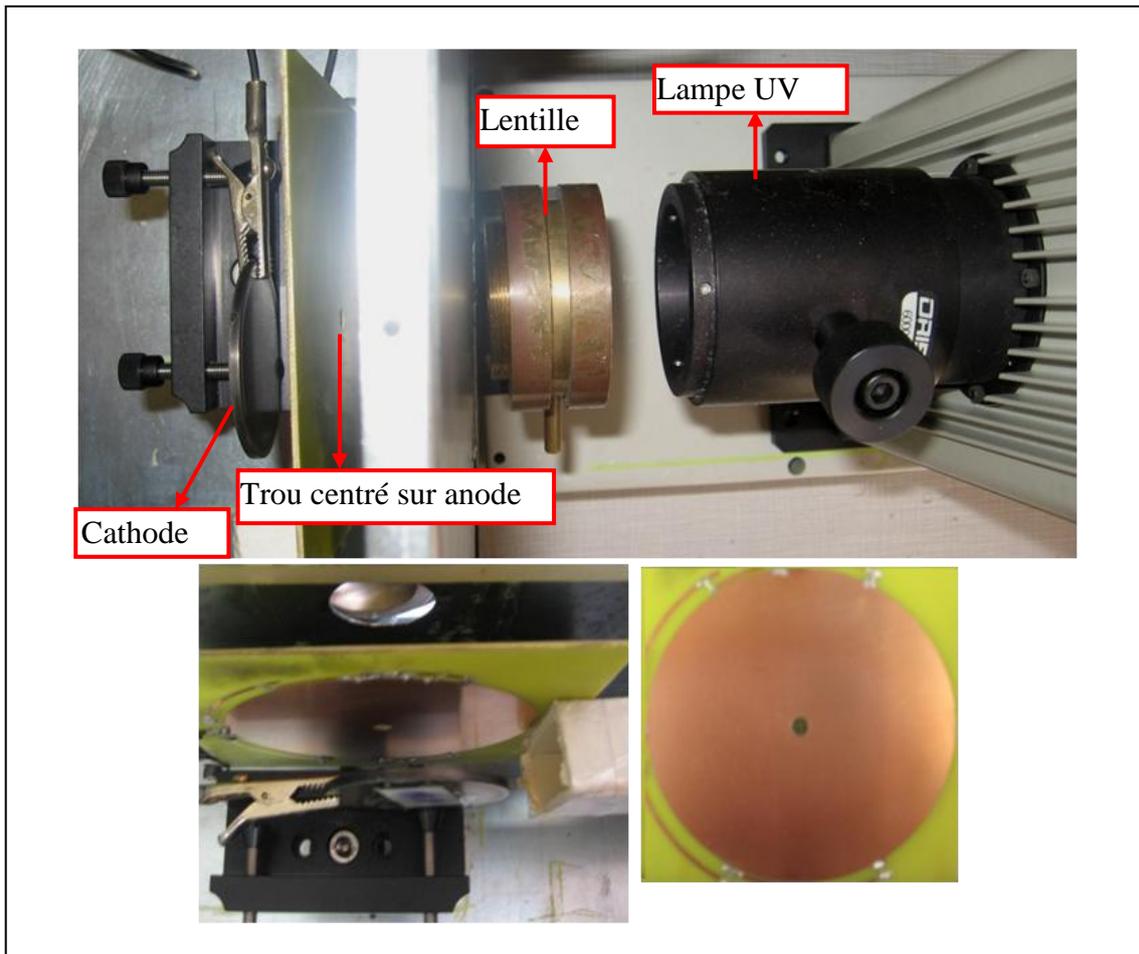


Figure 23 : Schéma du système utilisant une lampe à UV comme source de photons.

III.3.3. Source de fumée

Pour générer la fumée, différentes sources peuvent être utilisées. Selon la source utilisée la granulométrie de la fumée varie. La réponse des détecteurs de fumée aux différentes sources de fumée n'est pas similaire. Par exemple les détecteurs optiques sont plus sensibles à la fumée d'heptane qui est une fumée noire alors que les détecteurs ioniques sont plus sensibles à la fumée de bois par exemple qui est une fumée blanche.

Trois sources de fumée différentes ont été utilisées dans les mesures. Ces sources sont choisies pour leurs capacités à facilement générer beaucoup de fumée pendant les quelques minutes de mesure en toute sécurité. Les sources utilisées sont l'encens, de la mèche amadou qui est un champignon, ou des granulés composés de fleurs et de pailles de Lavande qui, une fois brûlé, dégagent beaucoup de fumée.

Pour connaître la granulométrie des particules de fumée créée par ces sources, on a utilisé un compteur de particules de référence HHPC-6 de la société Met-One. Cet appareil distingue six catégories de taille de particules et compte le nombre de particules dont la taille est située dans ces catégories.

La figure 24 et la figure 25 présentent la granulométrie des fumées utilisée pour les mesures. La figure 24 compare la granulométrie d'un mélange d'encens et de mèche amadou utilisé dans plupart des expériences avec celle de l'air ambiant. Cette figure comprend huit séries de mesures en présence de la fumée comparées avec une mesure sans fumée. On constate que le résultat des huit mesures est très similaire montrant la reproductivité des fumées générées.

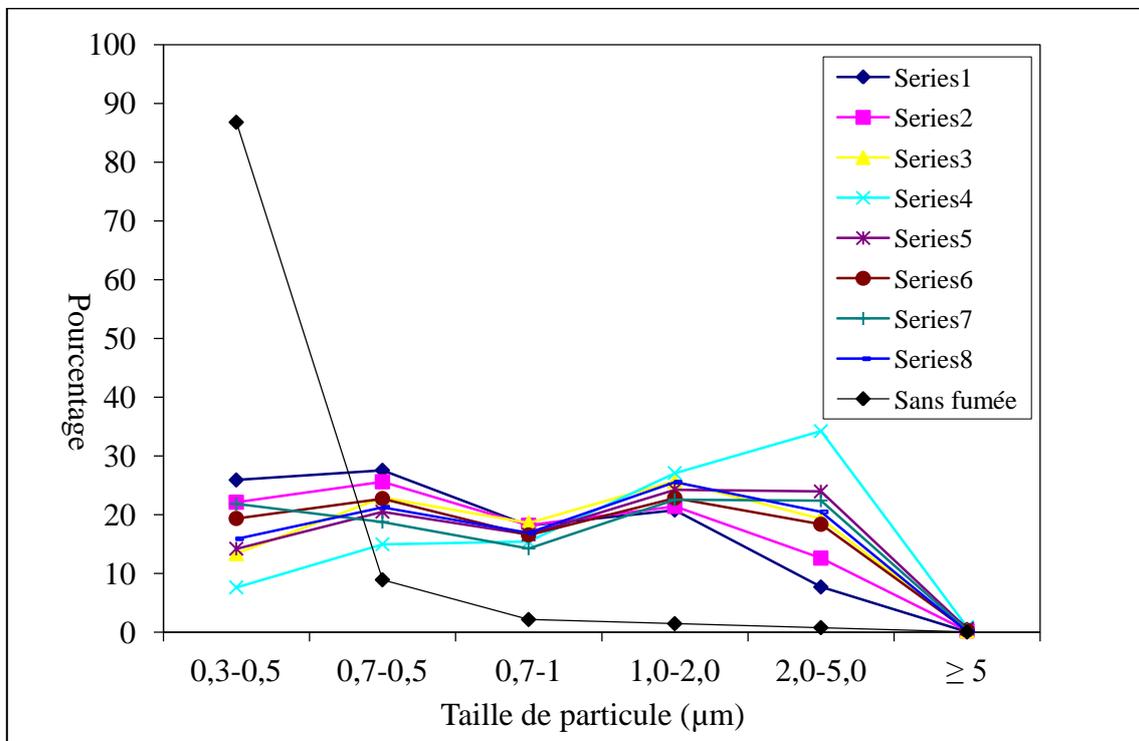


Figure 24 : Comparaison de la granulométrie de fumées créées par un mélange de l'encens et de mèche amadou avec la granulométrie de l'air ambiant.

La figure 25 compare la granulométrie de la fumée générée par des granulés composés de fleurs et de pailles de lavande avec celle de l'air ambiant. On constate que les grosses particules d'une taille supérieure à 1 ou 2 µm sont moins nombreuses dans le cas de la fumée de granulés de lavande et qu'en moyenne les particules sont plus petites.

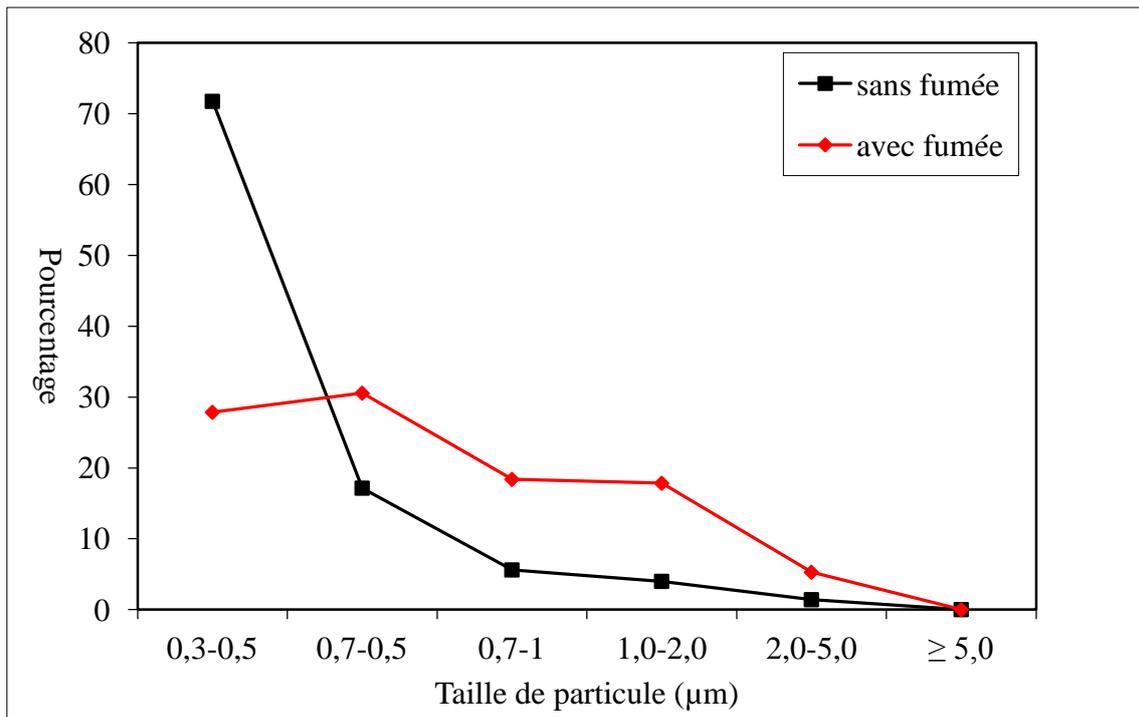


Figure 25 : Comparaison de la granulométrie de la fumée générée par des granulés composés de lavande avec celle de l'air ambiant.

La source de fumée est positionnée au début du tuyau qui conduit la fumée dans la boîte métallique contenant le système de mesure. Afin de créer une situation plus proche de la situation réelle, la fumée entre dans le détecteur soit par convection soit à l'aide d'un extracteur de bas débit. La vitesse de circulation de la fumée proche du détecteur est mesurée par un AM4204 Handheld Hotwire Anemometer. Cette vitesse est comprise entre 0 et 0,3 m/s selon la configuration de l'expérience.

III.4. Analyse des résultats

En se basant sur le tableau 5, le Samarium (Sm) semble une bonne cible pour sa stabilité dans l'air et son faible travail de sortie. Avant de voir l'effet de la fumée sur le capteur, on vérifie que le courant électrique généré par effet photoélectrique dans le circuit produit par l'éclairage de la cathode par les LEDs est de quelques dizaines de femto-Ampères. La figure 26 montre le courant dû à une, ou deux LEDs et en appliquant une tension de 5 V entre les électrodes de la chambre d'ionisation. On voit que le courant est divisé par 2 en éteignant une LED. Le courant photo-induit est ici de l'ordre de 25 fA par LED.

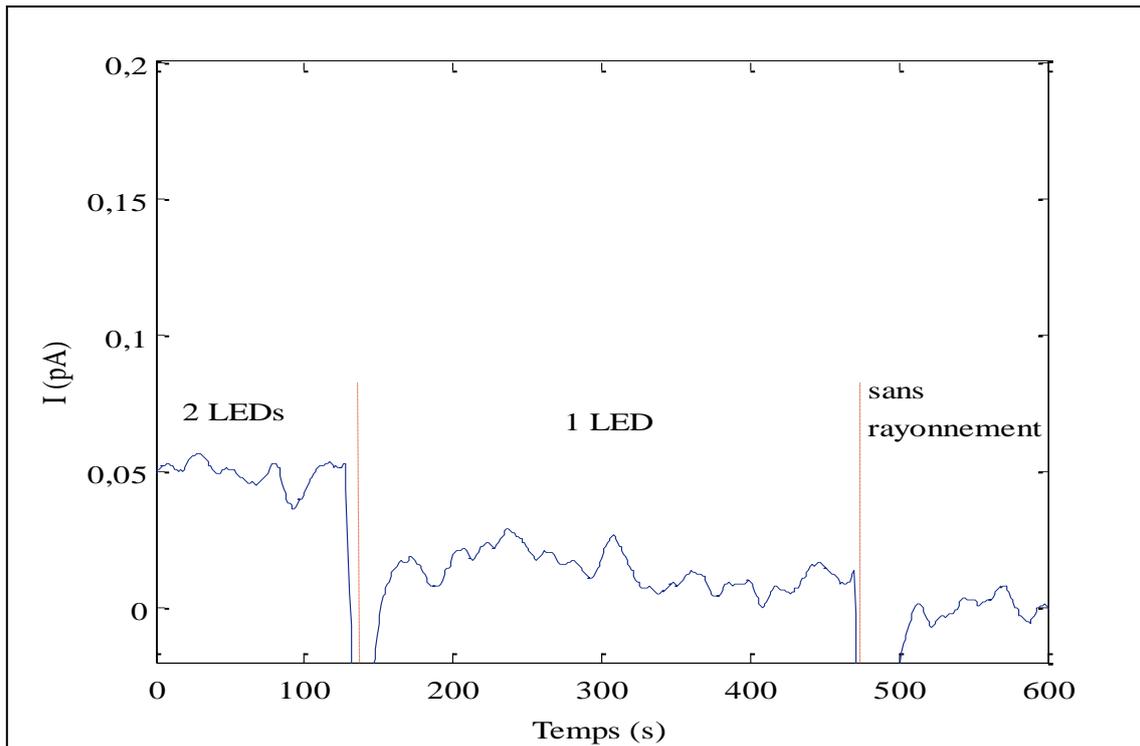


Figure 26 : Courant électrique sans rayonnement comparé au courant dû au rayonnement d'une ou deux LEDs.

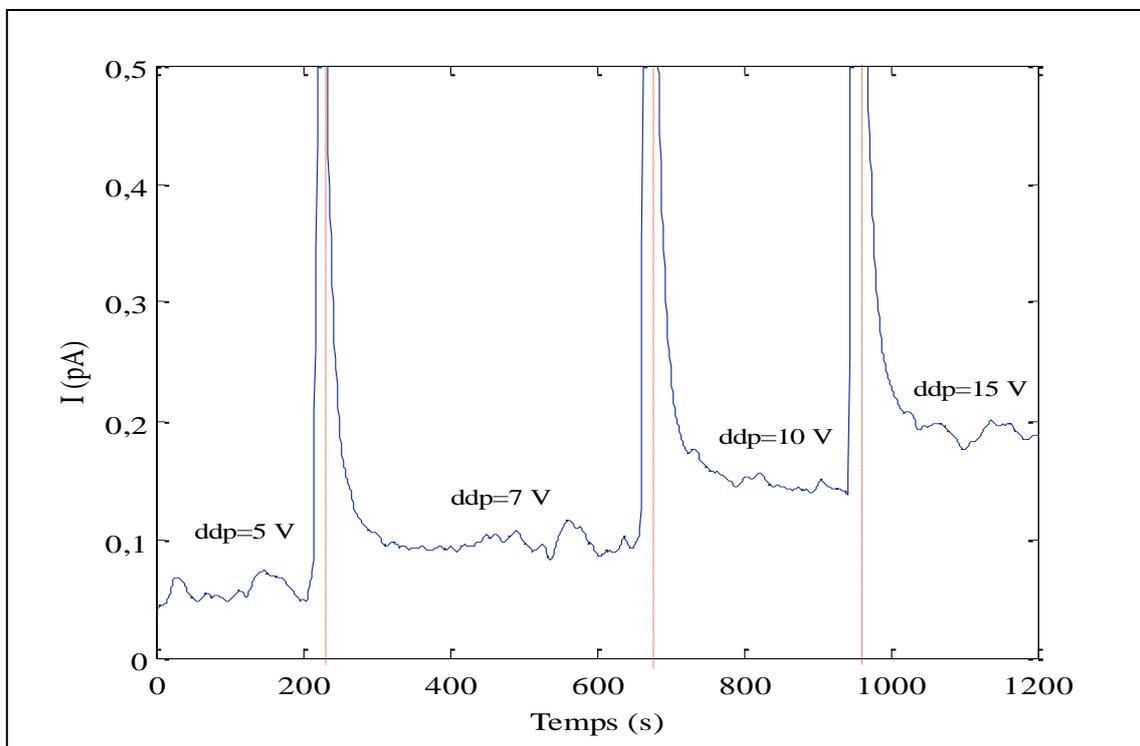


Figure 27 : Courant dû aux 2 LEDs UV en présence de cible de Sm sous les tensions de 5, 7, 10 et 15 V.

La figure 27 montre l'effet de la tension appliquée entre les électrodes sur le courant photo-induit pour 2 LEDs.

On voit que ce courant augmente avec la tension inter-électrodes, mais qu'il reste relativement faible, de l'ordre de 0,2 pA pour 15 V. Il serait possible d'augmenter encore la tension pour augmenter le courant, mais cela reviendrait à augmenter la vitesse des charges et donc diminuer le temps d'interaction de ces charges avec la fumée.

La figure 28 montre l'effet de la fumée sur le courant dû aux LEDs. On voit que la fumée perturbe significativement le courant mais aussi bien à la baisse qu'à la hausse contrairement à ce que l'on aurait pu attendre. Cela indique que plusieurs effets peuvent éventuellement se combiner. Afin de valider cette hypothèse, une source UV plus intense a été utilisée (figure 23). Ainsi l'effet photoélectrique est maximisé devant les autres effets.

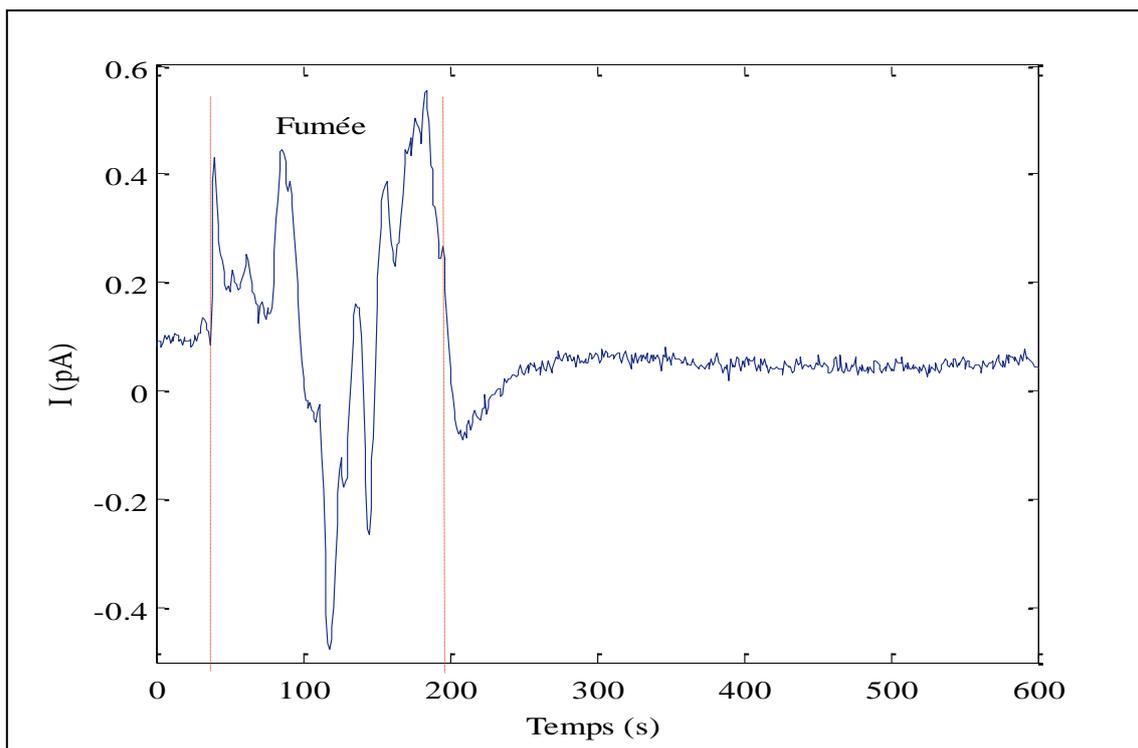


Figure 28 : Courant dû aux 2 LEDs UV en l'absence ou en présence de fumée (fumée présente de 40 à 190 s).

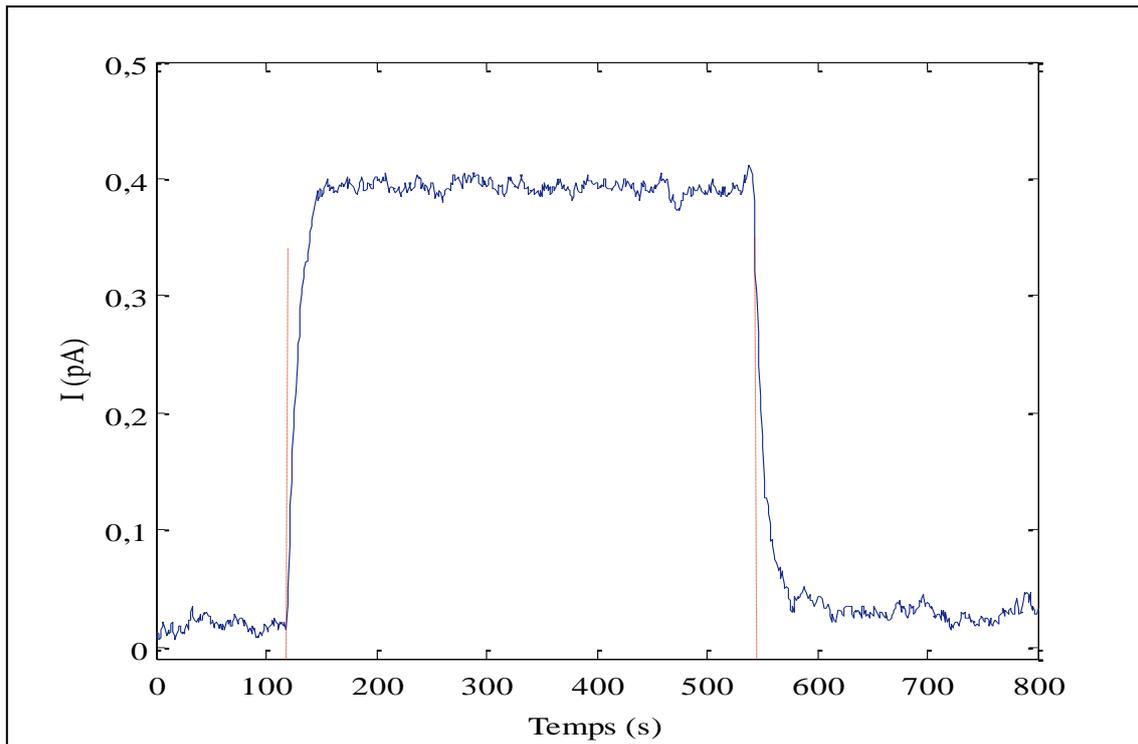


Figure 29 : Courant dû à la lampe UV avec une cible de Sm et une tension de 30 V de 120 à 550 s.

La figure 29 montre le courant photo-induit par cette source sur une cible de samarium. Prenant en compte la tension appliquée entre les électrodes, le courant est typiquement du même ordre de grandeur que dans le cas des LEDs UV. Cela peut être à cause d'une détérioration de la surface de la cible augmentant sensiblement le travail de sortie.

Pour vérifier cette hypothèse la cible est changée pour voir l'effet des travaux de sortie. L'hafnium (Hf), le cuivre (Cu) et le platine (Pt) ont été utilisés à la place du samarium (Sm). L'étendue des longueurs d'onde de la lampe est assez vaste pour extraire des électrons de tous ces métaux.

Le tableau 6 reporte le photo-courant sous différentes tensions pour l'hafnium, l'aluminium et le cuivre. On constate que malgré des travaux de sortie plus grands, le photo-courant est plus important que dans le cas du samarium. Cela montre que le travail de sortie est modifié, par exemple à cause de l'atmosphère et de réactions chimiques à la surface de la cible, ce qui modifie la forme des bandes d'énergie. D'ailleurs les courants photoélectriques mesurés ne suivent pas le travail de sortie.

Métal	Travail de sortie (ev)	Longueur d'onde nécessaire pour un effet photo-induit (nm)	Courant dû aux UV pour 30 V (pA)
Samarium	2,7	460	0,40
Hafnium	3,9	318	45
Cuivre	5,1	243	60
Platine	5,9	209	63

Tableau 6 : Travaux de sortie de différents métaux et courant photo-induit correspondant.

Le travail de sortie n'est donc pas le seul paramètre dans le courant photoélectrique. Les autres paramètres peuvent être les impuretés du métal, la section efficace de l'effet photoélectrique pour chaque métal, l'état de la surface ainsi que la passivité dans l'air. Par exemple le platine ne s'oxyde pas dans l'air mais a le travail de sortie le plus élevé dans la liste. Cependant le courant photo-induit est relativement fort. La figure 30 montre l'effet de la passivité de la cible d'hafnium sur le courant photoélectrique extrait de cette cible.

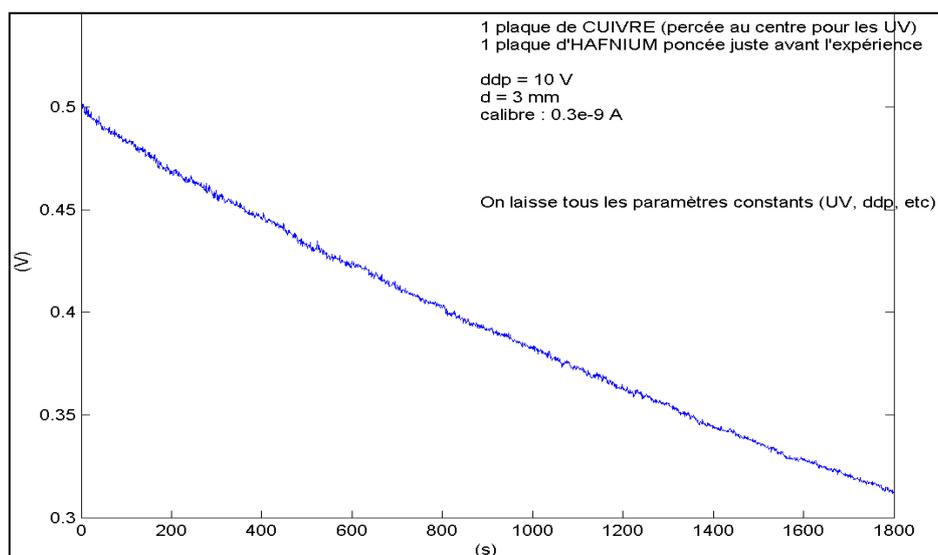


Figure 30 : Intensité du courant entre une cible en hafnium et une anode en cuivre relevée pendant 30 minutes. Une dérive d'environ 1%/min du signal est observée⁴.

Dans la suite l'effet de la fumée est étudié dans le cas d'une cible en hafnium ou en cuivre.

⁴ Rapport de D. PONS, ESPCI, LEG, 2008

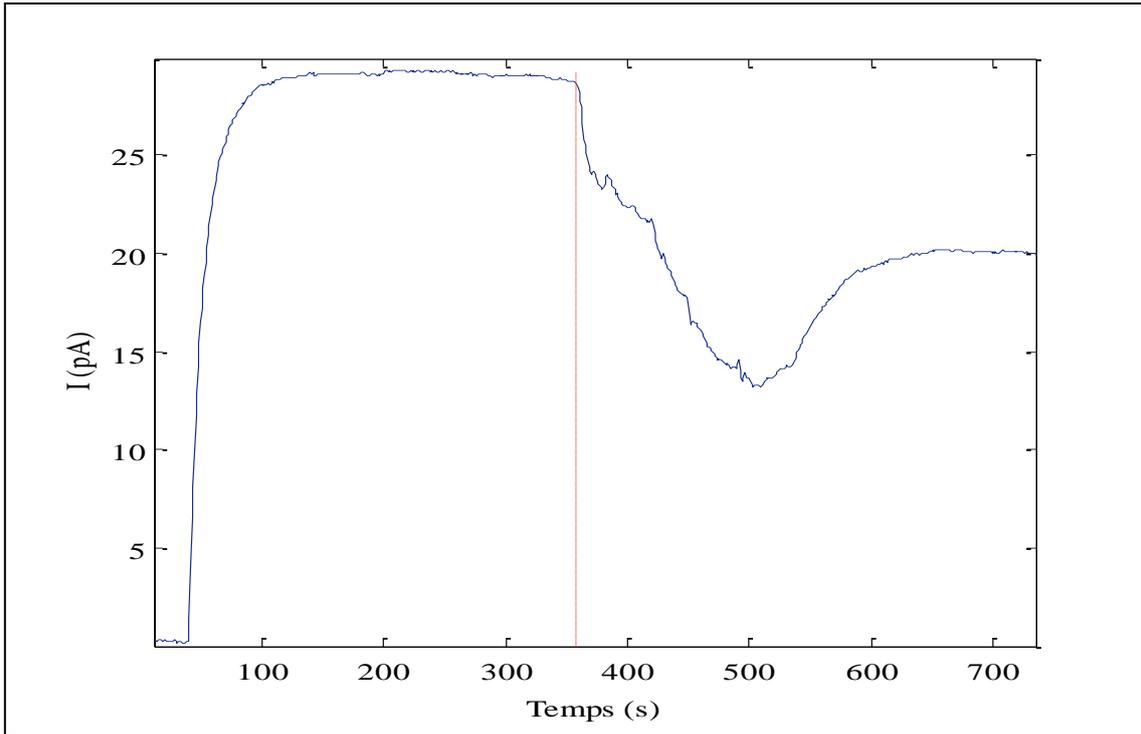


Figure 31 : Effet de la fumée sur le courant en présence de rayonnement UV sur une cible d'Hf sous une tension de 15 V (fumée est présente à partir de 360 s).

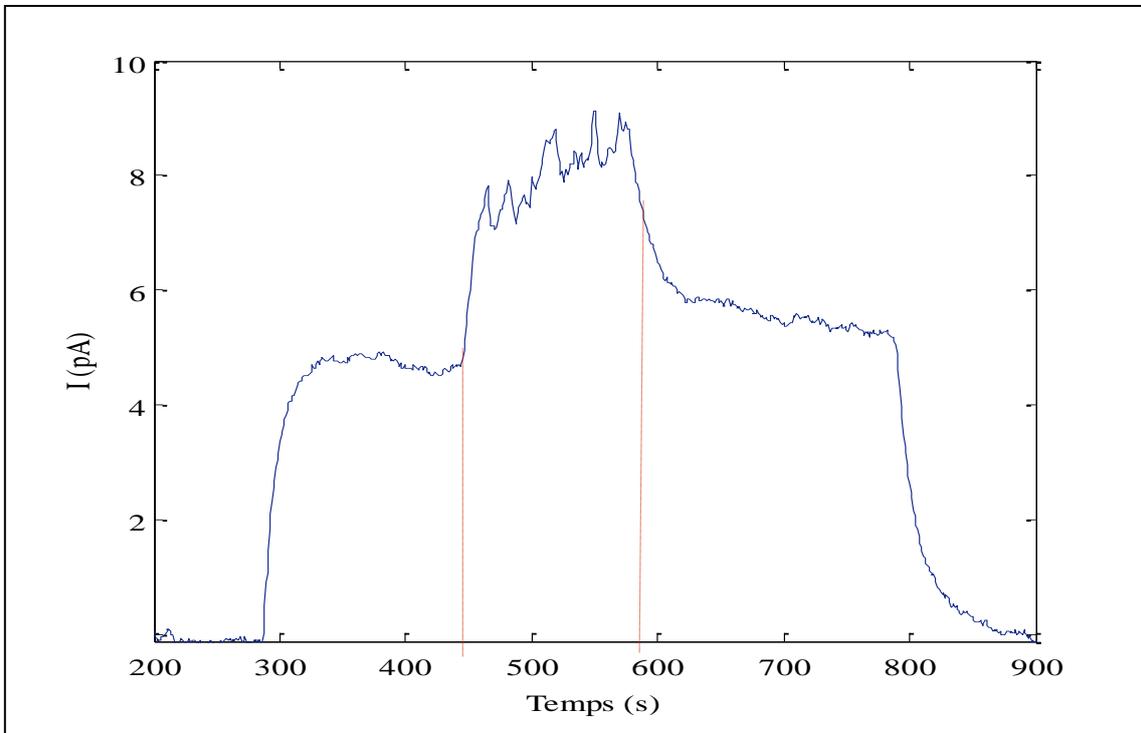


Figure 32 : Effet de la fumée sur le courant en présence de rayonnement UV sur une cible d'Hf sous une tension de 10 V (fumée est présente de 450 à 590 s).

La figure 31 et la figure 32 montrent l'effet de la fumée sur un détecteur ayant une cible d'hafnium dans deux expériences similaires, mise à part la tension appliquée entre les électrodes. On constate une inversion de la direction de la variation du courant due à la fumée entre les deux figures. Cela confirme l'existence d'autres effets qui se superposent à l'effet photoélectrique. Des résultats similaires sont constatés pour une cible en cuivre. Pour éliminer l'effet des charges véhiculées avec la fumée, une grille fine reliée à la masse est insérée à l'entrée du détecteur. L'impact de la fumée diminue d'une part à cause de la diminution de la densité de la fumée et d'autre part à cause des charges éliminées par la grille. L'effet de la grille était plus marqué dans le cas de la cible en hafnium que dans le cas de la cible en cuivre. Pour la cible du cuivre, la variation du courant due à la fumée à la hausse et à la baisse persiste même en présence de la grille. La figure 33 montre le résultat d'une expérience utilisant une cible en cuivre en présence de la grille.

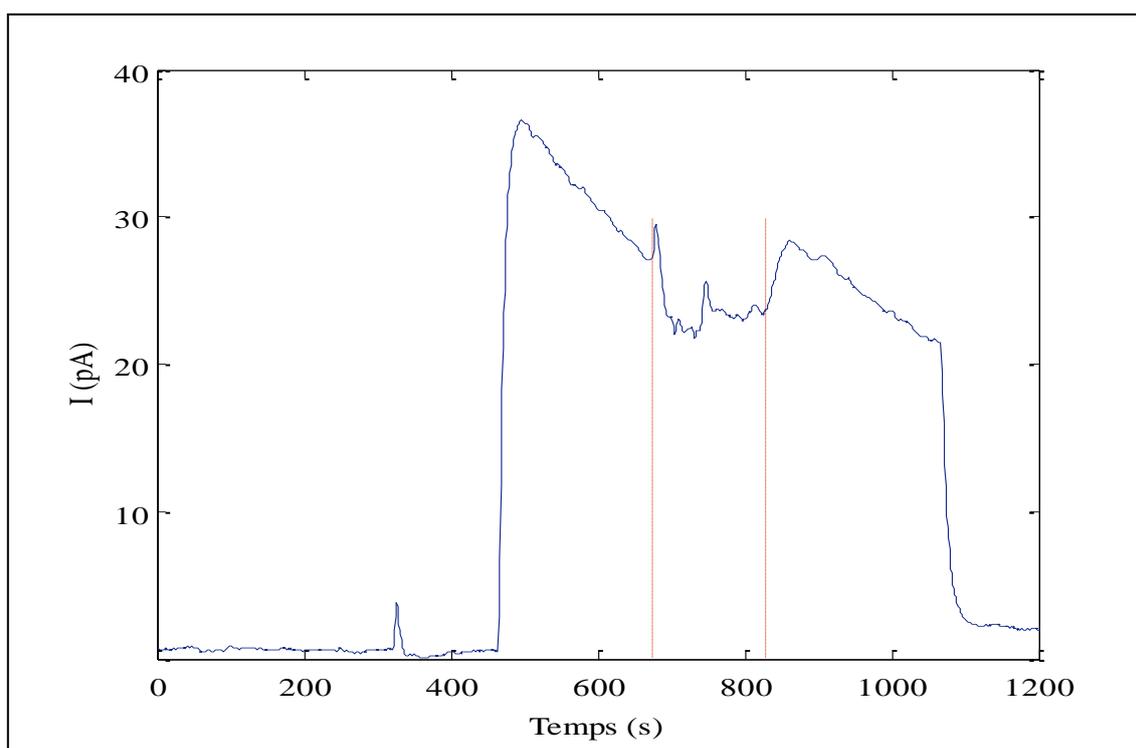


Figure 33 : Effet de la fumée sur le courant en présence de rayonnement UV sur une cible de cuivre sous une tension de 15 V (la fumée est présente de 640 à 820s).

L'hypothèse d'effet de charges véhiculées avec la fumée n'explique pas le comportement du courant avec les cibles d'hafnium ou de cuivre. Il est possible que l'effet superposé à l'effet photoélectrique au moment du passage de la fumée à travers le capteur soit un effet

électrochimique. En effet la fumée peut contenir plusieurs produits réactifs comme des acides oxygénés (nitrique, sulfurique, ou phosphorique) où des nitrates alcalins. Dans ce cas l'interaction des particules de fumée avec les électrons sera masquée par des effets électrochimiques à la surface de l'anode.

Afin de vérifier l'impact de l'effet photoélectrique et l'électrochimie, une cible de cuivre trouée a été utilisée. Cette cible a pour but de laisser l'espace inter-électrodes dans les mêmes conditions d'éclairage et d'éviter la génération d'électrons par la cible. Ainsi s'il existe un effet photoélectrique dans le gaz celui-ci pourra être détecté. La figure 34 montre un schéma du dispositif.

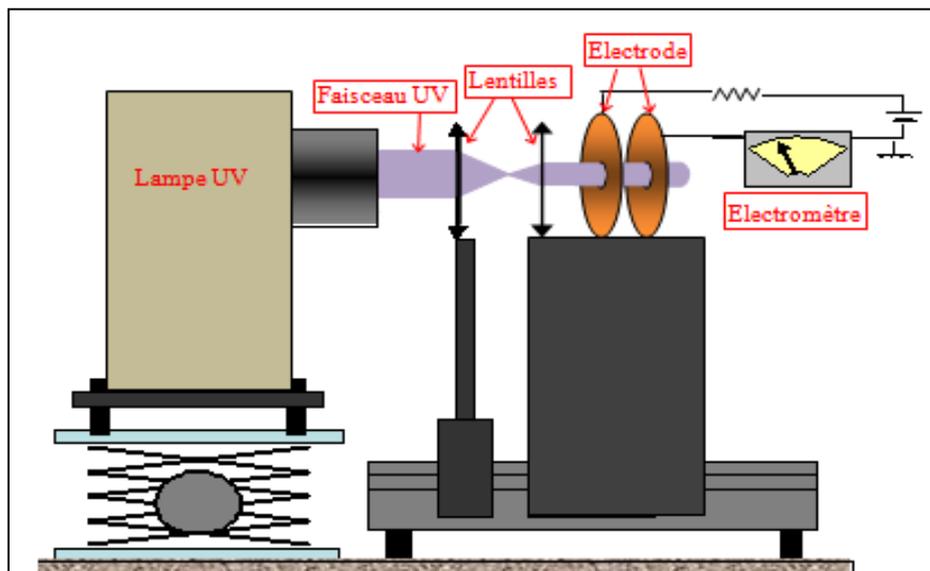


Figure 34 : Configuration de détecteur avec une cible de Cu trouée.

La figure 35 montre le résultat de cette expérience. Quatre phases de mesures sont présentées, d'abord sans fumée et sans UV, puis avec de la fumée et sans UV, puis sans fumée mais avec des UV et enfin avec de la fumée et des UV.

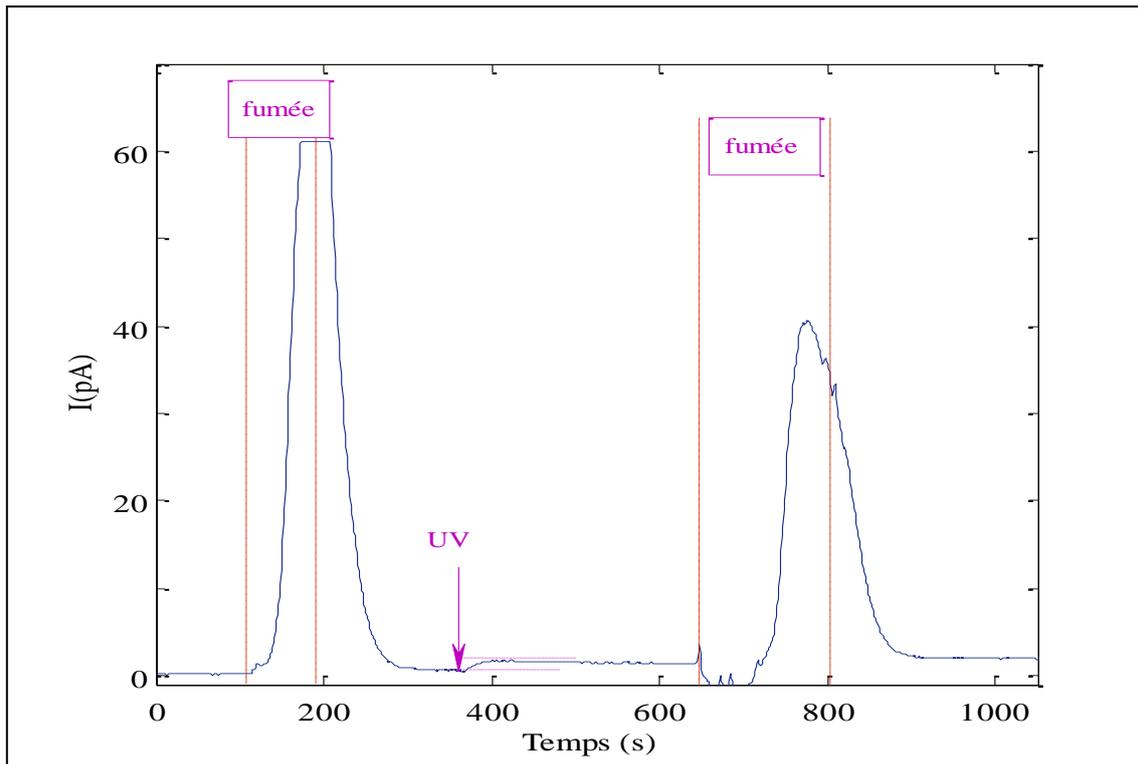


Figure 35 : Courant en présence d'une cible de Cu trouée au centre avant et après allumage de la lampe à UV et en présence de fumée.

On remarque que le courant photo-induit est très faible, de l'ordre de 1,5 pA alors que celui dû à la fumée, en présence ou en l'absence d'UV est assez important, de l'ordre de 50 pA. Par ailleurs cette variation de courant dû à la fumée est du même ordre de grandeur que celui visible dans la figure 33 pour lequel les UV atteignaient la cible. On peut conclure que le signal mesuré est principalement dû à un effet électrochimique. Celui-ci est dominant dans les mesures par rapport à l'interaction des particules de fumée avec les photoélectrons. Plusieurs expériences ont été effectuées en absence de source de rayonnement pour une cible en cuivre sous différentes tensions. Ces expériences montrent toute la présence d'un effet surfacique générant un courant plutôt important.

III.5. Discussion et conclusion

Bien que des charges photo-induites aient été produites, il semble que plusieurs phénomènes se superposent. L'air et ses propriétés modifient le travail de sortie des métaux, par ailleurs un signal électrique important, fortement dépendant de la nature de la fumée, perturbe la mesure.

En prenant un traitement de surface, il serait possible de limiter l'effet électrochimique. Cependant en prenant en compte la puissance nécessaire pour alimenter les sources UV afin d'avoir un signal suffisant, on remarque que la consommation est bien trop importante pour que la durée de vie du capteur soit d'un an en utilisant une pile. En conclusion, une source de charge photo-induite n'est pas compatible avec une application de détecteur de fumée.

Chapitre IV

Détecteur ionique de fumée par décharge

La décharge Corona est un bon moyen pour produire rapidement de nombreux ions. Cependant leur énergie cinétique est encore trop élevée pour interagir efficacement avec les particules de fumée.

Dans ce chapitre et le chapitre suivant, deux solutions différentes sont présentées pour pallier à la vitesse des ions. La première solution joue sur la géométrie du détecteur pour freiner les charges dans la chambre de détection. La seconde solution joue sur le seuil de déclenchement de l'effet Corona. Pour chacune de ces deux solutions au moins un prototype de détecteur a été réalisé. Les résultats des expériences menées avec ces prototypes sont analysés.

IV.1. Chambres d'ionisation et chambre de mesure

Pour que les charges de forte énergie cinétique puissent interagir avec les particules de fumée, il est nécessaire de diminuer leur vitesse. Une des solutions est de modifier la chambre d'ionisation afin que le champ électrique dans la majeure partie de la zone d'ionisation soit suffisamment faible. Sur cette base plusieurs options sont envisageables, une dissymétrie de la chambre d'ionisation ou une séparation physique de la chambre d'ionisation pour créer une chambre de dérive qui sert de chambre de mesure.

Avant de penser à la réalisation d'un prototype, il convient cependant de calculer le champ électrique dans ces structures afin de déterminer les paramètres importants. Le champ électrique est calculé dans la structure du capteur en l'absence de charges d'espace, lorsque le fil est sous tension en résolvant l'équation de Gauss :

$$\vec{\nabla} \cdot (\epsilon \vec{E}) = 0 \quad (48)$$

Le calcul a été fait par éléments finis avec les logiciels GetDP⁵ et Gmsh⁶. GetDP est un logiciel qui permet de traiter des problèmes discrets en électrostatique notamment. Il utilise le logiciel Gmsh pour la discrétisation du domaine de calcul et l'affichage des résultats. Bien qu'une densité de charges nulle, ne rende pas compte de la réalité d'un détecteur ionique,

⁵GetDP : Environnement général pour traiter les problèmes discrets,

⁶Gmsh : Un générateur d'élément fini à trois dimensions,

cette approximation a pour avantage de faciliter les calculs et de donner une idée de la forme du champ électrique dans chaque géométrie.

IV.1.1. Chambre d'ionisation dissymétrique

Si on éloigne l'espace d'interaction du détecteur de la source d'ions, les ions sont entraînés dans un champ électrique plus faible et perdent de la vitesse.

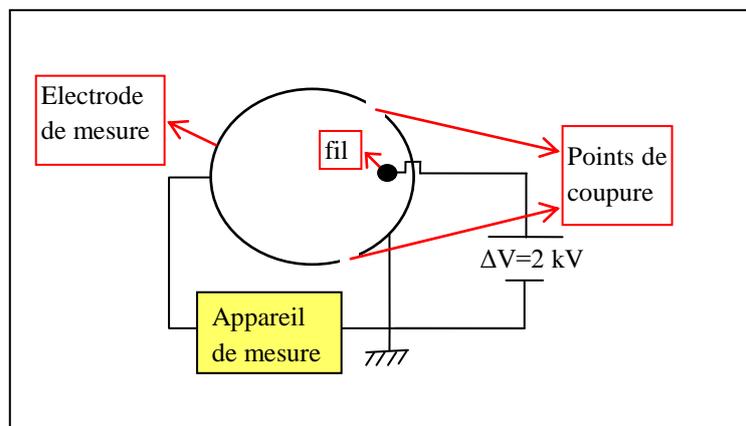


Figure 36 : Schéma de principe d'un détecteur. Les deux régions d'ionisation et de dérive sont séparées aux points de coupure. Le fil générateur de décharge Corona est soumis à ΔV et l'appareil de mesure du courant est connecté entre l'électrode de mesure et la masse.

La figure 36 schématise le principe global des dispositifs étudiés dans cette sous-section. L'électrode proche du fil, entoure la région d'ionisation et est directement reliée à la masse. Les électrons trop rapides ne participent pas à la mesure et sont directement absorbés par la masse. L'électrode la plus éloignée du fil entoure la région de détection, aussi appelée région de dérive, et est reliée à la masse via un appareil de mesure du courant d'ions : cette électrode correspond à l'électrode de mesure et est séparée de l'électrode de masse par des points de coupure.

Le détecteur doit avoir une électrode de mesure large permettant un champ électrique faible dans la région de dérive tout en favorisant un courant d'ions suffisamment grand. La position des points de coupure est déterminée par la position sur l'électrode de mesure où le champ électrique correspond à $n \times E_{min}$, E_{min} étant la valeur minimale du champ électrique dans le

capteur. Le courant de mesure calculé en supposant une conductivité fixe de l'air est noté I_{mesure} . Ainsi en comparant ces données on établit la meilleure géométrie, celle qui présente une grande zone d'interaction des ions avec la fumée.

La première géométrie envisagée est une coque qui a la forme de deux cylindres ouverts. Ces deux cylindres ont la même hauteur mais deux rayons de courbure différents. La modélisation de la coque est présentée en trois dimensions sur la figure 37. Pour éviter des points de faible rayon de courbure qui créeraient des champs électriques très forts à l'endroit de l'attachement des deux cylindres, deux portions de cylindres à l'extérieur de la géométrie, dont on voit les centres sur la figure 37, sont utilisées.

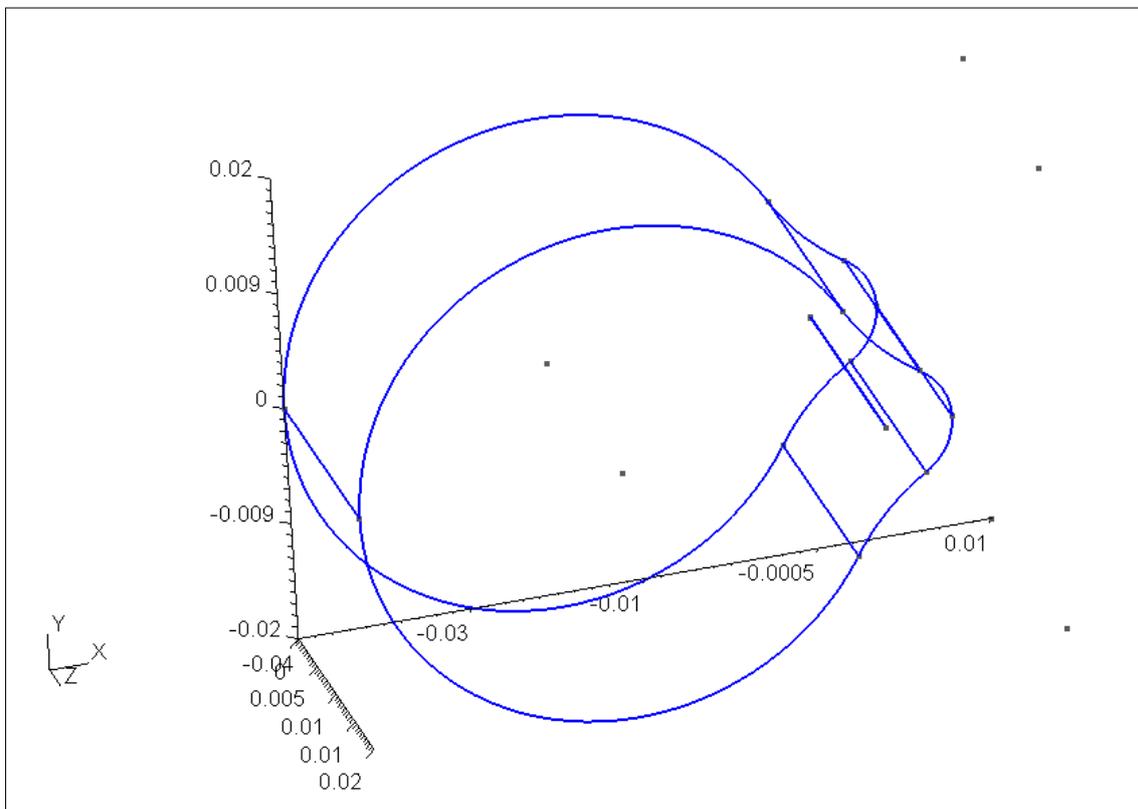


Figure 37 : Représentation d'une coque non-symétrique en 3 dimensions.

La figure 38 représente la géométrie en coupe avec une discrétisation calculée par Gmsh. Le premier cylindre de rayon r_d contient un fil de $12,5 \mu m$ de rayon correspondant au générateur de charges. Le deuxième cylindre de rayon r_e est la région de détection. La tension électrique appliquée au fil par rapport à la coque extérieure est de 2 kV.

L'angle α permet la construction du raccordement des cylindres pour éviter les effets de pointes indésirables. Plus α est grand, plus la région de détection est ouverte et plus facilement les charges créées par le fil y entrent.

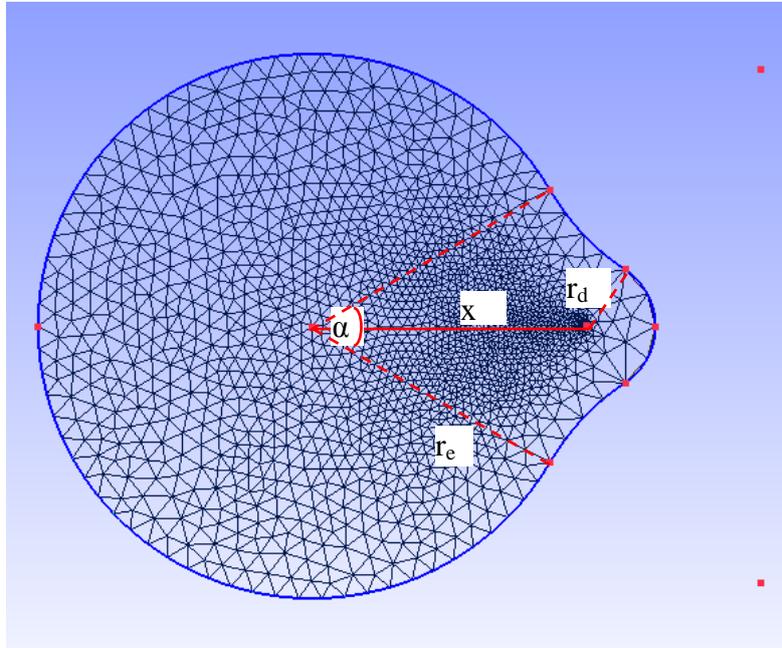


Figure 38 : Discretisation d'une coque non-symétrique avec $r_d = 5$ mm, $r_e = 20$ mm, $x = 20$ mm et $\alpha = 60^\circ$. Les points élémentaires de la géométrie et les paramètres importants sont marqués en rouges.

Dans cette géométrie, la majeure partie des ions produits par le fil sont captés par la zone de la coque près du fil. Une partie des ions entrent cependant dans la zone de détection où les lignes de champ électrique deviennent de plus en plus faibles. La vitesse des ions dans cette zone diminue à des valeurs très faibles ce qui convient à une interaction avec les particules de fumée.

Dans la zone de mesure un champ électrique de l'ordre de quelques dizaines de Volt par centimètre donne aux ions une vitesse de l'ordre du centimètre par seconde. C'est une valeur satisfaisante. En supposant que les charges suivent le champ électrique E calculé pour une géométrie donnée, le courant sur la coque est calculé en utilisant la composante perpendiculaire du champ électrique et la conductivité de l'air qui est de l'ordre de $0,3$ à $0,8 \times 10^{-14} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. On obtient :

$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \int_S \sigma \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (49)$$

où $d\vec{S}$ est le vecteur élément de surface.

Le tableau 7 donne le résultat de plusieurs géométries du capteur en limitant l'électrode de mesure avec une valeur du champ inférieure ou égale à 3 fois celle du champ minimum. Les géométries simulées ont des distances x entre le centre de la chambre de mesure et le fil qui varient entre 20 mm et 30 mm. Pour chacune de ces distances plusieurs angles de raccordement α sont testés.

Dans chacun des cas la valeur minimale du champ est donnée ainsi que la valeur du courant total, et du courant de mesure. Le courant total correspond à la somme du courant de mesure et du courant perdu dans l'électrode à la masse. Enfin le rapport courant de mesure sur courant total est calculé.

x (mm)	20			25			30	
α	60	40	30	60	70	80	60	80
E_{min} (V/m)	647,5	582,4	552,3	194,3	226,6	258,5	36,8	74,9
I_{total} (pA)	7,4	7,4	7,4	7,5	7,5	7,5	7,7	7,6
I_{mesure} (pA)	0,37	0,33	0,31	0,11	0,12	0,14	0,02	0,04
I_{mesure} / I_{total}	0,050	0,045	0,041	0,014	0,017	0,019	0,003	0,005

Tableau 7 : Champ électrique minimal, courant de mesure et courant total pour plusieurs géométries d'un capteur dissymétrique. Les simulations ont été faites avec un fil de 5 μ m de rayon sous une tension de 1,5 kV.

Ce tableau montre que le courant I_{mesure} est maximum pour $x = 20$ mm et $\alpha = 60$ mm. Dans ce cas, la valeur la plus basse du champ électrique E_{min} est 647,5 V/m qui correspond à une vitesse de 13 cm/s, et la valeur la plus élevée, dans cette région est E_{max} égale à 1746 V/m qui donne une vitesse de 34 m/s. Ce sont des valeurs raisonnables pour assurer une interaction d'ions avec les particules de fumée.

La figure 39 montre le champ électrique simulé dans la zone d'ionisation.

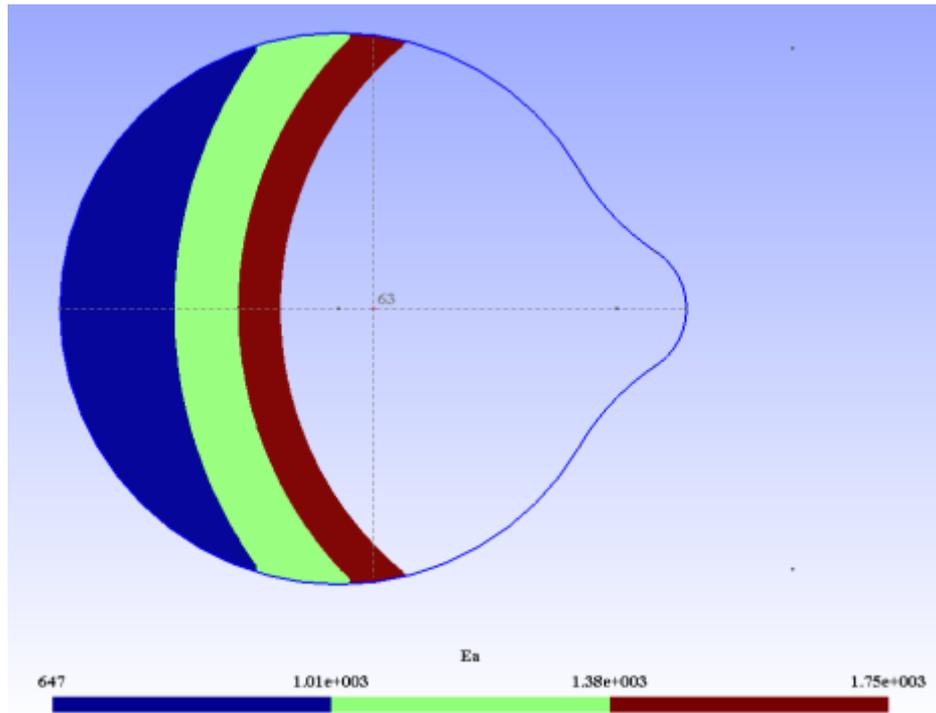


Figure 39 : Champ électrique simulé dans la zone de mesure où le champ électrique est faible (6,5 V/cm à 17,5 V/cm) pour une géométrie de coque non-symétrique ayant $r_d = 5$ mm, $r_e = 20$ mm, $x = 20$ mm, $\alpha = 60^\circ$ et un fil de 5 μ m de rayon sous la tension de 1,5 kV. Trois zones de champ sont montrées.

Bien que le courant perdu soit très supérieur au courant de mesure, le courant total nécessaire pour la mesure n'est pas très important et correspond à une consommation raisonnable du capteur. Par exemple dans le cas de la géométrie avec $x=20$ mm, $\alpha=60^\circ$ pour un courant de mesure de 100 pA on a un courant total de 2 nA soit une consommation totale de 4 μ W.

La zone d'interaction est cependant relativement petite dans cette géométrie, un peu moins de la moitié du volume du capteur (figure 39). On peut alors envisager d'autres systèmes avec des géométries proches de celle-ci. La figure 40 par exemple présente les équipotentielles et la distribution du champ électrique sur une coupe en plan x-y d'un système qui contient deux fils de 12,5 μ m de rayon sous une tension électrique de 2 kV. La coque extérieure de ce dispositif est connectée à la masse. L'intérêt de cette géométrie est d'avoir un champ électrique très fort autour des fils grâce à la forme cylindrique de la zone de décharge et en même temps un grand espace de faible champ électrique adapté à l'interaction des ions et des particules de

fumée. Ce dispositif peut également être élargi en ajoutant des demi-cylindres et des fils pour générer plus de courant de décharges.

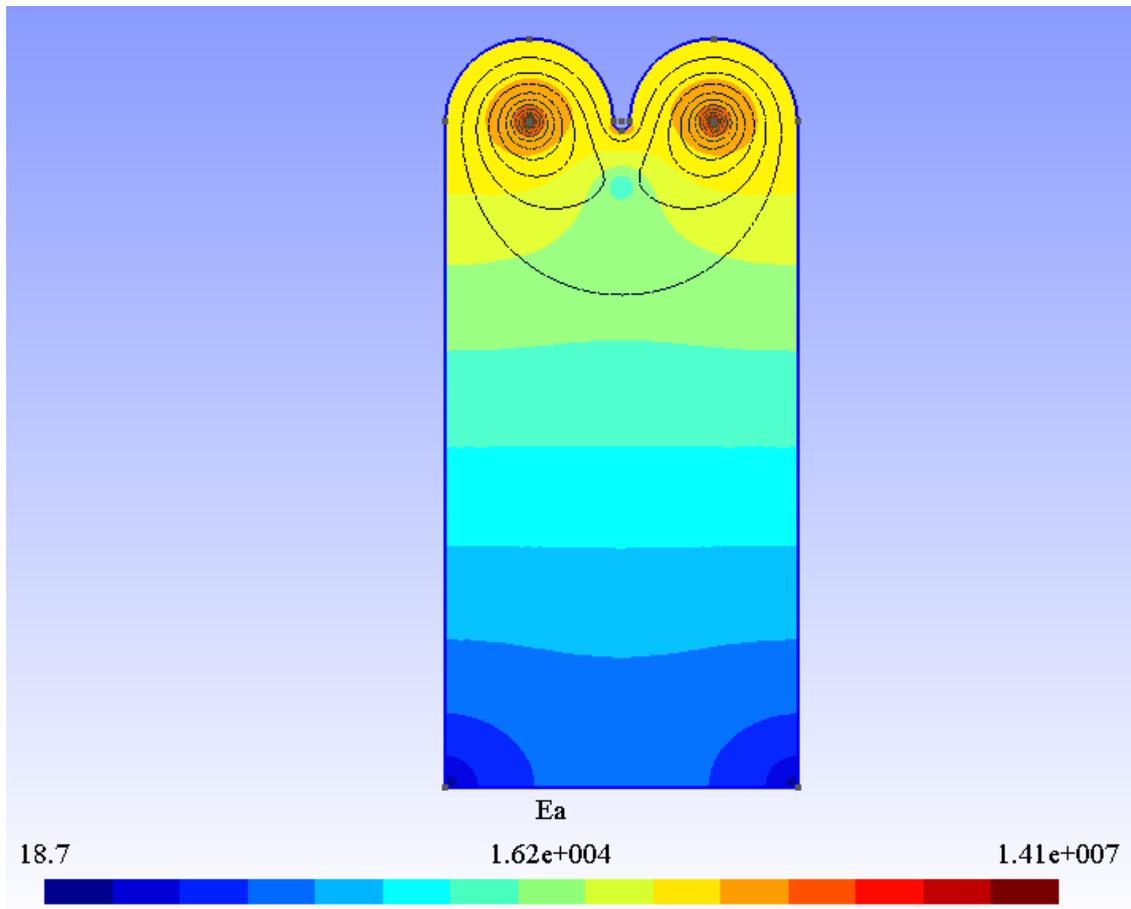


Figure 40 : Equipotentiels et distribution de champ électrique E_a pour une géométrie contenant deux demi-cylindres de 5 mm de rayon et une zone de dérive de 45 mm.

La figure 41 montre une autre géométrie où les fils sont remplacés par des dépôts en couches minces affleurant en surface d'un substrat. L'avantage est d'avoir des rayons de courbure encore plus petits qu'avec des fils.

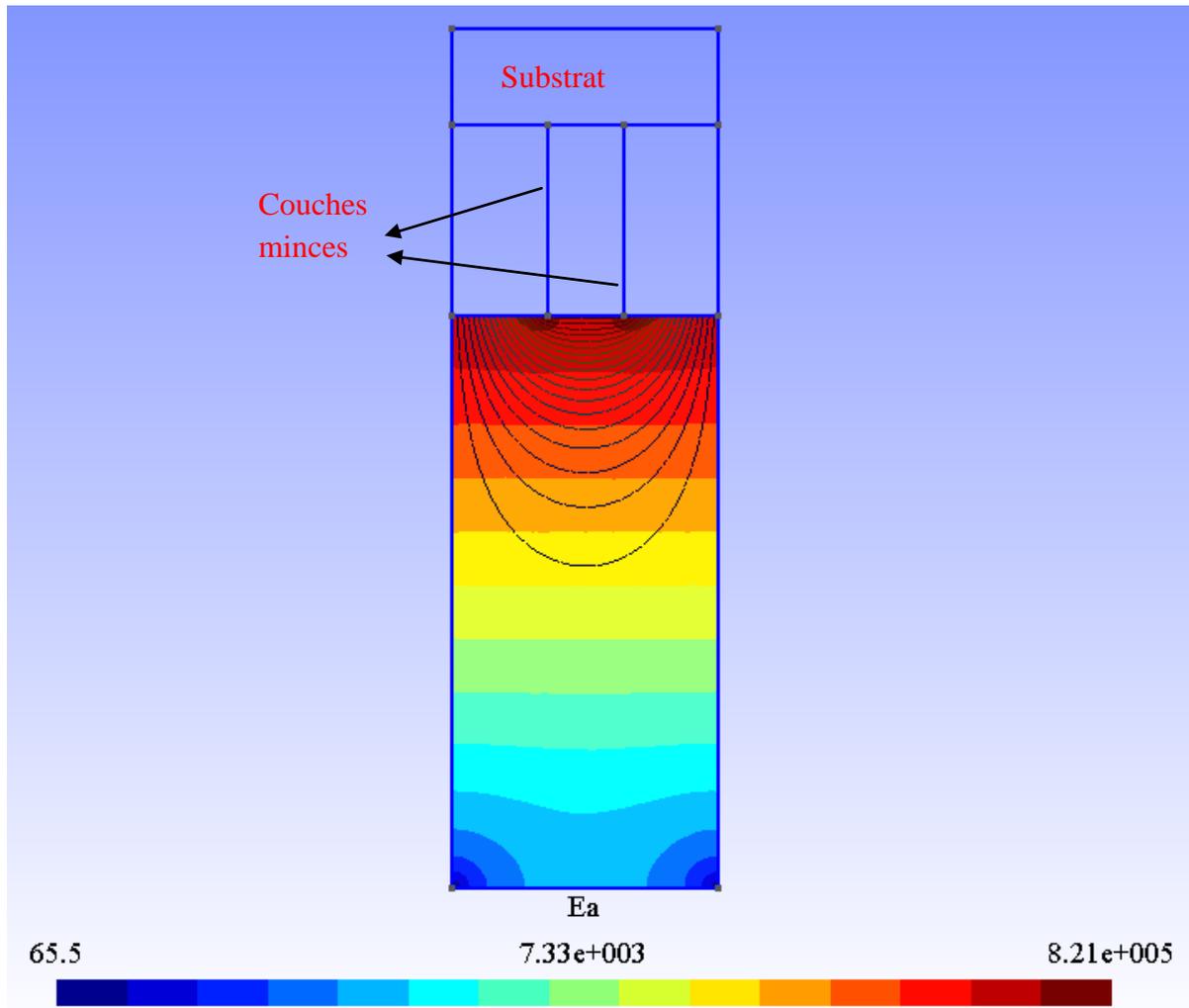


Figure 41 : Equipotentiels et distribution de champ électrique E_a pour un dispositif à couches minces écartées de 4 mm, et une zone de dérive de 45 mm.

Les trois configurations présentées ci-dessus (figure 39, figure 40 et figure 41) ont toutes un grand espace de faible champ pour faciliter l'interaction avec la fumée. L'inconvénient de ces types de coque est leur relative complexité de fabrication.

IV.1.2. Séparation physique des chambres d'ionisation et de dérive

La seconde solution envisagée pour optimiser un détecteur ionique de fumée à décharge Corona est la séparation physique de la chambre d'ionisation et de celle de dérive. La chambre d'ionisation contient une (ou des) électrode(s) de faible rayon de courbure, par exemple des fils ou des pointes, qui sont la source de décharges Corona lorsqu'elles sont

soumises à une tension électrique suffisamment élevée. Une électrode large de forme cylindrique ou plane, polarisée sous une tension de quelques Volts seulement attire les charges créées par l'effet Corona. Cette électrode est perforée et laisse donc passer une partie des charges vers la chambre de mesure. L'électrode de mesure est placée face à l'électrode perforée et est reliée à la masse via un appareil de mesure de courant. Il existe donc un faible champ électrique de dérive dans la chambre de mesure. La partie des charges entrant dans la chambre de mesure ralentissent et produisent un courant continu à l'électrode de mesure.

La figure 42 montre deux configurations possibles (plane et cylindrique) pour ce type de détecteur. Le circuit de mesure n'est montré que sur le détecteur de configuration plane.

Selon la tension appliquée au fil, on crée un effet Corona positif ou négatif. Les ions positifs ou les électrons alors créés s'éloignent du fil entraînés par le champ électrique jusqu'à la grille polarisée à une tension d'une dizaine de Volts. Une partie de ces électrons est absorbée par la grille et une autre partie passe au travers pour accéder à la chambre de mesure. Le champ électrique dans la chambre de dérive est contrôlé par la tension appliquée à la grille par rapport à l'électrode de mesure.

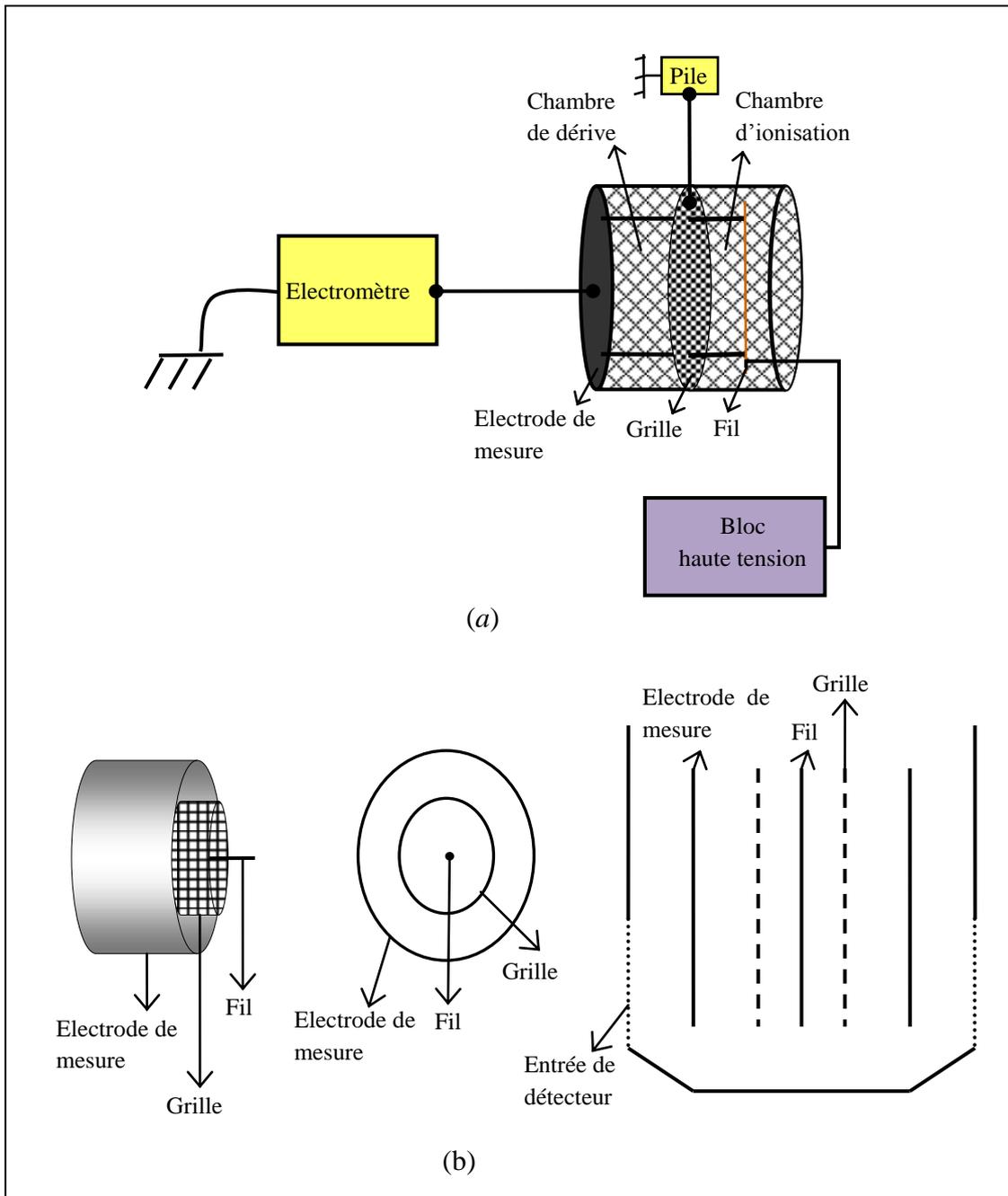


Figure 42 : Configurations fil-plan (a), et fil-cylindre (b) pour un détecteur ionique à effet Corona. Le circuit de mesure utilisé n'est montré que dans la configuration fil-plan (a). La configuration cylindrique est montrée sous différents angles de vue.

Les équipotentiels et le champ électrique sur une coupe x - y des deux configurations présentées ci-dessus sont présentées sur les figure 43 et figure 44.

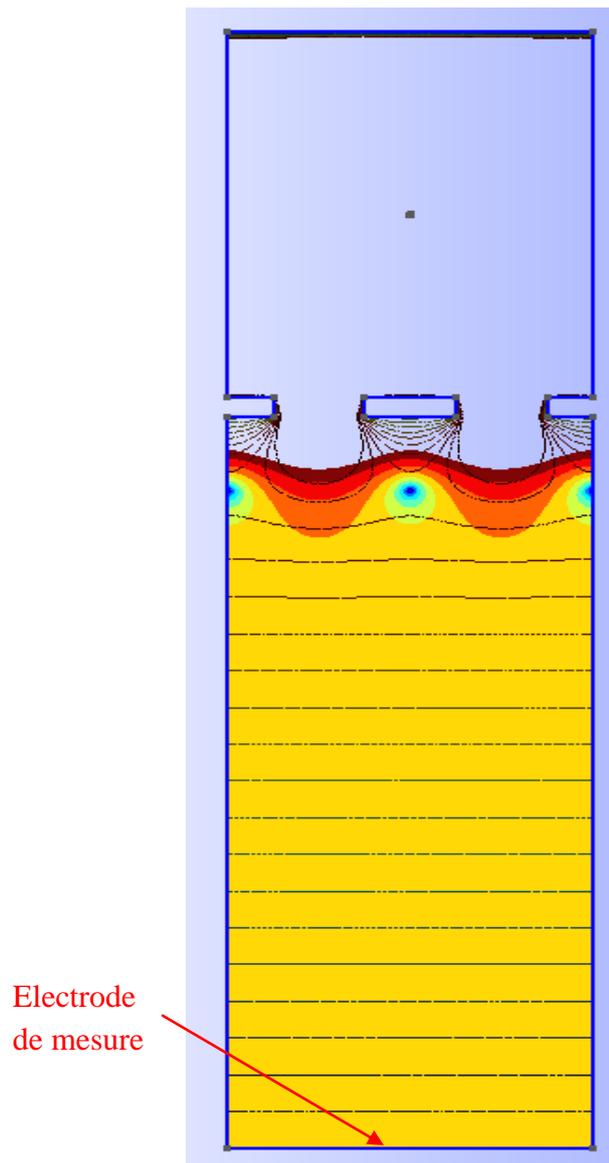


Figure 43 : Résultats de simulation pour une géométrie comprenant un fil de $12,5 \mu\text{m}$ de rayon sous une tension de 2 kV et une grille de $0,5 \text{ mm}$ d'épaisseur sous une tension de 10 V . L'électrode de mesure est une plaque en face de la grille. Les équipotentiels de 0 à 20 V ainsi que le champ électrique sont présentés. Le champ électrique varie de 70 V/m à 4000 V/m .

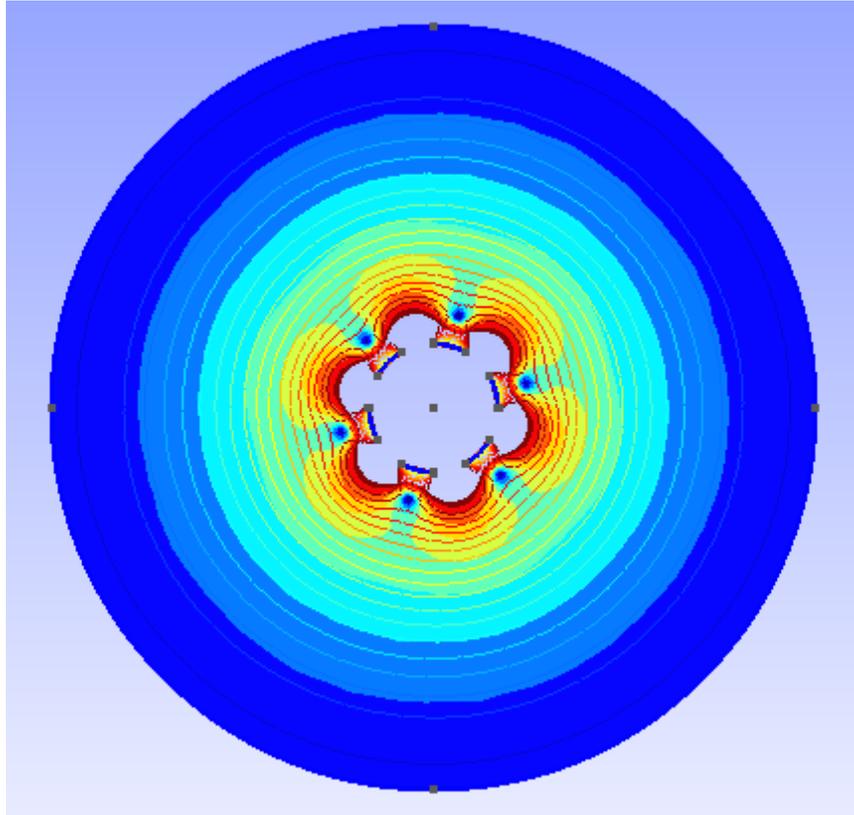


Figure 44 : Résultats de simulation pour une géométrie comprenant un fil de $12,5 \mu\text{m}$ de rayon sous la tension de 2 kV et une grille de $0,5 \text{ mm}$ d'épaisseur sous une tension de 10 V . L'électrode de mesure est le cylindre extérieur. Les équipotentiels de 0 à 20 V ainsi que le champ électrique sont présentés. Le champ électrique varie de 412 V/m à 4000 V/m .

La séparation des chambres d'ionisation et de mesure semble plus facile à réaliser et surtout plus facile à contrôler d'un point de vue industriel. En effet un petit décalage de la position du fil dans le cas de la coque dissymétrique peut engendrer un comportement très différent du capteur. Avec une séparation des chambres, la tension de la grille permet de contrôler dérive des charges même si le fil n'est pas idéalement positionné.

IV.2. Montage expérimental

La figure 45 montre le prototype de détecteur réalisé selon le principe de la séparation des chambres dans la configuration fil-plan. Un fil de tungstène de $25 \mu\text{m}$ de diamètre recouvert d'or et polarisé sous haute tension, est placé parallèlement à une grille à une distance de 9 mm . Le fil est isolé par des entretoises isolantes par rapport au reste du système. La grille en

laiton est polarisée sous quelques Volts. Elle sépare la chambre d'ionisation de la chambre de dérive. Afin d'avoir une tension stable sur la grille, une ou plusieurs piles de 9 V sont utilisées en série. Les ouvertures de la grille utilisée doivent être ni trop larges ni trop petites. Si elles sont trop petites, peu de charges passent dans la chambre de dérive et si elles sont trop grandes, le champ électrique de la chambre d'ionisation sera perturbé.

La hauteur de la chambre de dérive peut varier entre 5 à 20 mm. L'électrode de mesure est un disque de cuivre de 50 mm de diamètre entourée d'une électrode de garde à la masse. Le détecteur est protégé des bruits électromagnétiques par une boîte métallique qui couvre la chambre d'ionisation et une grille qui protège la chambre de dérive en permettant à la fumée de passer par les ouvertures. Cette grille permet également de capter une partie des charges extérieures et aussi de limiter les fausses alarmes. La figure 45 montre ce prototype.

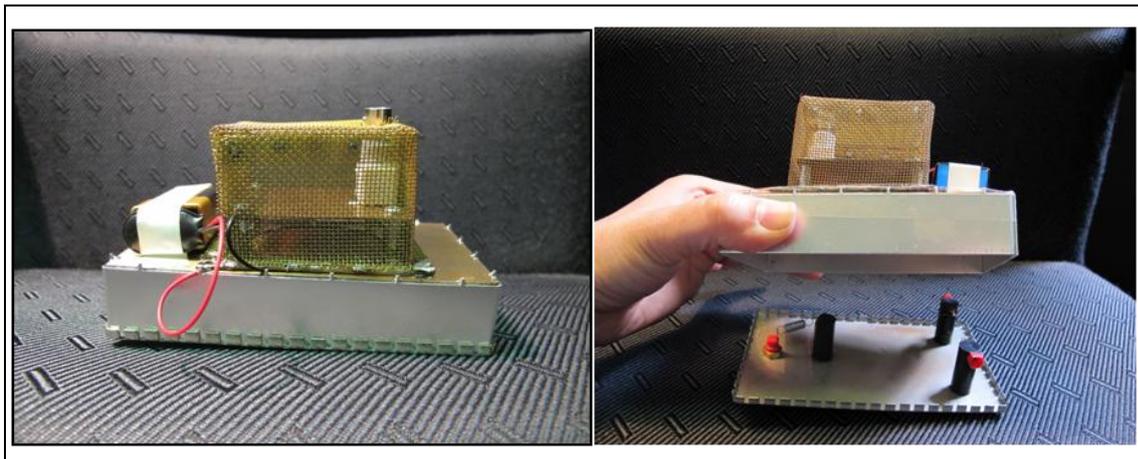


Figure 45 : Prototype de détecteur de fumée basé sur l'effet Corona. A droite les trois entretoises qui maintiennent le fil.

La haute tension nécessaire à l'effet Corona est générée par un bloc à haute tension de Brandenburg modèle 512N qui multiplie une basse tension continue (entre 0 et 20 V) d'une alimentation TEKTRONIX modèle PS280. La figure 46 montre l'étalonnage de la tension sortie du bloc à haute tension en fonction de la tension d'alimentation basse tension. On constate que la réponse du bloc est linéaire avec des petites déviations qui peuvent être due aux mesures. On utilise deux types de bloc à haute tension selon que l'on souhaite travailler avec des hautes tensions positives ou négatives. La sortie du bloc à haute tension est directement appliquée au fil du détecteur pour créer la décharge Corona.

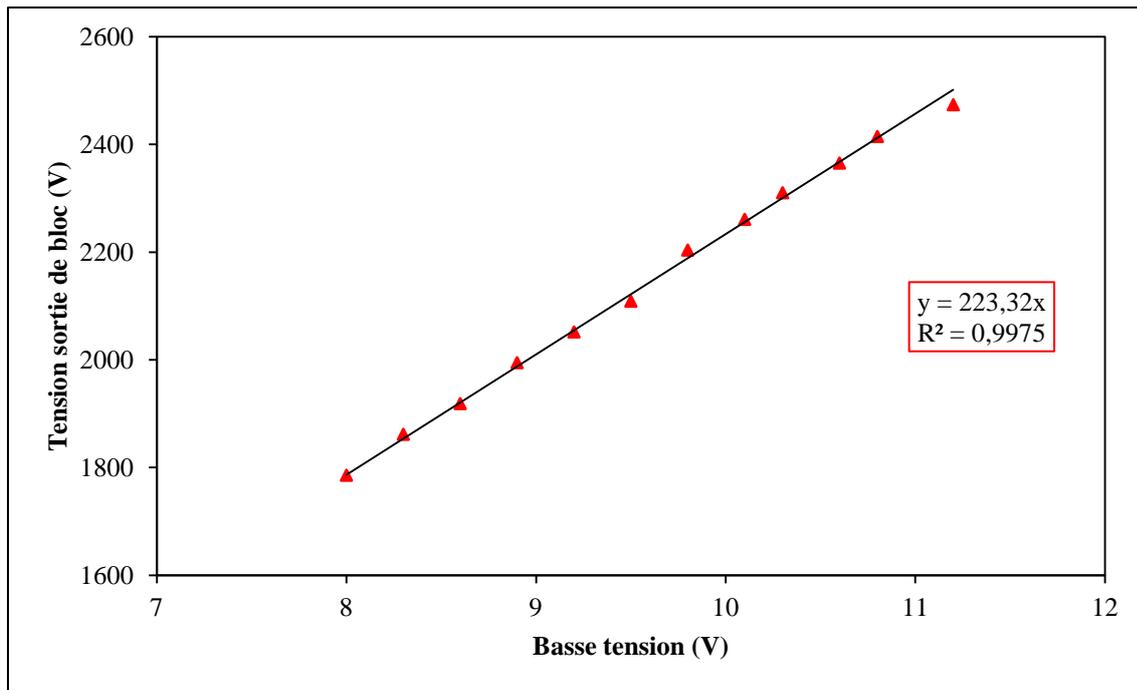


Figure 46 : Tension sortie du bloc à haute tension positive en fonction de la tension d'alimentation.

Les deux appareils de mesures utilisés dans ces expériences sont des pico-Ampèremètres de marque KETHLEY de modèles 6485 et 6487. Ils permettent de mesurer des courants jusqu'à 10 fA, avec une erreur maximale de 0,4% sur la mesure pour le plus faible courant de mesure. Les appareils de mesures sont mis en réseau via un bus GPIB puis connectés à un ordinateur via une carte GPIB.

IV.2.1. Protocole de mesure

La figure 47 montre schématiquement l'emplacement du prototype de détecteur placé dans le système de mesure. Une haute tension continue d'environ 2 kV est appliquée sur le fil du détecteur. Le courant de décharge est mesuré par l'électromètre. Il faut attendre environ une heure pour que l'appareil de mesure soit chaud et que le courant de décharge se stabilise. La fumée est guidée vers le détecteur au travers d'un tuyau de 2 m de longueur typiquement. Ce tuyau sert à neutraliser la fumée et à la refroidir. La fumée est extraite de la boîte de mesure par un ventilateur après être passée par le détecteur prototype. Pendant ce temps le courant mesuré est acheminé toutes les secondes par bus GPIB vers l'ordinateur où il est enregistré

par un programme Matlab⁷. Il est possible d'installer des appareils pour mesurer la vitesse de la fumée ou la densité des particules de fumée.

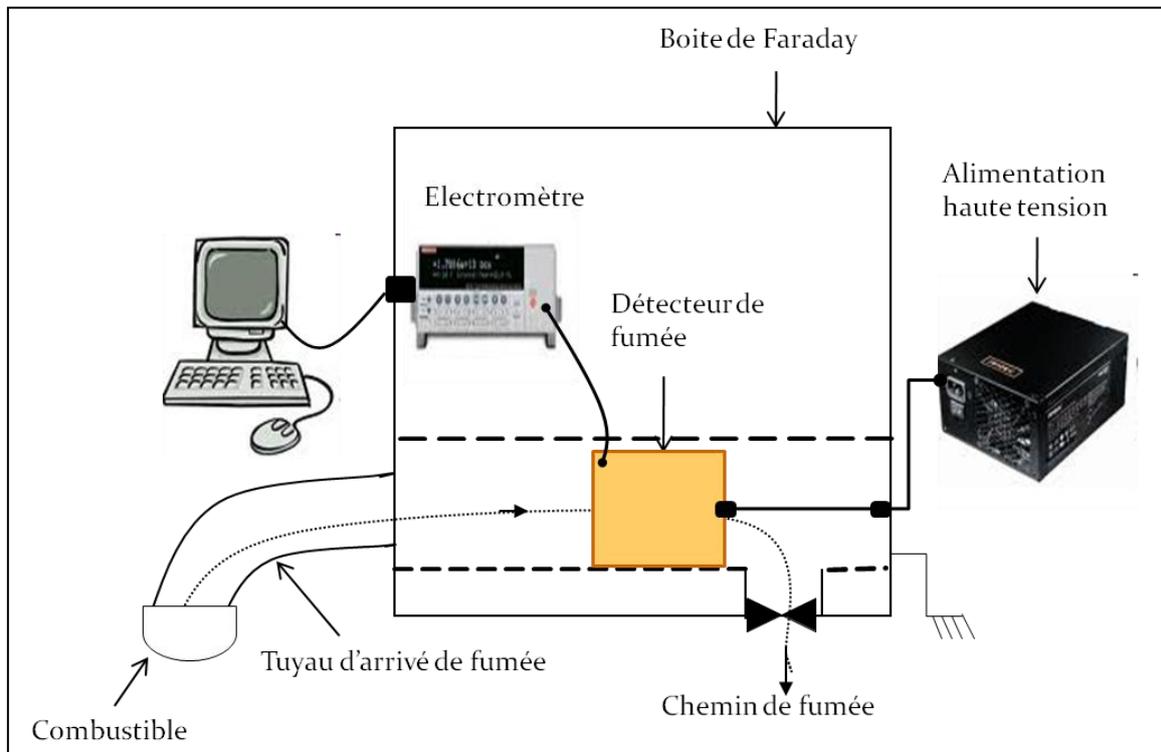


Figure 47 : Schéma du système de mesure.

IV.3. Résultats et discussion

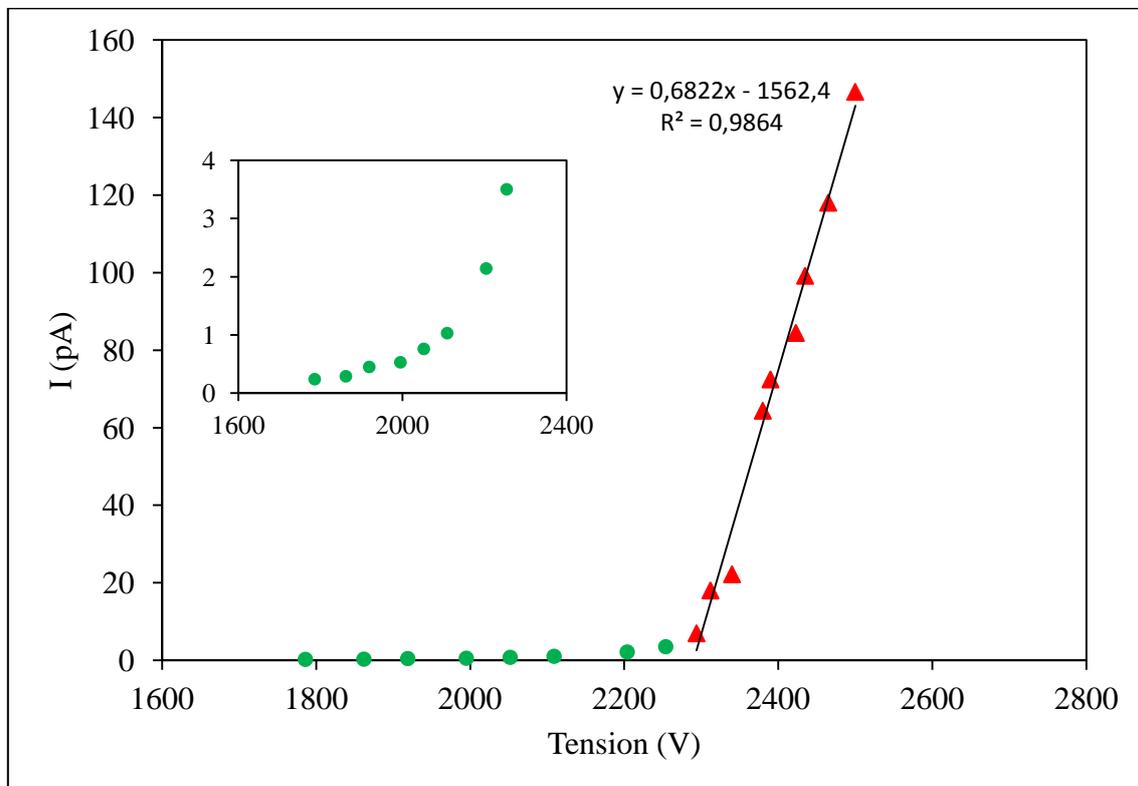
IV.3.1. Courant en l'absence de fumée

La tension de déclenchement de la décharge Corona dépend de plusieurs paramètres comme les caractéristiques de l'environnement et la configuration du système de décharge. La figure 48 donne un exemple du courant mesuré par le détecteur à température, humidité et pression ambiante par rapport à la tension appliquée au fil pour une décharge Corona positive. On constate que l'augmentation du courant mesuré suit deux tendances différentes distinguables. Pour les tensions appliquées inférieures à 2250 V environ, l'augmentation de courant est quasi exponentielle par rapport à la tension appliquée. Cette tendance est montrée

⁷ Le programme Matlab de récupération des données d'un électromètre est donné à l'annexe 3.

sur la courbe placée à l'intérieur de la figure 48. Si la valeur de la tension appliquée dépasse cette valeur, l'augmentation de courant suit une tendance linéaire avec une pente de 682 fA/V. On peut considérer la valeur de la tension appliquée au point de changement de cette tendance comme le début de la décharge Corona. Cette valeur peut varier d'une décharge à l'autre, puisque le déclenchement d'une décharge dépend aussi des conditions initiales comme le rayonnement cosmique et le nombre d'ions existant au préalable.

La tension nécessaire pour une décharge Corona positive qui génère un courant de l'ordre de quelques pico-Ampères est alors d'environ 2250 V. Cette valeur dans le cas d'une décharge Corona négative est un peu plus basse.



qui arrivent à l'électrode de mesure. La figure 48 suit très bien la courbe caractéristique de courant-tension de l'effet Corona présentée sur la figure 16.

La figure 49 trace I/V en fonction de V conformément à la loi (24). La pente de la droite est de $0,3 \text{ fA/V}^2$ et correspond au coefficient $C\mu$ de l'équation (24).

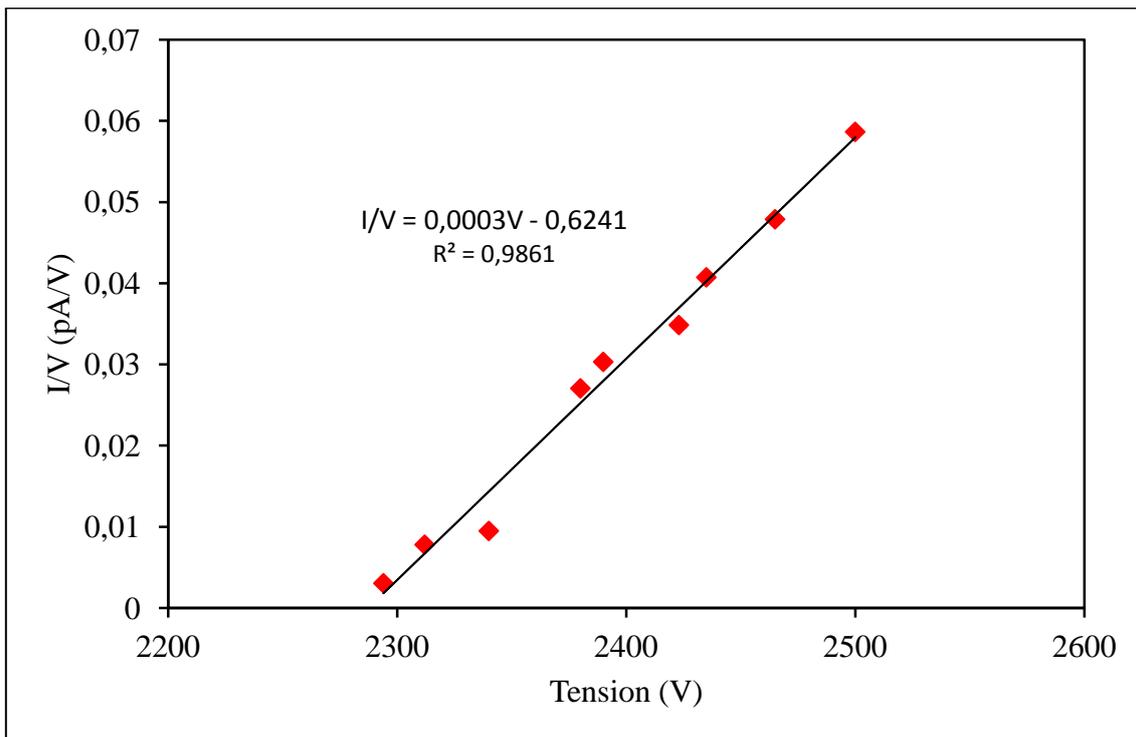


Figure 49 : Courbe de courant divisé par la tension I/V par rapport à la tension V .

IV.3.2. Courant en présence de fumée

La figure 50 montre l'effet de la fumée sur le courant mesuré. Dès l'entrée de la fumée dans le détecteur, le courant passe de -100 nA environ à près de 0 nA en quelques secondes. Cela montre l'efficacité et la sensibilité des détecteurs ioniques. Une fois la source de fumée retirée, les particules de fumée mettent un peu de temps pour sortir complètement avec l'extracteur installé au bout du tunnel (voir figure 50). Le courant retourne donc à sa valeur d'origine relativement lentement.

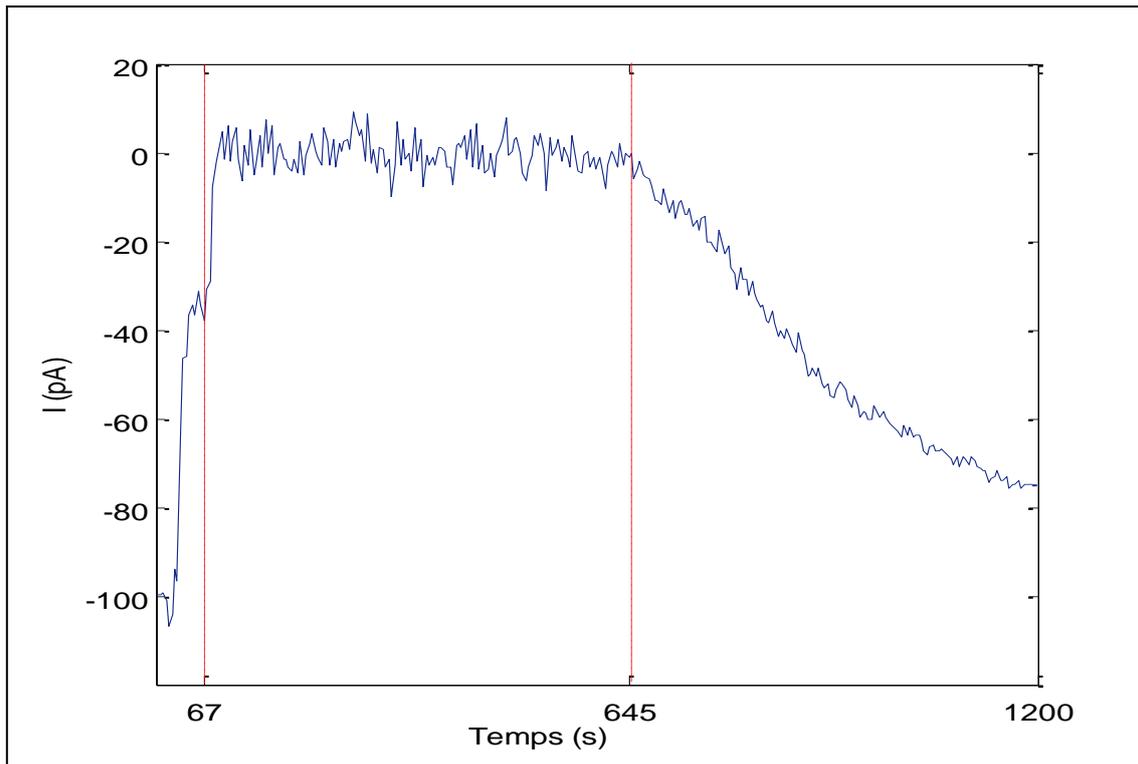


Figure 50: Variation du courant mesuré au cours du temps. On observe une chute rapide de l'amplitude du courant due à la fumée (de 67 s à 645 s). La tension sur le fil est de -2,4 kV et la tension sur la grille est de -19 V. La distance entre le fil et la grille est de 9 mm et la distance entre la grille et l'électrode de mesure est de 20 mm

La figure 51 montre un exemple d'une expérience similaire dans le cas d'une décharge positive. Le courant est d'environ 150 pA et descend à 0 A en quelques secondes suite à l'entrée des particules de fumée dans le détecteur.

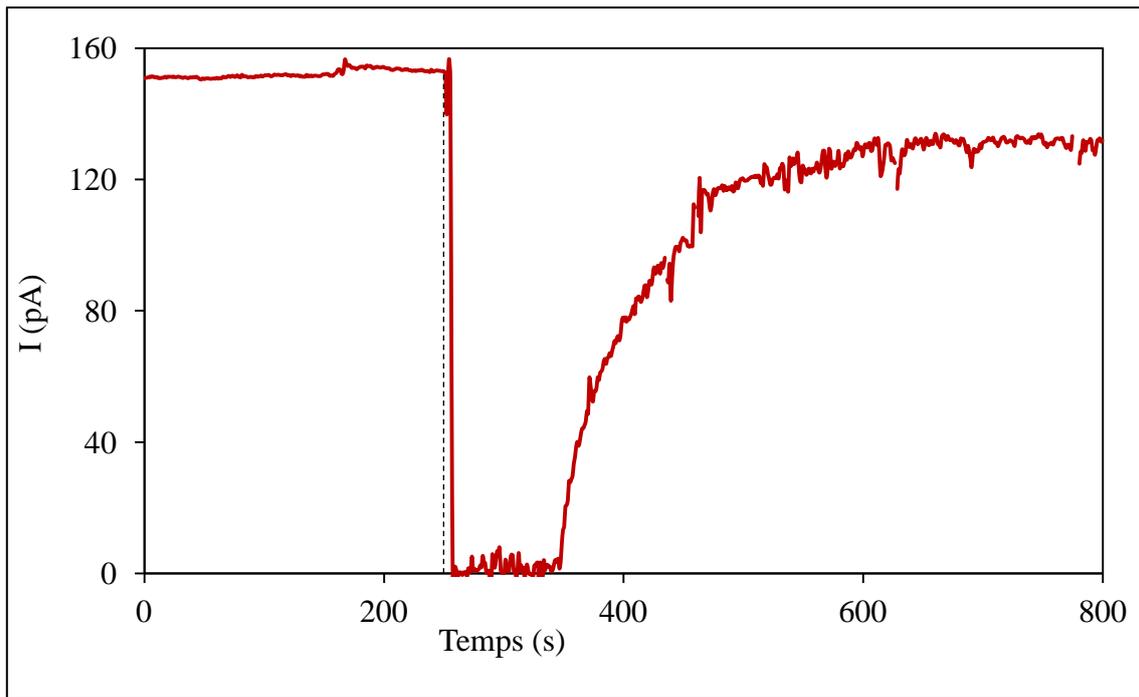


Figure 51 : Variation du courant mesuré au cours du temps. Pour une décharge Corona positive on observe la chute de courant due à la présence de fumée (à partir de 250 s) dans le détecteur. La tension sur le fil est de 2,4 kV et la tension sur la grille est de 9 V. La distance fil-grille est de 3 mm et la distance grille-électrode de mesure est de 20 mm.

IV.3.3. Vitesse de réponse

L'incendie est un phénomène très rapide. Une fois déclenché, il ne laisse que très peu de temps pour agir, c'est pourquoi la vitesse de réponse d'un détecteur d'incendie, et plus précisément d'un détecteur de fumée dans le cas présent, est l'une de ces caractéristiques la plus importante. On a comparé la réponse du prototype de détecteur réalisé avec plusieurs capteurs optiques sur le marché dont le dispositif d'alarme de fumée CALYPSO DETDA100 de la société FINSECUR. La figure 52 montre les réponses, celle du prototype de détecteur à chambre de dérive étant en haut et celle du détecteur optique en bas. Ces deux capteurs sont situés à la même distance de la source de fumée et sont positionnés de la même façon. L'axe vertical de la courbe du haut représente le courant en nano-Ampère tandis que celui de la courbe du bas est la tension sortie du détecteur optique servant au déclenchement de l'alerte sonore.

On constate sur la figure 52 que notre prototype de détecteur de fumée à chambre de dérive réagit à la fumée plusieurs secondes avant le détecteur utilisé comme référence. Il est à noter que cette différence peut être le résultat de traitements numériques dans le capteur optique ou d'une évolution de la fumée dans la zone de mesure légèrement différente pour les deux capteurs. Néanmoins, les différentes mesures réalisées ont montré que le capteur à chambre de dérive répondait en moyenne plus rapidement que le capteur optique.

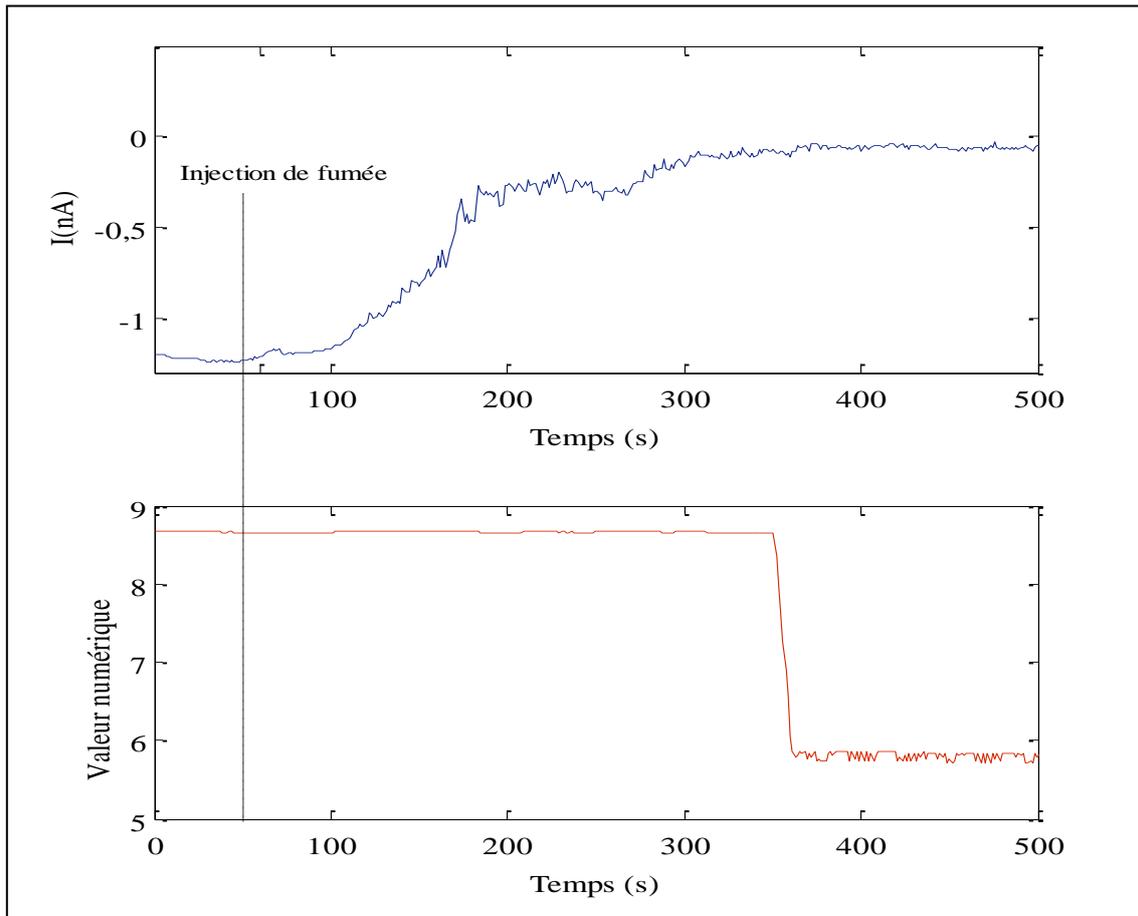


Figure 52 : Comparaison des réponses du prototype de détecteur de fumée à chambre de dérive (en haut) à un détecteur optique (en bas). Le détecteur ionique est alimenté par une tension de -3 kV sur le fil et de -9 V sur la grille, la distance entre la grille et l'électrode de mesure est de 10 mm et la distance entre la grille et le fil est de 9 mm.

La figure 53 présente une autre comparaison où le détecteur de fumée à chambre de dérive fonctionne cette fois en régime de décharge Corona positive et le détecteur avec lequel on compare notre prototype est un détecteur CAP312A de la société FINSECUR fourni avec un

boîtier et un logiciel de mesure permettant de récupérer les valeurs brutes de la réponse du détecteur optique.

On constate que dans le cas de la figure 53 pour une décharge Corona positive, comme dans le cas de la figure 52 pour une décharge Corona négative, notre prototype de détecteur de fumée à chambre de dérive réagit à la fumée plusieurs seconds avant le détecteur utilisé comme référence. Ce gain de temps est très important dans le cas d'un incendie.

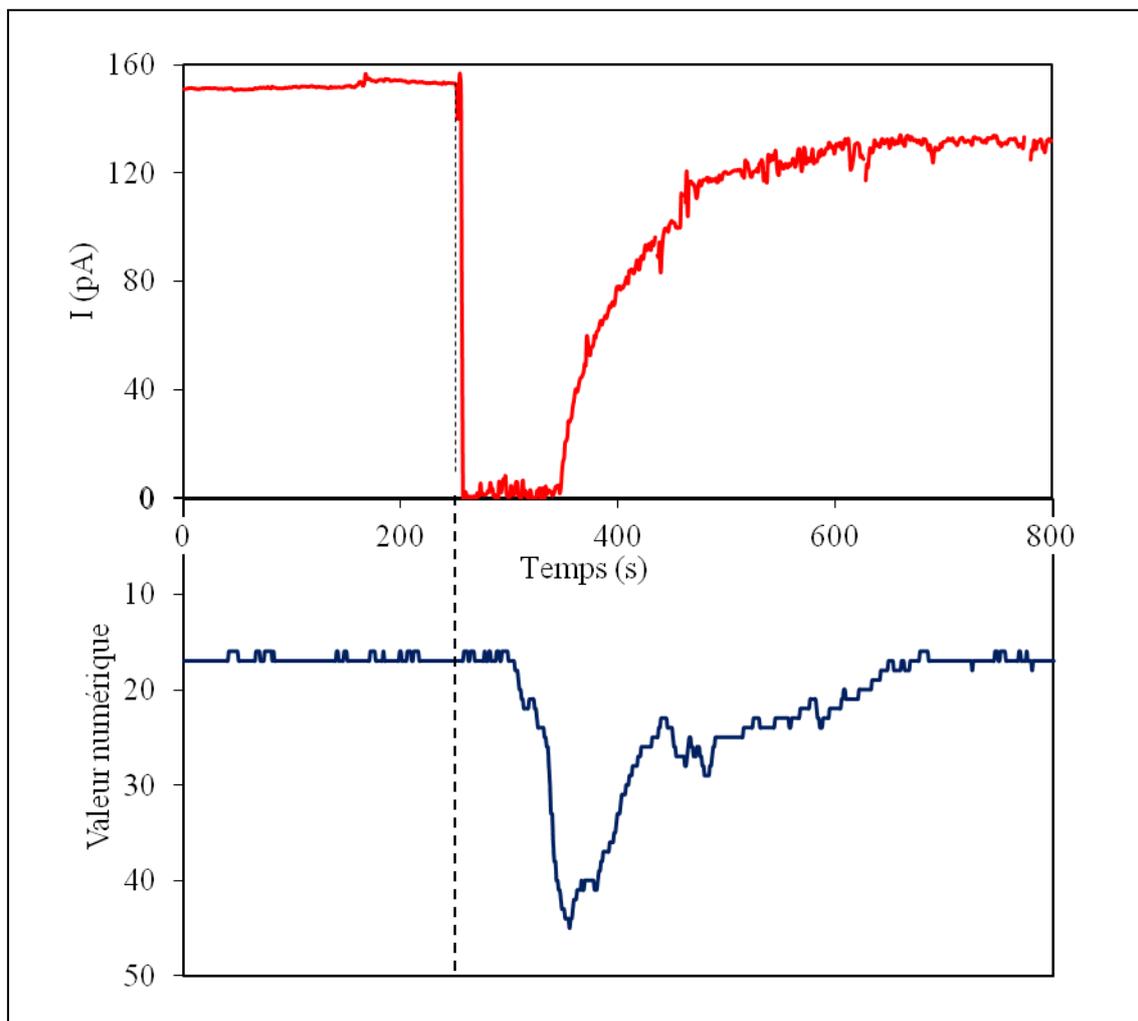


Figure 53 : Comparaison de la réponse d'un détecteur de fumée à chambre de dérive (en haut) avec un détecteur optique de la société FINSECUR (en bas). La tension appliquée sur le fil est de 2,4 kV, la tension appliquée sur la grille est de 9 V, la distance entre la grille et l'électrode de mesure est de 20 mm et la distance entre la grille et le fil est de 3 mm.

IV.3.4. Test sous conditions environnementales

Un détecteur de fumée doit fonctionner dans des conditions environnementales variées. Il doit alerter d'un feu déclenché pendant un hiver rude aussi bien que pendant l'été. Il doit fonctionner dans une ville humide à côté de la mer ou dans un lieu sec. C'est pourquoi les tests de fonctionnement en fonction du taux de l'humidité et de la température sont indispensables.

Les tests sur nos prototypes ont été effectués suivant les normes françaises des détecteurs d'incendie. Afin de réaliser les conditions nécessaires de température et d'humidité, une chambre climatique à condition constante de BINDER APT Line KMF (E5.2) est utilisée. La figure 54 montre l'emplacement du détecteur dans l'enceinte climatique. Les connections avec les appareils de mesures et l'alimentation de tension se font à travers des ouvertures dans les parois de l'enceinte.

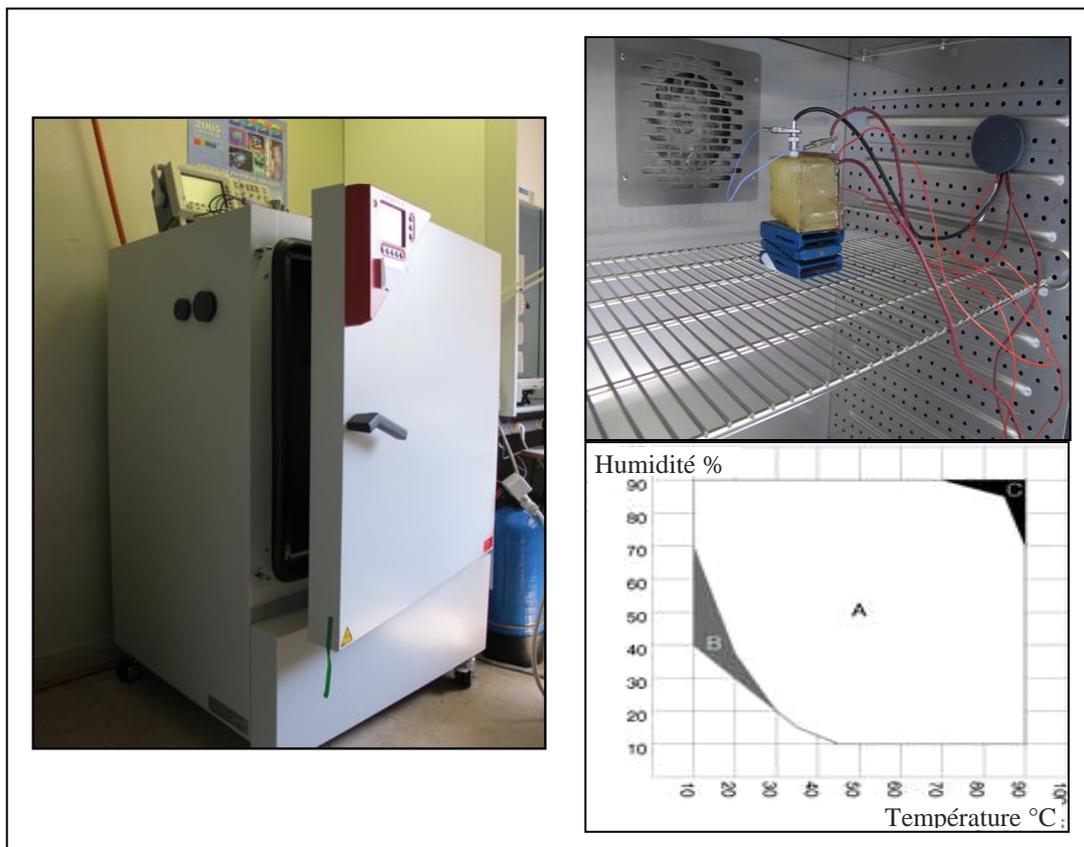


Figure 54 : Emplacement (en haut à droite) du détecteur dans l'enceinte climatique (à gauche) et diagramme climatique d'enceinte (en bas à droite).

Pour voir l'impact de la fumée sur le détecteur en condition extrême d'humidité et de température il faut un tunnel de fumée réalisé pour la mesure à l'aide de tuyaux PVC. La figure 55 présente un schéma simple de notre tunnel de fumée fabriqué autour de l'enceinte climatique.

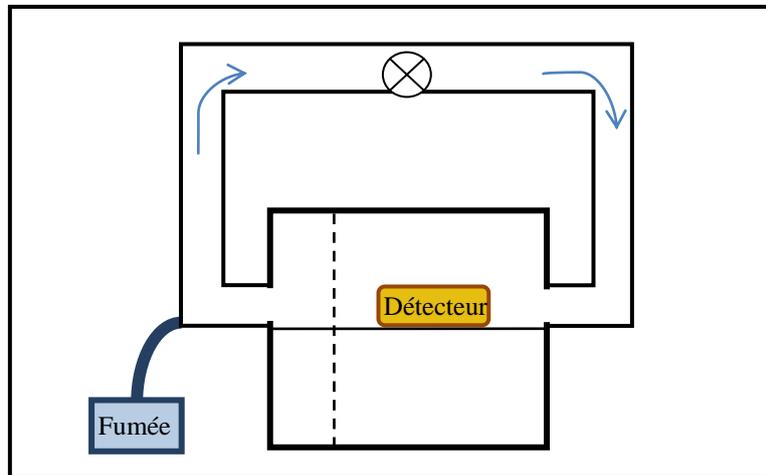


Figure 55 : Schéma du tunnel de fumée.

IV.3.4.1. Test sous conditions d'humidité élevée

Le détecteur à chambre de dérive est placé dans un environnement à une température d'environ 40°C, ayant une humidité relative d'environ 90% pendant quatre jours et on procède à la mesure du courant au cours du temps. Pour cela on a respecté une procédure de variation de température et d'humidité relative selon les normes française et dans la limite de la capacité de notre enceinte climatique qui est présenté dans la figure 56.

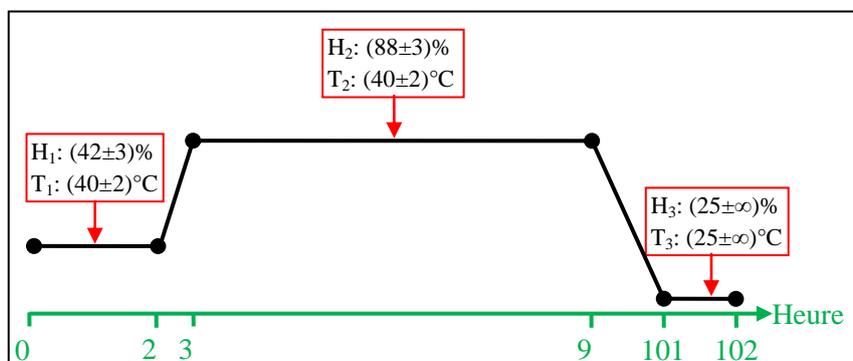


Figure 56 : Procédure de variation de température et d'humidité relative.

La température et l'humidité relative sont réglées autour de 40°C et 42% et cette condition est conservée pendant 2 heures. Ensuite l'humidité relative est augmentée jusqu'à 88% avec un taux d'augmentation de moins de 1% d'humidité relative par minute. Après avoir laissé la mesure du courant pendant 4 jours dans cette condition d'extrême, le système retourne vers les conditions d'ambiantes toujours avec une vitesse de variation plus petite que 1% d'humidité relative par minutes. La figure 57 montre le résultat de la partie des mesures dans cette situation extrême.

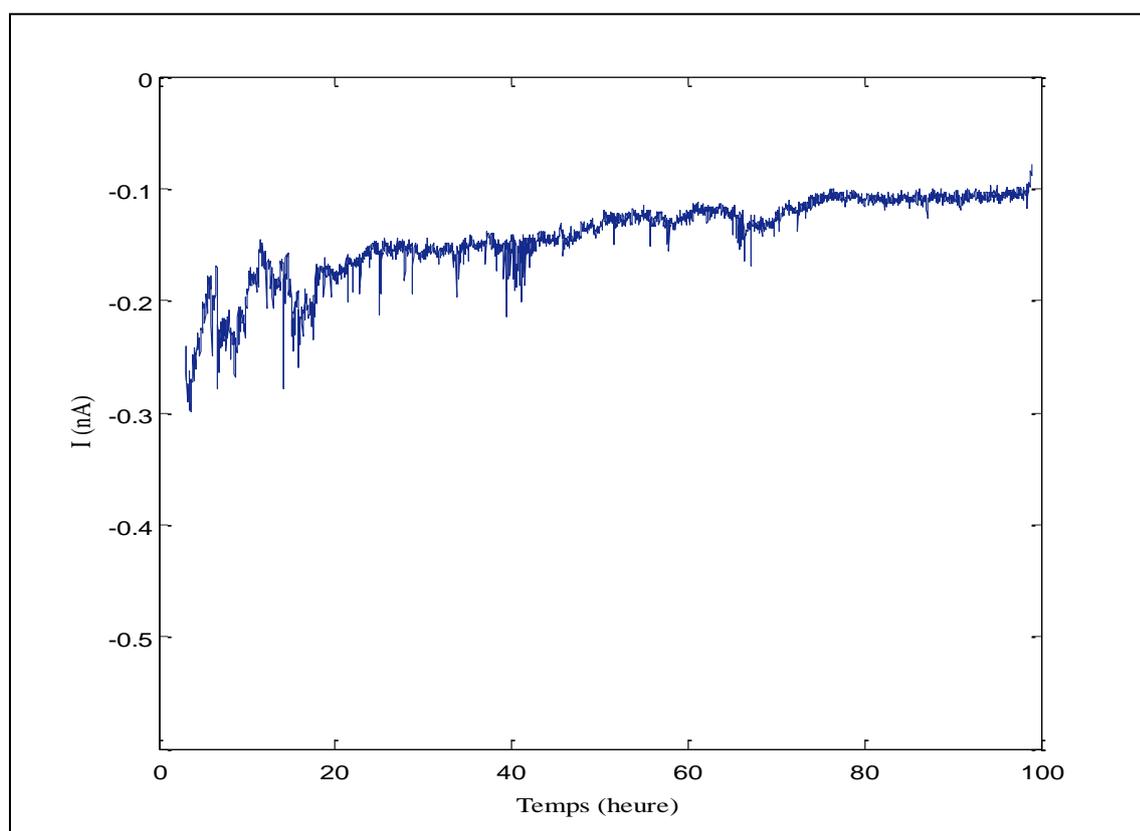


Figure 57 : Effet de l'humidité sur le détecteur à chambre de dérive. La tension appliquée sur le fil est de -2 kV et la tension appliquée sur la grille est de -18,5 V.

On constate qu'il y a très peu de fluctuations au cours de ces 4 jours. Malgré le fort taux d'humidité, le courant ne varie que de 0,1 nA, ce qui est négligeable par rapport aux variations du courant dues à la fumée observées dans plusieurs expériences présentées dans les différentes parties de ce mémoire. Cela permet de s'assurer que le détecteur ne déclenchera pas de fausses alarmes à cause des variations de l'humidité.

La figure 58 présente la réponse du détecteur de fumée à chambre de dérive, sous condition extrême d'humidité (figure 56) en présence de fumée qui est marquée avec une ligne noire. On constate que la variation du courant due à la fumée est beaucoup plus importante que sa variation due à l'humidité. L'humidité n'empêche donc pas la détection nette de la fumée. Le deuxième constat important est qu'en présence d'un pourcentage trop important d'humidité, la présence des particules de fumée augmente le courant de mesure au lieu de le diminuer vers zéro comme dans le cas ambiant. Nous reviendrons sur ce résultat dans la section IV.4.

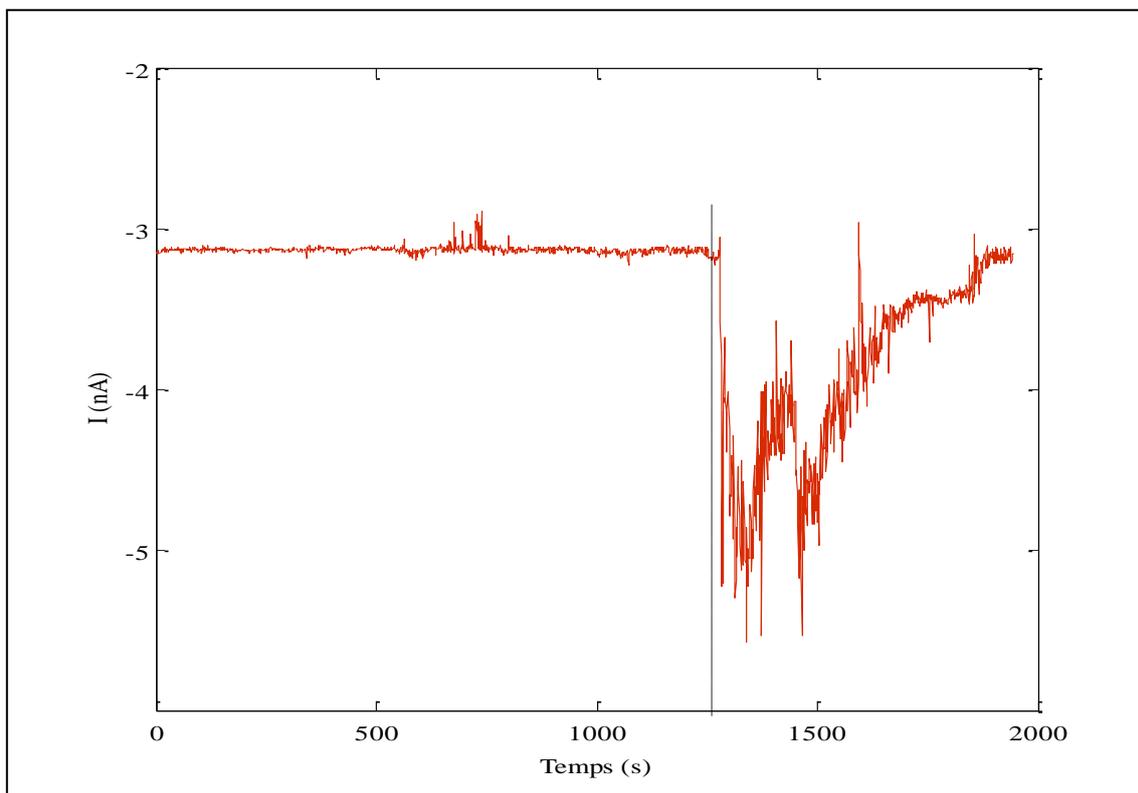


Figure 58 : Détection de la fumée par le détecteur à chambre de dérive dans un milieu à $T=40\pm 2^{\circ}\text{C}$ et $H=88\pm 3\%$. La tension appliquée sur le fil est de -2,25 kV et la tension appliquée sur la grille est de -18,5 V. La fumée est présente à partir de la ligne noire.

IV.3.4.2. Test sous chaleur

La figure 59 montre le résultat de l'effet de la chaleur sèche sur le comportement du détecteur à chambre de dérive. On constate que la chaleur sèche augmente le courant mesuré. La chaleur a donc un effet inverse à celui de la fumée. Par ailleurs, les fluctuations sont plutôt faibles comparées aux variations de courant dues à la fumée.

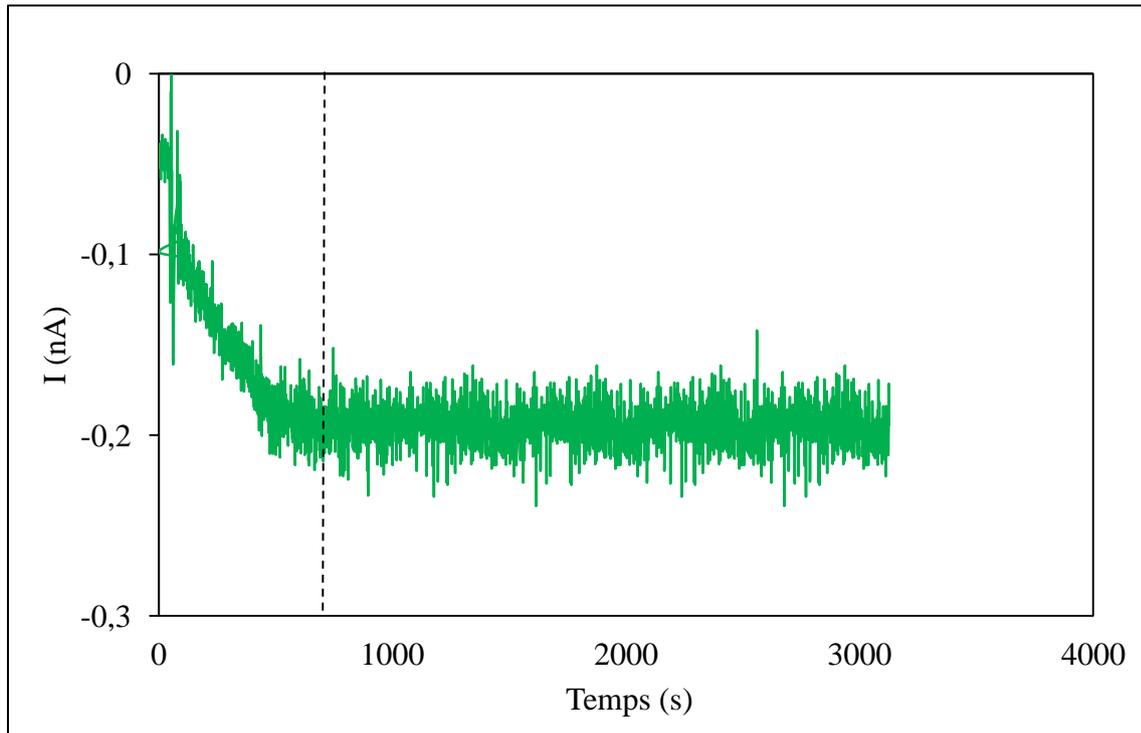


Figure 59 : Effet de la chaleur sèche sur le capteur à chambre de dérive. Tension appliquée sur le fil est de 2,24 kV et tension appliquée sur la grille est de -18,5 V. A 850 s la température arrive à $55 \pm 2^\circ\text{C}$.

La figure 60 présente l'effet de la fumée sur le détecteur à effet de champ situé dans un environnement à la température de $55 \pm 2^\circ\text{C}$. On constate que le comportement du détecteur est similaire à celui dans un environnement à température ambiante. Le courant électrique diminue fortement dès la présence des particules de fumée à l'intérieur du détecteur.

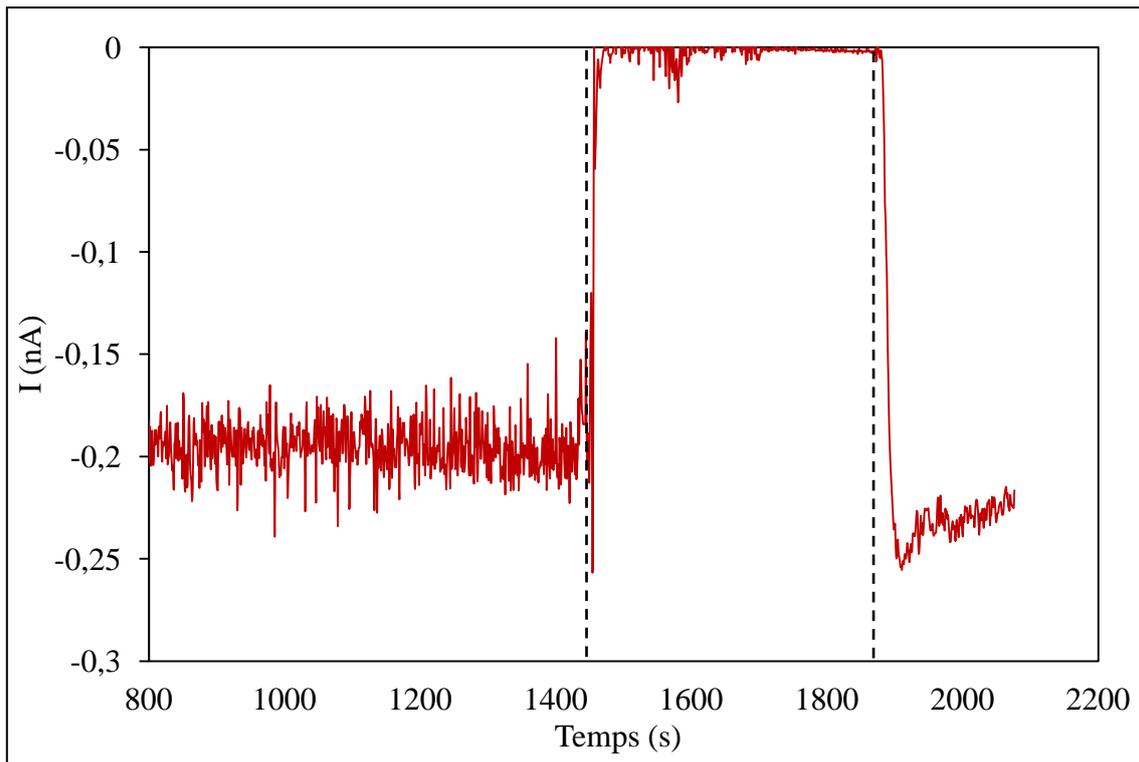


Figure 60 : Effet de la fumée sur le capteur à chambre de dérive situé dans un environnement à la température de $55 \pm 2^\circ\text{C}$. La tension appliquée sur le fil est de $-2,24 \text{ kV}$ et la tension appliquée sur la grille est de $-18,5 \text{ V}$. La fumée est présente de 1450 s à 1850 s.

IV.4. Analyse des résultats

Nos études ont montré quelques résultats importants :

- (1) Une diminution du courant en présence des particules de fumée
- (2) Une légère diminution de courant en fonction de l'humidité en absence de fumée
- (3) Une augmentation importante de courant en présence des particules de fumée dans un milieu ayant une forte humidité
- (4) Une légère augmentation de courant en fonction de la chaleur

IV.4.1. Diminution du courant en présence des particules de fumée

On a constaté que la présence des particules de fumée dans la chambre de dérive diminue considérablement le courant mesuré par l'électrode de mesure. Pour expliquer l'effet des particules de fumée sur le détecteur à champs de dérive, il faut savoir que les ions du gaz générés par effet Corona s'attachent aux particules de fumée qui entrent dans la chambre de dérive par deux mécanismes. Le premier mécanisme est l'attachement des ions aux particules lors de leur migration vers l'électrode de mesure. En effet les ions suivent les lignes de champ électrique. Quand une particule non chargée entre dans la chambre de dérive, les lignes de champs sont déviées en direction de la particule ce qui entraîne la capture d'un grand nombre d'ions par cette particule. La particule se charge jusqu'à sa charge limite qui dépend essentiellement de la taille de la particule. Le deuxième mécanisme est la charge par diffusion, dans lequel la particule acquiert une charge électrique en raison du mouvement thermique aléatoire des ions et de leurs collisions et adhésions avec les particules. En général la charge par diffusion est prédominante pour les particules de taille inférieure au micron, et la charge par effet de champ est prédominante pour les particules de diamètre supérieur au micron.

La mobilité des aérosols d'un diamètre de l'ordre du micromètre, comme dans le cas des particules de fumée, est d'environ $10^{-5} \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ qui est de 4 à 5 ordres de grandeur plus petite que celle des particules d'air pur [52]. Donc une fois les particules de fumée chargées, la mobilité moyenne des ions diminue dans la chambre de dérive ce qui entraîne une augmentation locale de la densité de charges. L'accumulation locale des ions lourds crée un champ opposé au champ de dérive et donc empêche l'entrée de nouvelles charges dans la chambre de dérive. Cela entraîne une diminution importante du courant mesuré.

IV.4.2. Diminution de courant en fonction de l'humidité

On a constaté que l'effet de l'humidité sur notre détecteur est négligeable. En effet l'humidité a deux effets sur une décharge. D'un côté quand l'humidité relative augmente, le nombre de particules augmente ce qui aide à l'amorce de la décharge. Ce phénomène présenté par plusieurs recherches [53] est lié au fait que l'augmentation de l'humidité se traduit par une croissance de la densité des molécules (H_2O) qui sont facilement ionisables ce qui entraîne

une augmentation de densité des particules chargés et donc une augmentation du courant ionique. D'un autre côté, l'augmentation de l'humidité entraîne une augmentation de la densité de l'air. D'après Langevin [54] l'augmentation de la densité d'un gaz entraîne une augmentation du nombre de collisions ion-molécule qui baisse la mobilité des ions et donc leur courant. C'est ce deuxième effet qui fait que l'augmentation du courant en fonction de l'humidité est compensée.

IV.4.3. Augmentation du courant en présence de particules de fumée dans un milieu fortement humide

On a constaté que dans un milieu à l'humidité relative d'environ 90% et à la température de 40°C, la présence des particules de fumée fait augmenter fortement le courant au lieu de le diminuer comme c'est le cas dans un environnement avec une humidité et une température ambiantes.

Une hypothèse qui peut expliquer ce phénomène est la condensation d'eau sur les particules de fumée dans la chambre d'ionisation. Ces particules lourdes sont chargées par les molécules d'eau ou les particules de fumée préalablement ionisées au voisinage du fil sous haute tension. Elles sont ensuite accélérées dans le champ électrique du fil, et leur inertie élevée empêche le champ de dérive de suffisamment les ralentir. Ces particules lourdes arrivent donc sur l'électrode de mesure avec une vitesse relativement importante produisant un courant élevé. La réduction du courant due aux particules de fumée dans la chambre de dérive n'est pas suffisante pour compenser l'augmentation due aux particules lourdes provenant de la chambre d'ionisation.

IV.4.4. Augmentation de courant en fonction de la chaleur

La légère augmentation de courant détectée pour une température de 55°C peut être causée par l'agitation thermique des ions qui contribuent à augmenter les collisions avec les parois et donc augmenter le courant.

L'effet de la fumée dans le cas de la température élevée est explicable de la même manière que dans le cas de la température ambiante.

IV.5. Variation des paramètres géométrique

Le prototype de détecteur à chambre de dérive peut encore être modifié. Plusieurs paramètres sont optimisables comme la génération de la décharge, la hauteur de la chambre d'ionisation ou de dérive, la taille de la grille.

IV.5.1. Optimisation de la génération de la décharge

L'électrode génératrice de la décharge Corona est un fil. Plus il est fin, plus le seuil de décharge diminue. Par conséquent, pour une tension appliquée donnée, le nombre d'ions générés augmente pour un fil fin. La figure 61 montre l'évolution du courant au cours du temps en présence de fumée pour un détecteur à chambre de dérive qui comprend un fil de 25 μm de diamètre et un fil de 10 μm de diamètre, sous la même tension appliquée. On constate que la valeur absolue du courant créé par un fil de 10 μm est plus élevée que celle obtenue en présence d'un fil de 25 μm . La variation de courant sous l'effet de la fumée est alors plus importante dans le cas du fil fin. L'utilisation de couches minces et de fils nanométriques peut augmenter encore plus cette variation de courant.

Deux avantages sont alors à noter. Premièrement avec un fil plus fin, la différence de courant entre l'état sans et avec la fumée augmente, ce qui améliore la qualité de détection. Deuxièmement puisque la sensibilité entre les deux états augmente, on peut diminuer la valeur de la haute tension appliquée sur l'électrode de décharge.

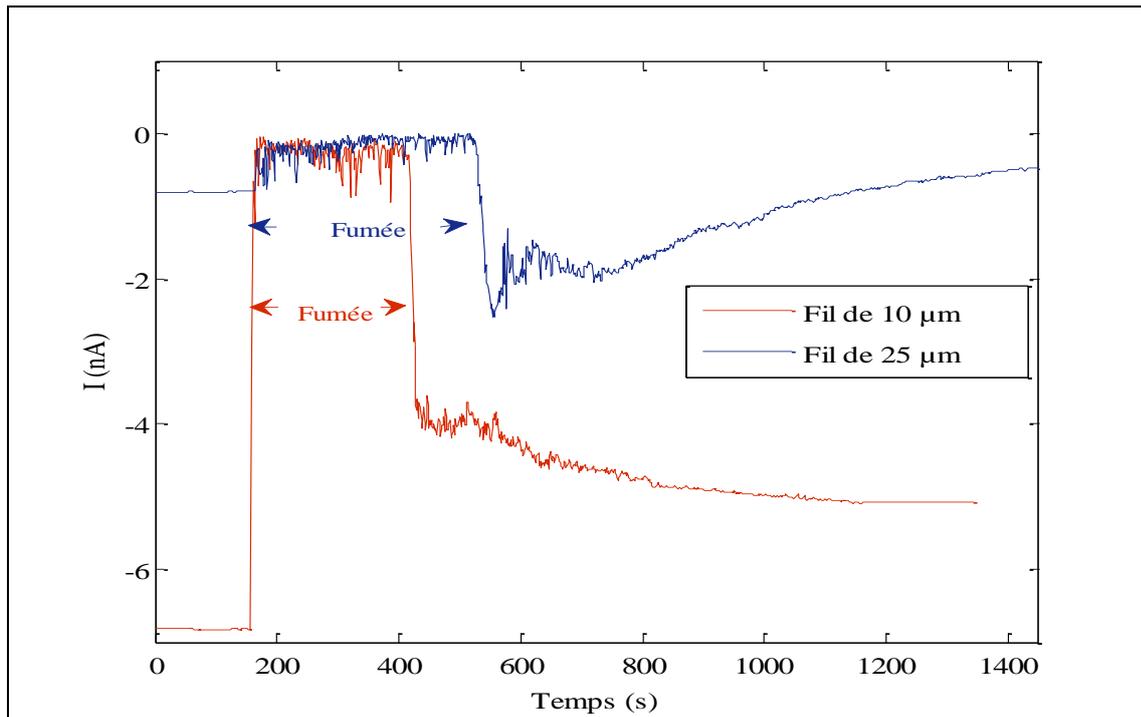


Figure 61 : Effet de la fumée sur le courant Corona créé sous la tension de -2,2 kV sur le fil et -37 V sur la grille. La distance fil-grille est de 9 mm et la distance grille-électrode de mesure est de 8 mm.

IV.5.2. Optimisation de la hauteur de la chambre à d'ionisation

La hauteur de la chambre d'ionisation, qui est la distance entre l'électrode active de décharge et la grille qui sépare les chambres d'ionisation et de dérive doit être réfléchi. En augmentant cette distance, le nombre d'ions qui traversent la grille et qui entrent dans la chambre de dérive diminue. Cela est dû à une perte plus importante de charges vers la masse et une décharge moins importante à cause de la diminution du champ électrique.

IV.5.3. Optimisation de la grille

Une grille est définie par plusieurs éléments qui sont l'ouverture de maille, le diamètre de fil, la matière et le mode de tissage de la grille. Plusieurs grilles ont été testées et on a constaté que si la grille a des ouvertures très larges, le champ électrique dans la chambre de dérive n'est pas homogène et cela diminue la qualité de la détection de la fumée. En effet pour une grille dont l'ouverture est d'environ 4 à 5 mm on constate un courant très fort qui est dû au passage d'un grand nombre d'électrons à travers de grille mais la détection de la fumée ne se

fait pas parce que ces électrons ont une vitesse trop élevée. Ils ne suivent pas les lignes de champs imposées par les piles dans la chambre de dérive.

Une grille très fine empêche le passage des ions et diminue le nombre d'ions qui entrent dans la chambre de dérive. La grille choisie pour les expériences est faite de fils d'un diamètre de 0,4 mm espacés de 1,4 mm.

IV.5.4. Optimisation de la hauteur de la chambre de dérive

La chambre de dérive doit être suffisamment grande pour que le champ électrique ne soit pas perturbé par la grille et que la vitesse des électrons diminue suffisamment en traversant la chambre pour pouvoir interagir avec des particules de fumée. Par ailleurs, plus la hauteur de la chambre est proche du minimum, plus le courant de dérive sans la fumée est élevé ce qui affecte la détection de la fumée. L'effet de la hauteur de la chambre de dérive est présenté sur la figure 62.

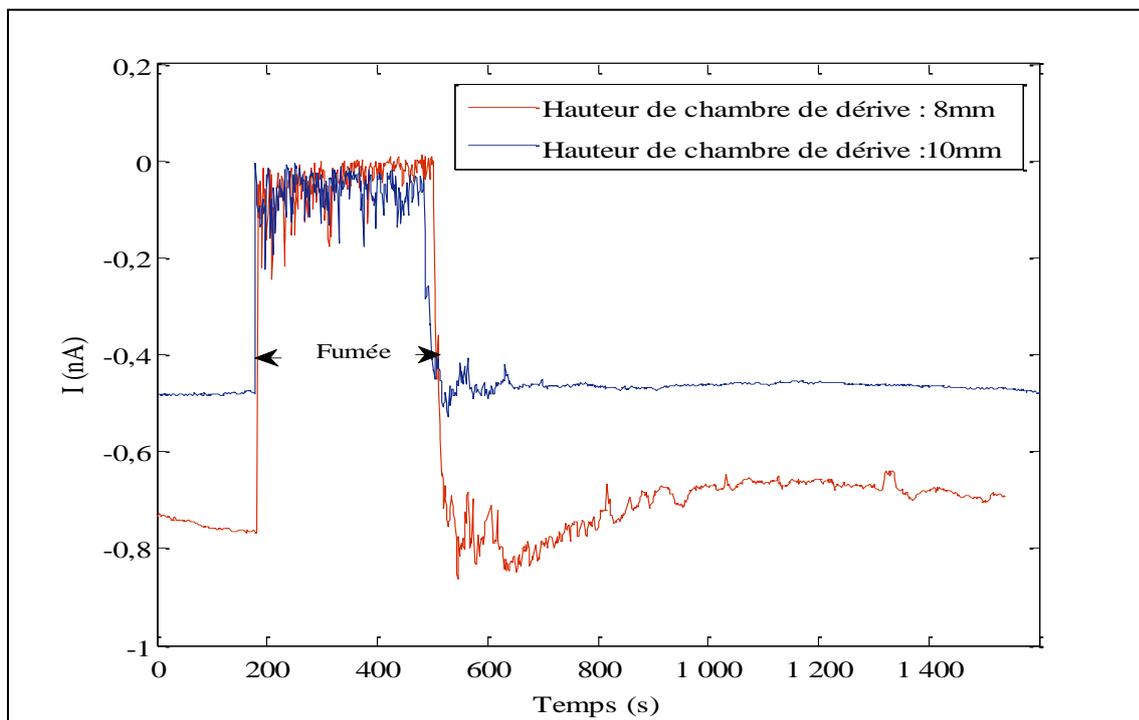


Figure 62 : Effet de la fumée sur le courant Corona créé sous une tension de -2,2 kV sur le fil de 25 μ m de diamètre. La tension sur la grille est de -19 V. La distance fil-grille est de 9 mm.

On constate que plus la hauteur de la chambre est petite plus le courant est fort. Pour notre prototype on a choisi une hauteur de 20 mm.

Chapitre V

Détecteur ionique de fumée à effet de seuil

Contrairement au détecteur présenté au chapitre IV, le détecteur de fumée à seuil ne contient qu'une seule chambre contenant deux électrodes, l'une active pour générer l'effet Corona, l'autre passive pour la mesure. Le contrôle du courant de décharge et de la vitesse des charges produites se fait en baissant significativement la tension appliquée à l'électrode active. La région d'ionisation autour de l'électrode active étant alors réduite, il en découle que très peu d'ions sont générés dans la région de décharge. Le libre parcours moyen des ions dans l'air étant de l'ordre de quelques dizaines de nanomètres, les ions générés sont éliminés avant d'arriver à l'électrode passive. Le courant ionique mesuré sur l'électrode passive est alors de l'ordre de grandeur du bruit de l'environnement, moins de 0,1 pA sans fumée. Il y a donc un courant négligeable mesuré sur l'électrode passive. Cependant, l'effet des particules de fumée sur les caractéristiques de l'air à l'intérieur du détecteur déclenche la création de nombreux ions supplémentaires pour que l'électrode de mesure reçoive un courant électrique significatif, signature de la présence de fumée.

V.1. Configurations géométriques

La chambre de ce détecteur comprend une ou des électrodes (électrode active) de faible rayon de courbure (des fils ou des pointes par exemple), sous une tension électrique moyenne et une électrode large de forme cylindrique, ou plane pour collecter les charges créées par l'électrode active. Cette électrode est reliée à la masse via un appareil de mesure de courant. L'ensemble du détecteur doit être protégé du bruit électromagnétique de l'extérieur, surtout du bruit à 50 Hz. Pour cela le prototype réalisé est protégé durant les mesures par une grille ou bien il est positionné avec les appareils de mesure de courant dans une cage Faraday.

La figure 64 présente schématiquement quelques configurations pour ce détecteur (vue en perspective ou en coupe). La décharge Corona est provoquée soit par un fil (configurations a et b), soit par une pointe (configuration c). Tous ces schémas comprennent aussi la grille de protection pour les expérimentations. La configuration filaire a été préférée pour la fabrication des prototypes.

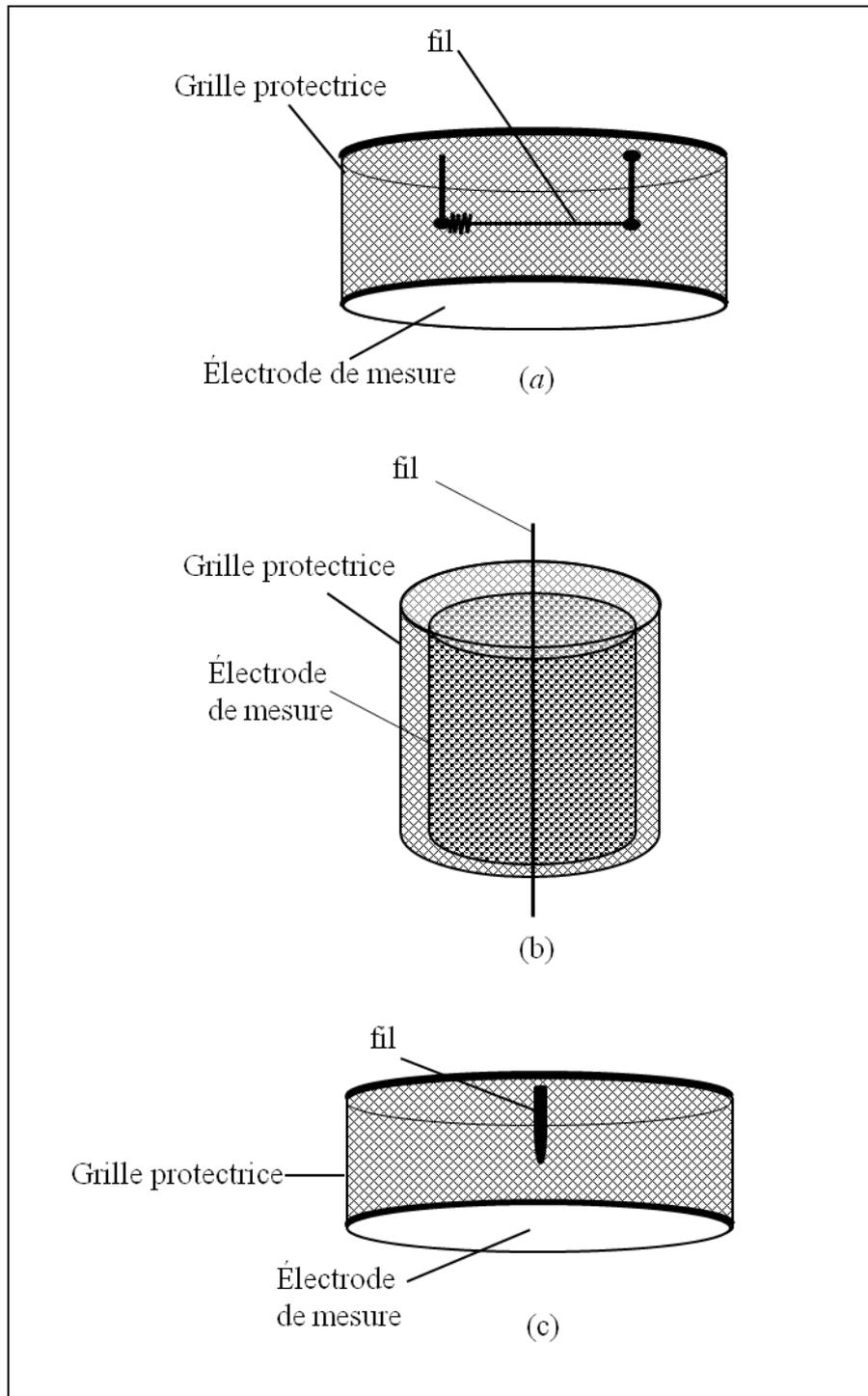


Figure 64 : Configurations fil-plan (a), fil-cylindre (b) et point-plan (c) utilisables pour un détecteur ionique à effet de seuil.

Dans le cadre expérimental, nous nous sommes intéressés à deux configurations filaires, une cylindrique et une plane.

Pour le prototype cylindrique (figure 65) un fil de tungstène de 25 μm de diamètre recouvert d'or est centré dans un cylindre en acier inoxydable de 18 mm de rayon et de 30 cm de longueur. Un ressort très fin est utilisé pour soutenir et tendre le fil parallèle aux parois du cylindre. Contrairement aux schémas présentés sur la figure 64, ce prototype ne contient pas la grille protectrice.

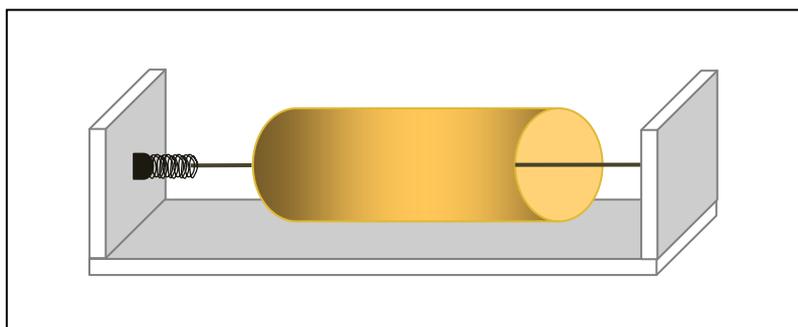


Figure 65 : Schéma d'un prototype de détecteur cylindrique à effet de seuil.

Le dispositif expérimental est présenté sur la figure 66. Le détecteur est protégé du bruit électromagnétique grâce à une cage de Faraday qui contient le détecteur et l'appareil de mesure.

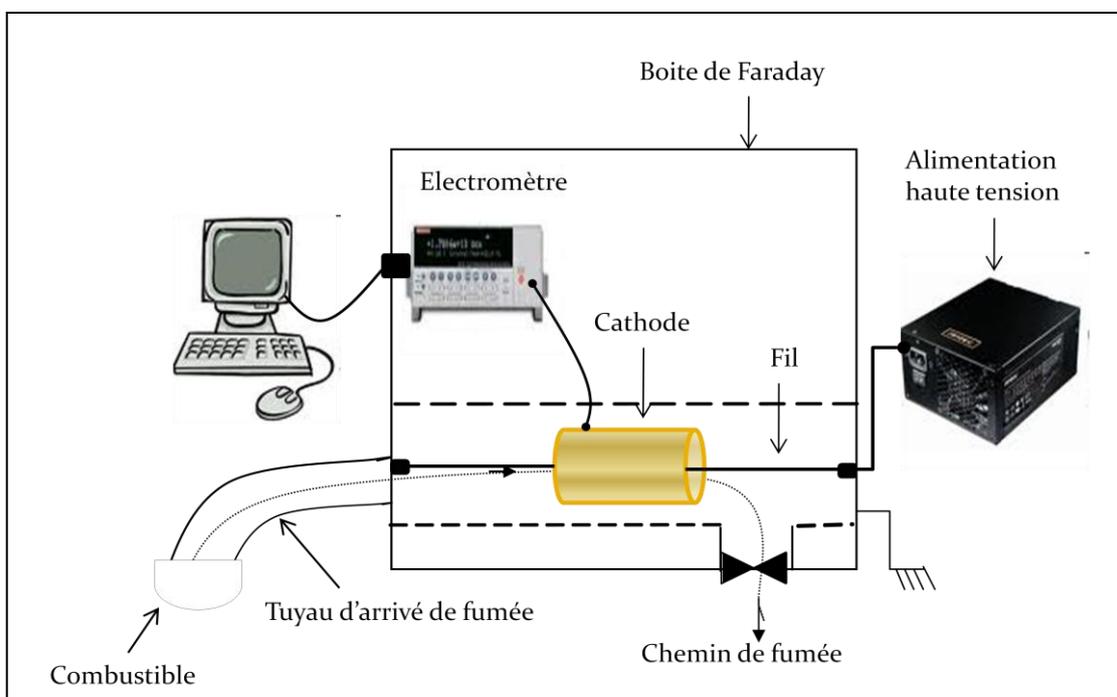


Figure 66 : dispositif expérimental utilisant le prototype du détecteur filaire cylindrique.

L'alimentation et l'ordinateur sont placés à l'extérieur de la cage de Faraday. Pour limiter le bruit électromagnétique sur les fils électriques, les connexions vers l'extérieur de la cage se font par des connecteurs BNC et des fils coaxiaux blindés.

Pour le prototype plan, schématisé sur la figure 67, le fil a les mêmes caractéristiques que celui utilisé dans le prototype cylindrique. Il est placé parallèlement devant un disque plan de cuivre de 5 cm de diamètre. La distance entre le fil et le disque est de 7 mm. L'ensemble est protégé par une grille de protection.

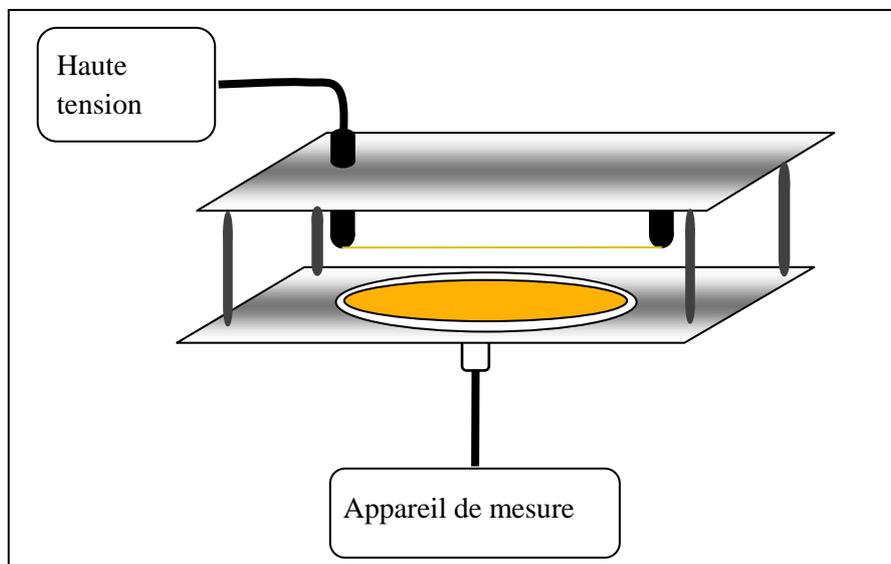


Figure 67 : Prototype du détecteur filaire plan. La grille protectrice autour du prototype n'est pas dessinée sur la figure.

Une tension continue est appliquée au fil. Cette tension est moins élevée que celle utilisée pour le détecteur à chambre de dérive, de sorte à ne pas déclencher l'effet Corona. La procédure générale des mesures est similaire à celle du détecteur à chambre de dérive, à la différence près que le courant mesuré par l'appareil de mesure est très faible et négligeable en l'absence de fumée. C'est l'entrée de la fumée à l'intérieur de la chambre du détecteur qui déclenche l'effet Corona et produit ainsi un courant mesuré par l'électromètre.

Dans le cadre de nos études, on a utilisé les deux prototypes, le premier pour les expériences de validation de concepts et l'optimisation des résultats, et le deuxième pour vérifier l'impact des paramètres environnementaux sur le détecteur.

V.2. Résultats et discussion

V.2.1. Courant mesuré en présence de fumée

Dans la suite on présente les résultats de quelques expériences effectuées avec le prototype de détecteur à effet de seuil. La figure 68 présente l'effet de la fumée sur le détecteur à effet de seuil sous une tension appliquée de 1 kV. En l'absence de fumée cette tension est en dessous du seuil de déclenchement d'une décharge Corona dans la géométrie considérée.

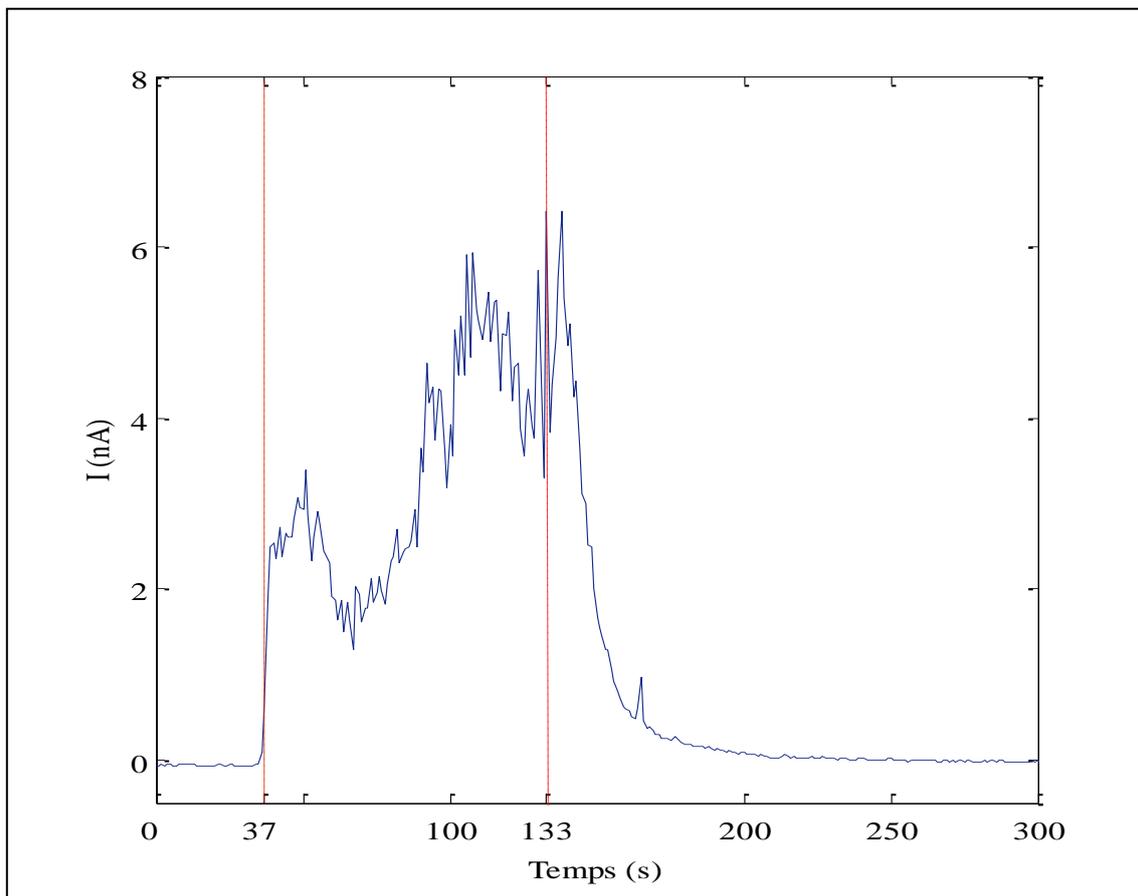


Figure 68 : Réponse du prototype cylindrique sous la tension de 1 kV. Le champ électrique est de 11×10^6 V/m sur le fil. La fumée est présentée au capteur dans le laps de temps compris entre les deux lignes rouges.

On observe qu'avant l'envoi de la fumée à l'intérieur du détecteur, le courant, est négligeable de l'ordre de 0,1 pA. Immédiatement après l'entrée de la fumée dans le détecteur, un courant très important de l'ordre de 3 nA se déclenche. Ce courant subsiste jusqu'à l'évacuation complète de la fumée.

Plusieurs expériences sont effectuées avec le détecteur cylindrique sous différentes tensions de 0 à 1 kV. On constate que le courant généré en présence de la fumée se répète dans toutes les expériences même sous des tensions très faibles. La figure 69 montre l'effet de la fumée pour une tension appliquée au fil de seulement 160 V. On constate sur cette figure que même à ce très faible niveau de tension un courant de l'ordre de 20 pA est généré.

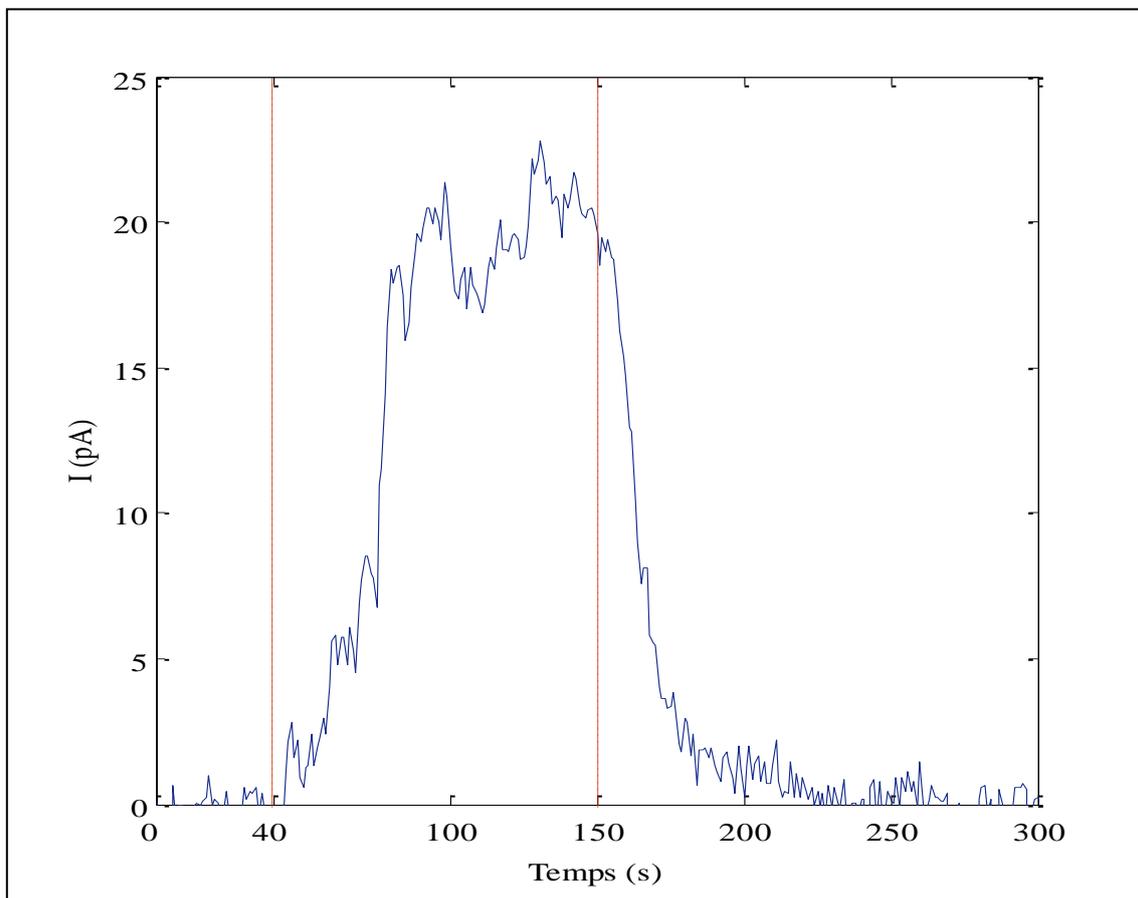


Figure 69 : Réponse du prototype cylindrique sous une tension de 160 V (le champ électrique de $1,76 \times 10^6$ V/m sur le fil). La fumée est présentée au capteur dans le laps de temps entre les deux lignes rouges.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer les phénomènes observés. La première hypothèse est que les ions véhiculés avec la fumée produisent ce courant. La seconde hypothèse est que le

courant observé est de nature électrochimique. La troisième hypothèse est la diminution du seuil de décharge due à la présence des particules de fumée.

Si la première hypothèse est exacte, le détecteur à effet de seuil aura moins d'intérêt puisque ce ne sont pas les particules de fumée qui sont détectés mais les charges qui les accompagnent. Dans ce cas si la fumée créée ne contient pas ou contient peu de charges, elle ne sera pas détectable.

V.2.2. Expériences avec un générateur d'ion

Pour vérifier la première hypothèse, On utilise un générateur d'ions à la place de la fumée. La figure 70 montre le signal obtenu sous différentes tensions. On constate une augmentation significative du courant de l'ordre de 10 pA avec le générateur utilisé. Cela montre l'influence des charges véhiculées avec la fumée.

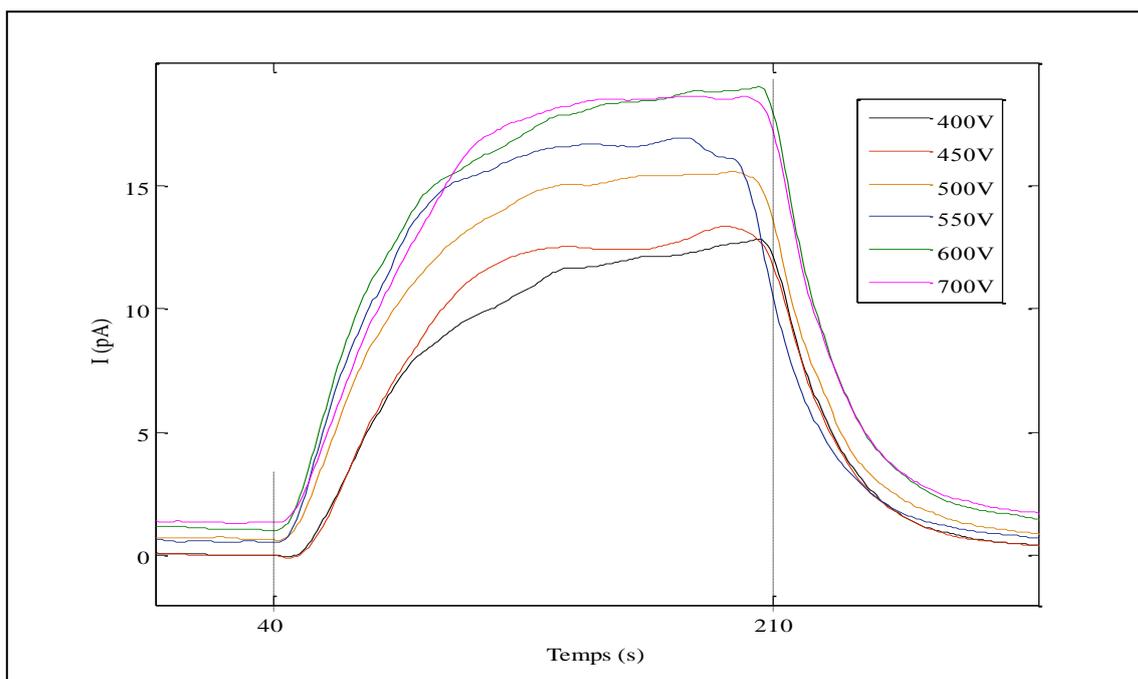


Figure 70 : Réponse du prototype de détecteur à effet de seuil sous différentes tensions, aux charges d'un générateur d'ions.

Les charges de la fumée ne sont pas neutralisées malgré la longue distance parcourue dans le tuyau avant d'entrer dans le détecteur. Afin de les éliminer complètement, une grille métallique connectée à la masse est placée à l'entrée de la cage de mesure. Ainsi lorsque les

charges de la fumée entre dans la cage, elles sont neutralisées par la grille. La fumée entre neutralisées dans le capteur.

Le choix de la taille des trous de la grille est très important. Si les trous sont trop petits la fumée ne peut plus passer par la grille et si les trous sont trop grands les ions ne sont pas complètement neutralisés par la grille. Selon la granulométrie de la fumée utilisée, la valeur moyenne des particules de fumée se situe autour de $0,9 \mu\text{m}$. Les trous de la grille choisie ont un diamètre de quelques dizaines de microns. Dans cette ordre de grandeur, différentes tailles de maille de grille ont été testées avec une source de charges pour trouver la taille de maille la plus efficace. La figure 71 présente le résultat de ces tests. On constate qu'une taille de maille de $72 \mu\text{m}$ est suffisante pour éliminer presque toutes les charges sans impacter de manière trop importante le passage de la fumée.

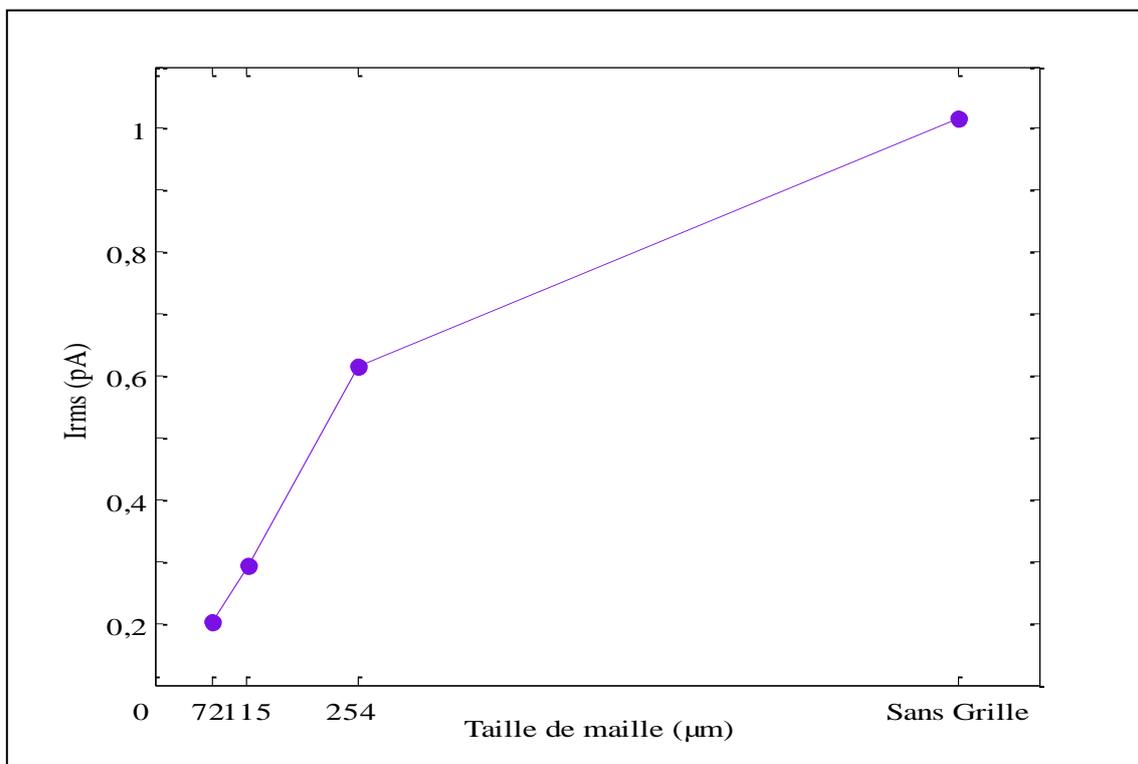


Figure 71 : Courant produit par un générateur d'ions pour différentes tailles de maille. La tension appliquée au fil est de 0 V.

En effectuant à nouveau les mesures sous tension avec et sans la grille de $72,5 \mu\text{m}$ et le générateur de charges, on observe sur les résultats présentés sur la figure 72 que le signal en présence de la grille reste négligeable.

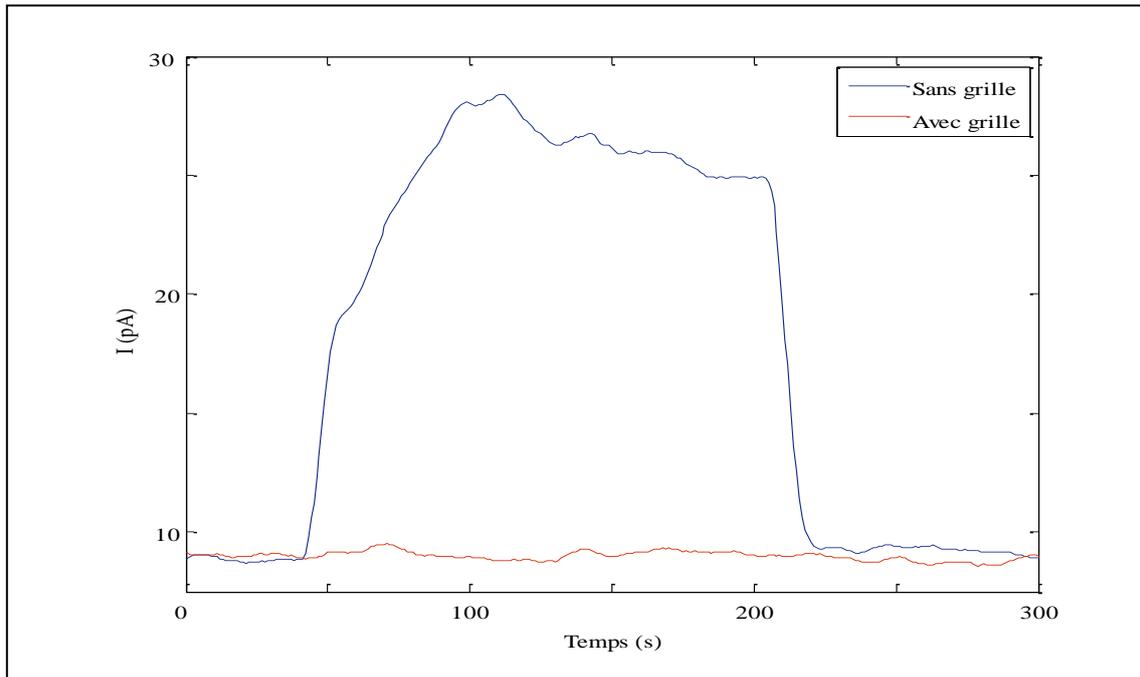


Figure 72 : Sous 1200 V, les ions sont éjectés dans le capteur en présence (courbe rouge) ou l'absence (courbe bleu) d'une grille à l'entrée.

Cela montre que la grille est très efficace et que presque toutes les charges sont neutralisées par la grille. Maintenant si le détecteur agit toujours en présence des particules de fumée, le courant sera dû seulement à l'effet des particules et pas à l'effet des charges.

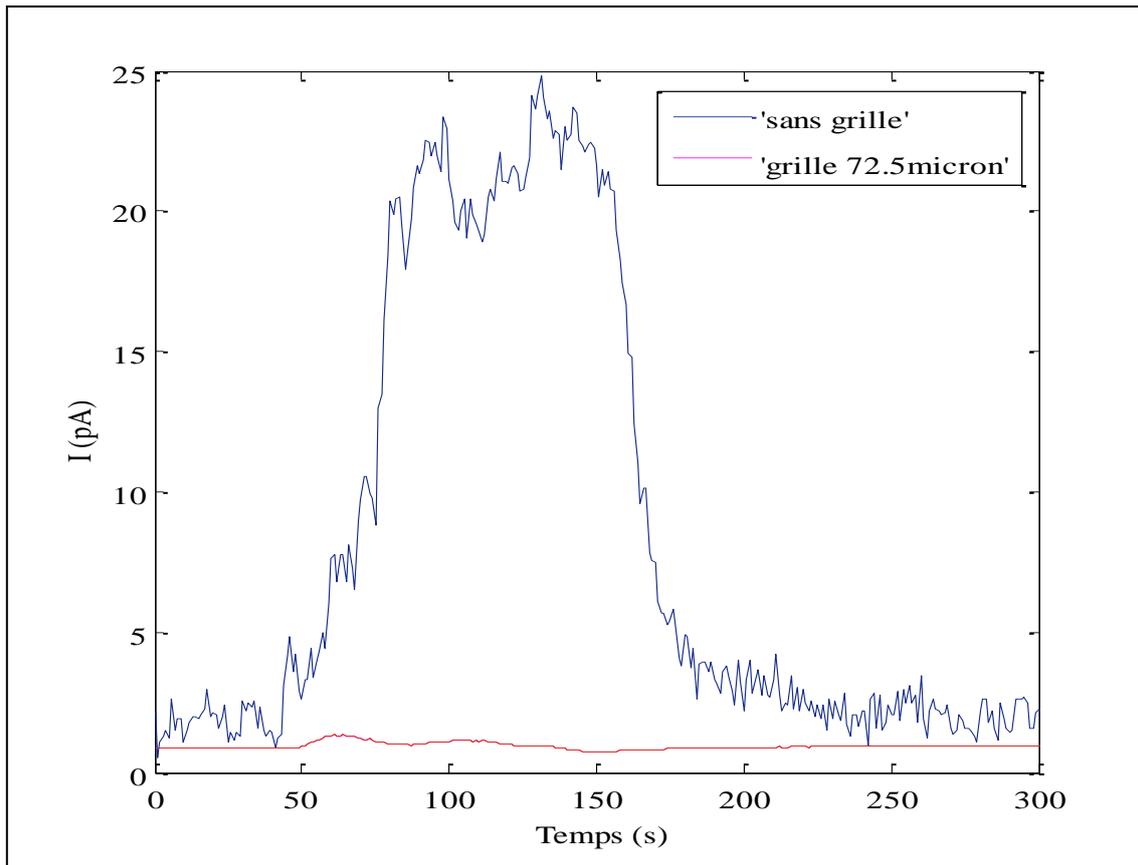


Figure 73 : Sous 160 V, la fumée est éjectée dans le capteur en présence (courbe rouge) ou l'absence (courbe bleu) d'une grille à l'entrée.

La figure 73 montre les résultats de cette expérience sous une faible tension dans un premier temps. On remarque qu'en présence de fumée et de la grille le signal devient négligeable. En revanche pour des tensions plus élevées la présence de la grille n'affecte pas le signal. La figure 74 montre en effet que l'application d'une tension suffisante permet de générer un fort courant.

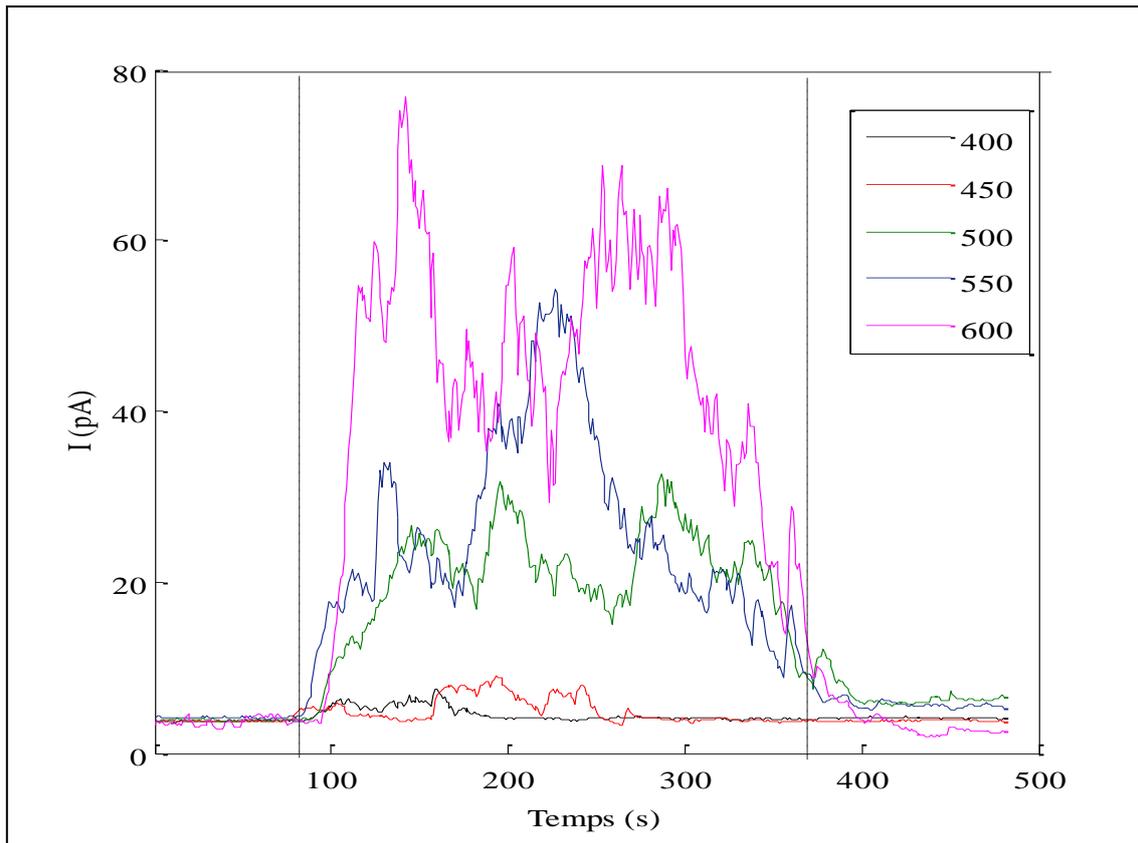


Figure 74 : Courant dû aux particules de fumée pour différentes tensions appliquée au fil. La fumée est entrée dans le détecteur dans laps de temps entre les deux lignes noires.

Si on trace la valeur moyenne du signal en présence de fumée en fonction de la tension (figure 75), on remarque que le seuil de déclenchement de ce fort courant est de l'ordre de 450 V. Il peut donc être conclu que ce n'est pas la présence de charge dans la fumée qui est à l'origine du signal.

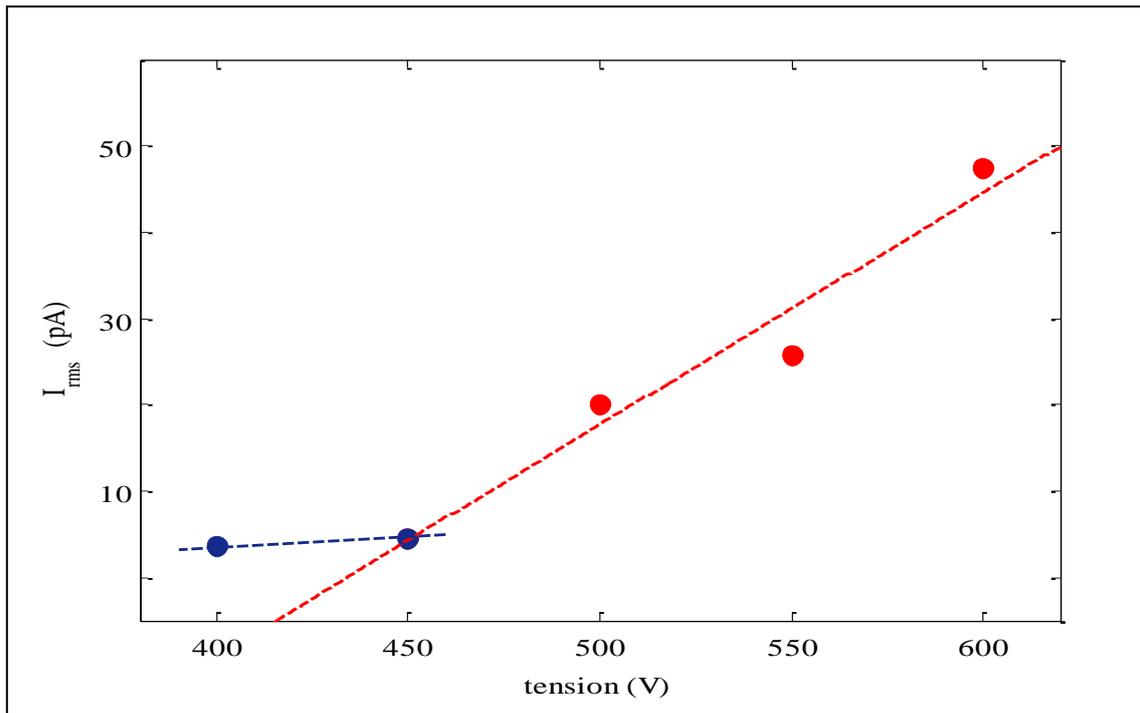


Figure 75 : Valeur efficace (rms) du courant dû aux particules de fumée pour différentes tensions appliquée au fil.

V.2.3. Expérience à champ électrique nul

La seconde hypothèse repose sur un effet électrochimique. Pour tester cette hypothèse, une mesure a été faite sous un champ nul. Le résultat est présenté sur la figure 76.

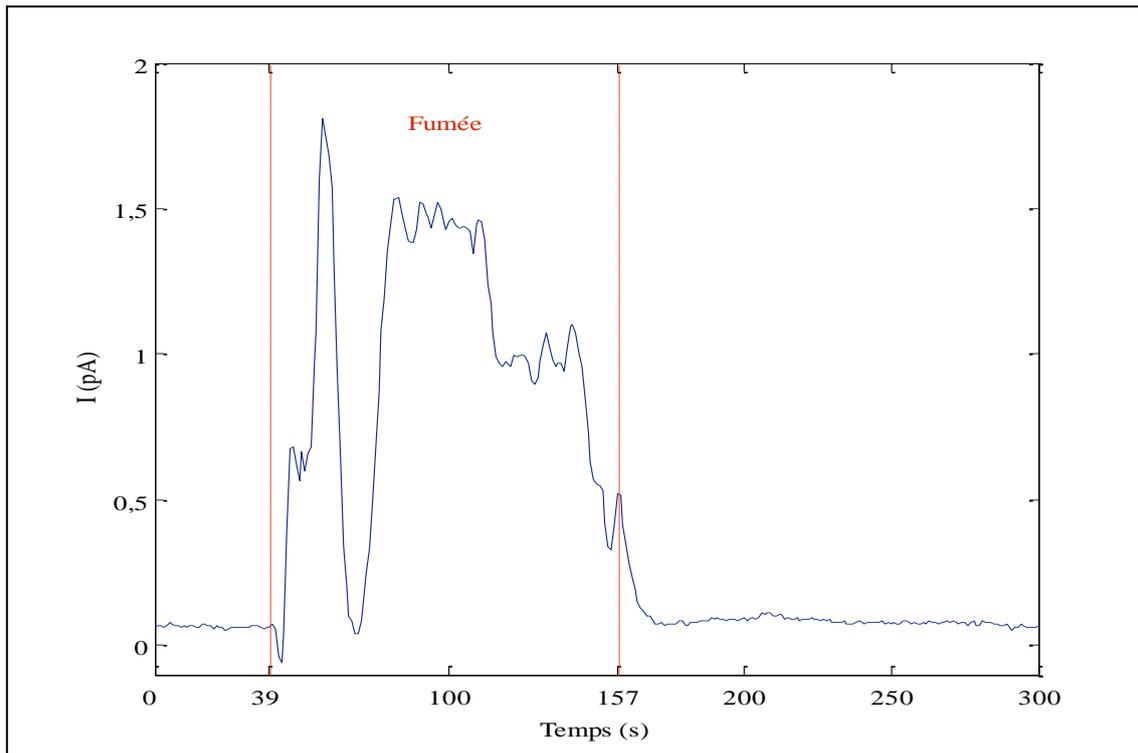


Figure 76 : La variation de courant en présence de fumée à la tension 0 V.

On peut remarquer qu'un signal est visible mais que son amplitude est relativement faible (1,5 pA) comparé à celui en présence du champ électrique. Par ailleurs le phénomène électrochimique ne dépend à priori pas de la tension appliquée. La figure 75 montrant le contraire, on peut dire que cet effet est négligeable dans ce prototype. Cet effet parasite est souvent constaté dans différents expériences comme par exemple dans le cas du détecteur photoélectrique. Cet effet peut fausser les résultats et générer des charges surfaciques. Pour empêcher cette perturbation il faut utiliser les électrodes peu réactive c'est pourquoi on a utilisé un cylindre en acier inox dans le cas du détecteur cylindrique et une électrode protégée par une couche mince de Platine dans le cas du détecteur planaire.

V.2.4. Origine de la baisse du seuil de la détection

Comme les figures 74 et 75 le montrent, la tension de seuil de la détection des particules de fumée est d'environ 450 V. Pour les tensions moins importantes que cette valeur, le signal induit est relativement petit. Ainsi on constate que le seuil d'ionisation en présence des particules de fumée est beaucoup moins grand que le seuil de décharge en l'absence de

particules de fumée pour le même système. La tension de 450 V correspond à un champ électrique de 4,95 kV/mm sur le fil qui est donc le champ minimum nécessaire pour la détection de la fumée.

Puisque sous 450 V aucune décharge mesurable n'est vraiment observée dans notre géométrie, on peut supposer que le champ électrique relatif à cette tension, 4,95 kV/mm, est le minimum de champ électrique nécessaire pour produire la décharge dans une très petite région proche de fil. Cette décharge est limitée en espace et est non autoentretenue. Du coup les ions dus à cette décharge se recompose très vite et s'arrête avant d'arriver à l'électrode passive.

Pour vérifier cette supposition et établir ainsi que la présence des particules de fumée réduit en réalité le seuil de champ électrique nécessaire pour une décharge autoentretenue, nous avons remplacé le fil de 25 μm de diamètre par une tige de 800 μm de diamètre portée à une tension telle que le champ électrique à son interface est le même que celui produit par le fil à distance de 400 μm de son centre. Le champ électrique dans la région de dérive n'est alors pas modifié entre les deux situations.

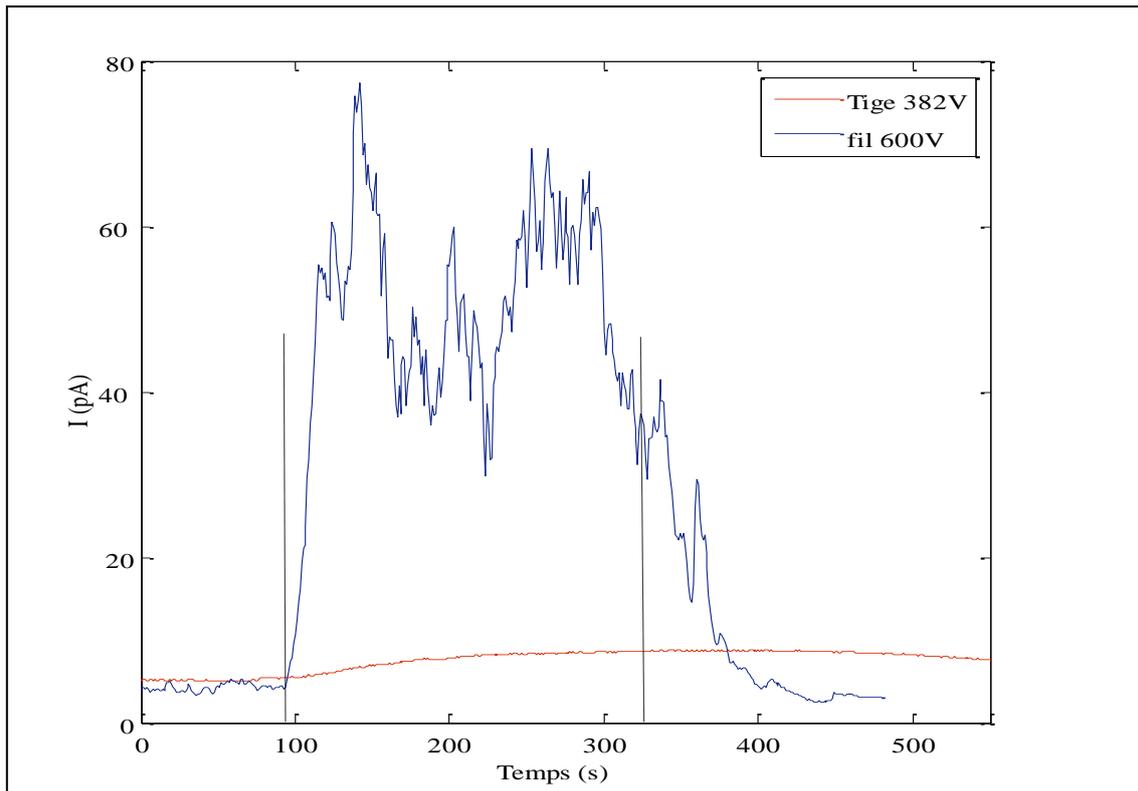


Figure 77 : Comparaison de courants produits par un fil de 25 μm de diamètre (courbe bleu) et une tige de 800 μm de diamètre (courbe rouge) en présence de fumée. La fumée est entrée dans le détecteur dans laps de temps entre les deux lignes noires. Les tensions appliquées sont ajustées pour produire le même champ électrique au-delà de 400 μm du centre du fil. Pour les deux expériences la grille à l'entrée du détecteur est présente.

La figure 77 compare les signaux dus à la fumée avec le fil et avec la tige. Comme attendu, la fumée produit un signal significatif seulement avec le fil. La supposition d'une décharge non autoentretenue fortifiée par des particules de fumée est donc vérifiée.

V.2.5. Vitesse de réponse

Pour s'assurer de l'efficacité du prototype de détecteur à l'effet de seuil par rapport aux autres détecteurs existants actuellement sur le marché, on a comparé la réponse de notre prototype à effet de seuil avec un détecteur optique de la société FINSECUR de. La figure 78 compare la réponse de ces détecteurs à la présence des particules de fumée. On constate que la réponse de notre prototype est plus rapide de quelques secondes seulement par rapport à la réponse du détecteur optique utilisé comme référence.

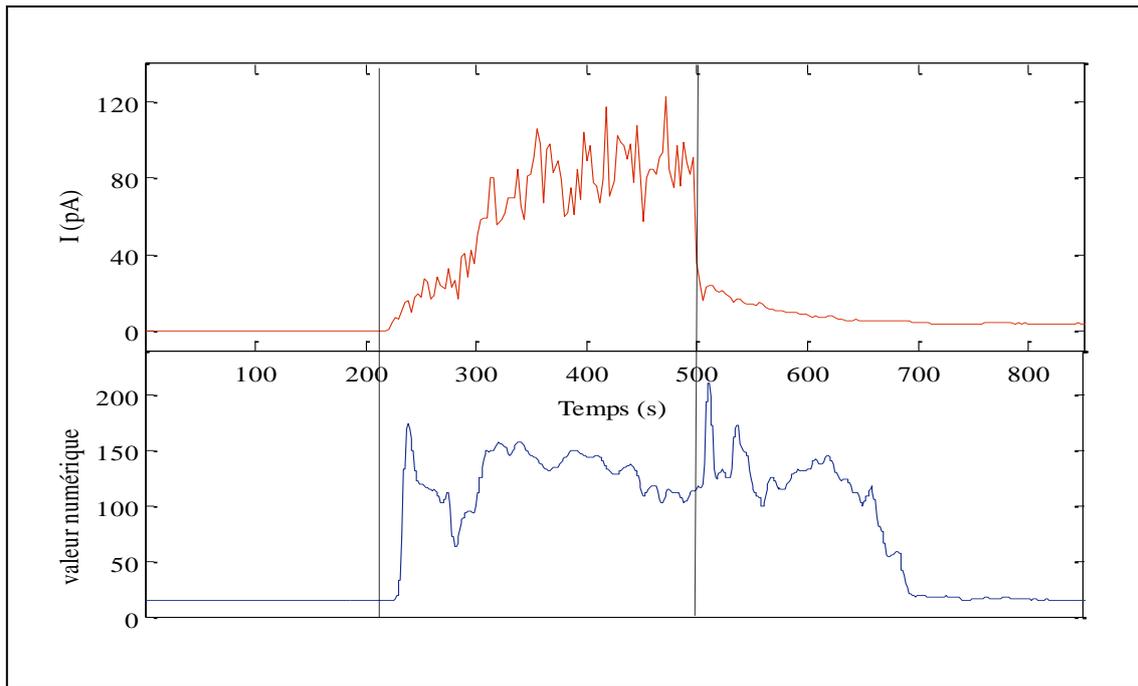


Figure 78 : Comparaison de la réponse du prototype planaire sous la tension de 600 V avec un détecteur optique de référence. La fumée est présente dans laps de temps entre deux lignes noires.

V.2.6. Tests sous conditionnements environnementales

V.2.6.1. Tests sous conditions d'humidité élevée

Pour s'assurer que notre prototype de détecteur de fumée à effet de seuil ne déclenche pas de fausses alarmes dans un environnement ayant un taux élevé d'humidité, on a fait des tests dans notre chambre climatique à condition constante de BINDER APT Line KMF (E5.2) suivant la même procédure que dans le cas des prototypes de détecteur à chambre de dérive (figure 56). Les résultats de nos expériences avec ou sans la présence de la fumée dans un environnement ayant un taux d'humidité très élevé de plus de 90% et une température d'environ 40°C sont présentés sur les figures 79 et 80.

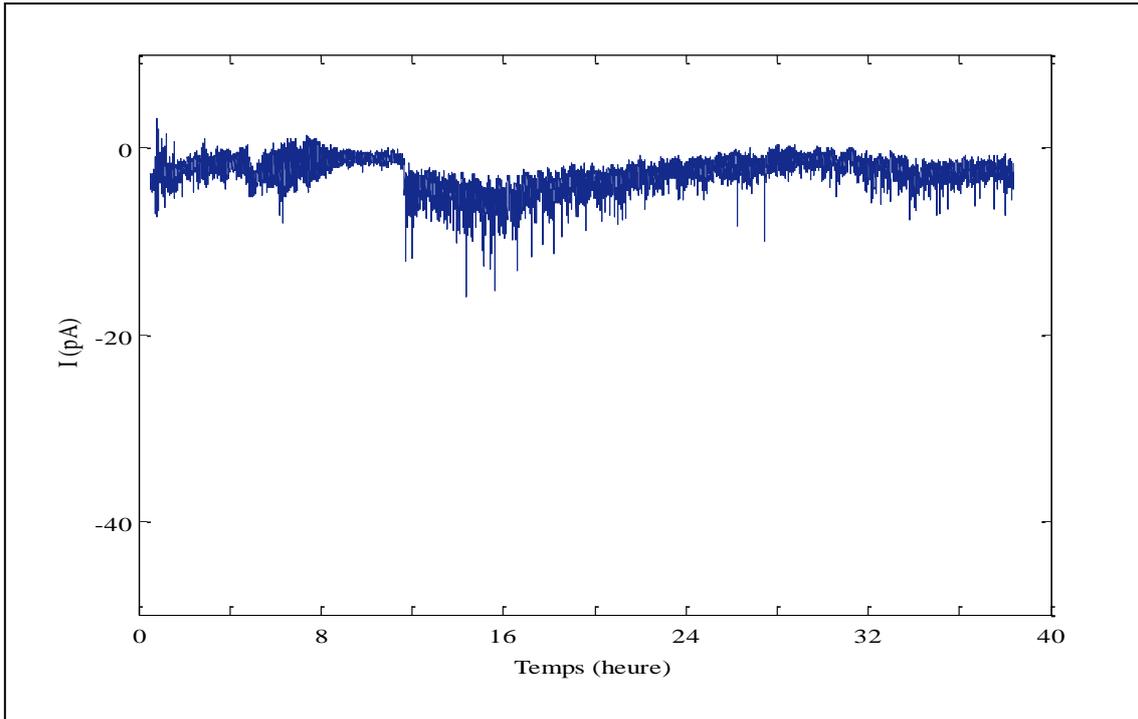


Figure 79 : L'effet de l'humidité sur le détecteur à effet de seuil pour un environnement ayant une humidité relative d'environ 90% et la température de 40°C. La tension appliquée au fil est de -600 V.

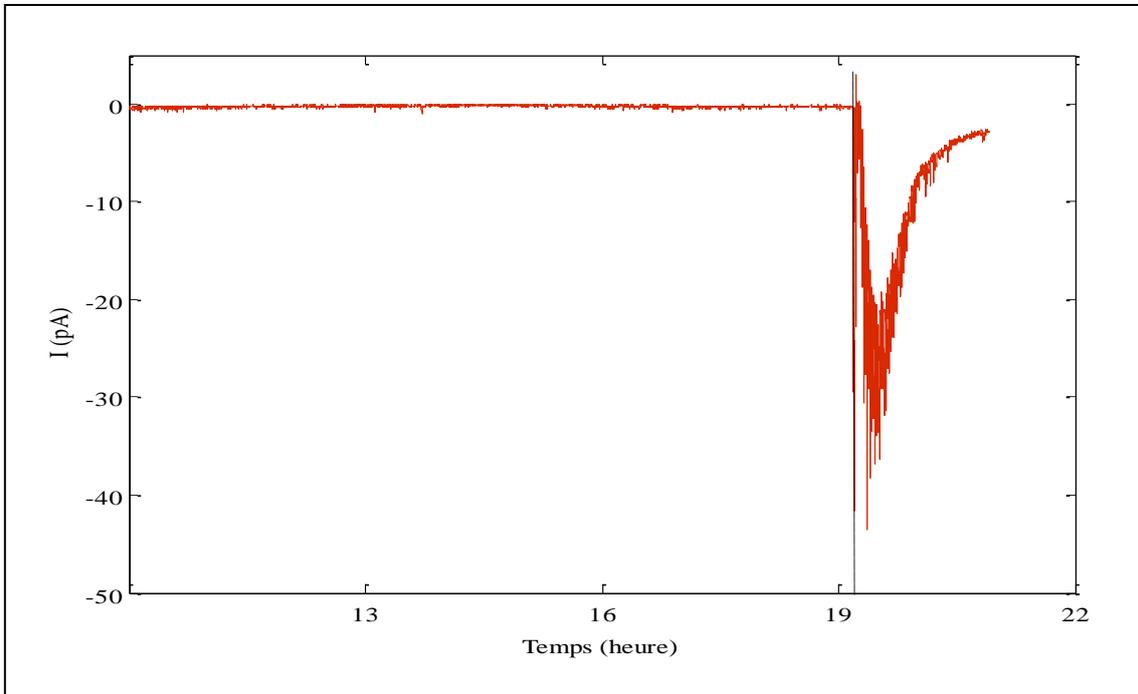


Figure 80 : L'effet de la fumée sur le détecteur à effet de seuil en présence de forte humidité de plus de 90% et une température de 40°C. La tension appliquée au fil est -600 V. La fumée est présentée à partir de la ligne noire.

On constate sur la figure 79 que l'humidité augmente légèrement le courant mesuré par le détecteur mais qu'il reste quand même très faible en l'absence des particules de fumée. La figure 80 présente une forte augmentation de courant due aux particules de fumée dans le cas d'une humidité très élevée comme dans le cas ambiant présenté précédemment.

V.2.6.2. Tests sous conditions de température

La figure 81 présente l'effet d'une température élevée d'environ 55°C sur le comportement du détecteur de fumée à effet de seuil.

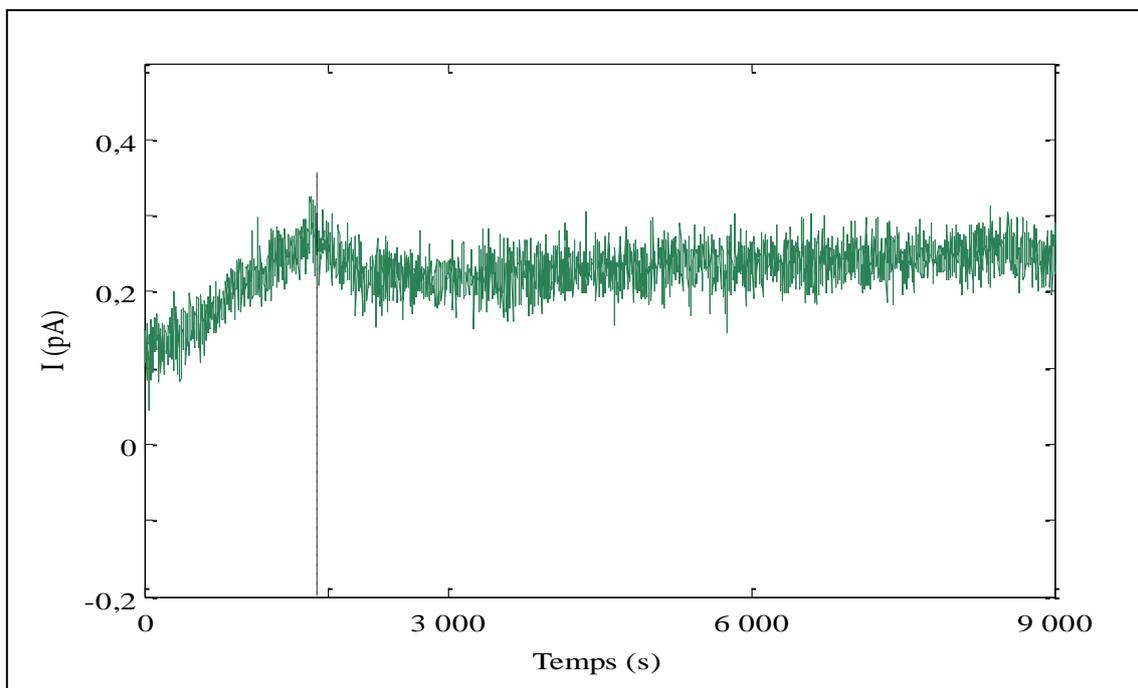


Figure 81 : Effet de la chaleur sèche sur le capteur à effet de seuil. La tension appliquée sur le fil est +600 V. La ligne noire montre l'endroit où la température arrive à 55±2°C.

On constate que la chaleur fait augmenter légèrement le courant mesuré. En présence de fumée la variation du courant mesuré à 55°C est présentée sur la figure 82. Cette variation est très importante en comparaison du courant produit à la même température en l'absence de fumée.

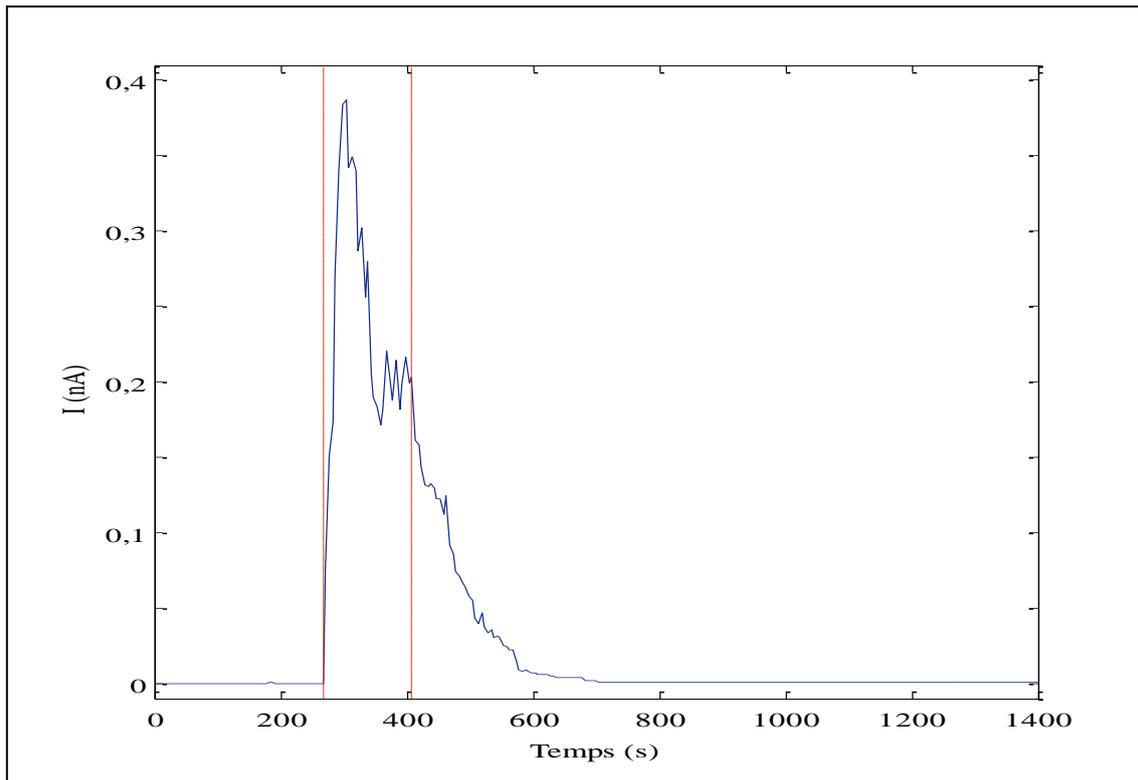


Figure 81 : Effet de la fumée sur le capteur à effet de seuil situé dans un environnement à la température de $55 \pm 2^\circ\text{C}$. La tension appliquée sur le fil est +600 V. La fumée est présente dans laps de temps entre deux lignes rouges.

V.3. Analyse des résultats

Nos études ont montré quelques résultats importants :

- (1) Une forte augmentation du courant en présence des particules de fumée dans un environnement sec où avec un niveau d'humidité très élevé ;
- (2) Une légère augmentation de courant en fonction de l'humidité ;
- (3) Une légère augmentation de courant en fonction de la chaleur ;

On a constaté que la présence des particules de fumée dans le détecteur augmente considérablement le courant mesuré et cela même dans un environnement très humide. On a

montré à travers plusieurs expériences que cette augmentation de courant n'est pas due aux autres effets comme des charges externes où l'effet électrochimique.

A travers nos expériences comme celle avec la tige en remplacement du fil, nous avons montrés que c'est dans la zone d'ionisation que la fumée agit. La première hypothèse est que les particules de fumée entrées dans la zone d'ionisation passent très proche du fil. Ces particules isolantes ou conductrices sont attirées par le fil par un effet diélectrophorétique. Lorsqu'elles atteignent le fil, elles se chargent et sont ensuite poussées vers l'électrode de mesure. Le courant est donc directement lié à la présence de fumée. La tension appliquée sur le fil augmente la portée de la zone d'attraction autour du fil et donc l'efficacité de la détection.

Il est également possible que le faible rayon de courbure des particules facilite l'ionisation de l'air lorsqu'elles atteignent le fil, ce qui déclenche une décharge Corona.

La deuxième hypothèse est que la présence des particules de fumée change les paramètres de l'environnement comme la densité, la mobilité et la conductivité de l'air dans la zone d'ionisation. Ces variations peuvent affecter les coefficients d'ionisation et d'attachement et donc affecter le seuil de décharge. Les particules de fumée peuvent aussi présenter un seuil d'ionisation plus faible que celui de l'air et donc déclencher une décharge Corona plus facilement.

On a constaté que l'effet de la fumée sur notre détecteur ne varie pas dans le cas d'un fort niveau d'humidité. Les effets d'une forte humidité sont tous en faveur d'une augmentation du courant dans le détecteur. Quand l'humidité relative augmente, le nombre de particules augmente ce qui aide à l'amorce de la décharge. L'humidité très élevé se traduit par une croissance de la densité des molécules (H_2O) qui sont faciles à ioniser donc il y aura une augmentation de la densité de particules chargées et donc une diminution du seuil de décharge.

La légère augmentation de courant détectée pour une température de $55^{\circ}C$ peut encore une fois s'expliquer par l'agitation thermique de faible taux d'ion présent qui contribue à augmenter les collisions avec les parois et donc augmenter le courant.

Conclusion

Le travail présenté dans ce mémoire contribue à l'étude d'un détecteur photo-électrique et à l'étude et à la réalisation de deux nouveaux types de détecteur ionique de fumée. L'objectif était d'obtenir des détecteurs ioniques de fumée d'une grande sensibilité de détection et d'une faible consommation d'énergie. Dans le cas de détecteur ionique le but est de remplacer la source radioactive utilisée dans tous les détecteurs ioniques actuels par une autre source d'ions.

Dans les deux premières parties, nous avons tout d'abord présenté une vision générale sur les processus d'incendie, ainsi que sur les phénomènes caractéristiques utilisables en détection d'incendie et sur les moyens mis en œuvre pour détecter la présence de la fumée à l'aide de différents détecteurs. Ensuite, nous avons fait différents rappels sur certaines notions concernant le phénomène de décharge susceptible d'être utilisé dans nos détecteurs.

Dans la troisième partie de ce mémoire, nous avons présenté un dispositif utilisant l'effet photo-électrique pour détection de la fumée. On a constaté des effets électrochimiques trop importants et une consommation nécessaire bien au delà du raisonnable pour une application à la détection de fumée.

Dans les quatrième et cinquième parties on a réalisé deux prototypes de détecteur ionique de fumée basés sur le phénomène de décharge Corona. Pour le premier prototype, les charges produites par effet Corona sont ralenties dans une chambre de dérive pour mieux interagir avec les particules de fumée. Le courant produit par ces charges est fortement diminué en présence de fumée ce qui permet la détection. Pour le second prototype, on utilise la diminution du seuil de déclenchement de l'effet Corona dans l'air en présence de fumée. Sous une tension intermédiaire, le courant de décharge est presque nul en l'absence de fumée. Dès que la fumée entre dans le détecteur, ce courant augmente fortement ce qui permet la détection.

Les détecteurs ioniques conçus et réalisés ont été testés plusieurs fois en différentes circonstances environnementales et leurs réponses ont été comparées avec des détecteurs de références. A chaque fois les résultats étaient très satisfaisants.

En conclusion, les détecteurs réalisés répondent bien aux besoins importants dans le domaine de la détection d'incendie. Les solutions originales développées ont abouti à la réalisation de prototypes de détecteurs ioniques très performants aussi bien du point de vue de la sensibilité que de la stabilité à un environnement difficile. Au niveau de la consommation d'énergie, ces deux détecteurs ont une très faible consommation qui est en accord avec les exigences des normes françaises.

Dans la suite du travail le dispositif électrique de générateur de tension et de détection du Corona doit être étudié et réalisé pour aboutir à un dispositif autonome, performant au niveau de la consommation, de la compatibilité électromagnétique et du prix.

Bibliographie

- [1] Livre blanc, « Prévenir les accidents de la vie courante »
- [2] <http://www.fnaim.fr/la-prevention-des-risques-d-accidents-de-la-vie-quotidienne.html>
- [3] Source BSPP – 1993, <http://www.inpes.sante.fr/70000/dp/06/dp060929.pdf>
- [4] <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>
- [5] <http://www.sdis50.fr/sdis50/>
- [6] « Revue Préventive-Sécurité », No. 88, (2006)
- [7] Netherland Institute for safety, <http://www.europeanfireacademy.com>
- [8] Michael J., Karter Jr., « Fire loss in the united states during 2002 », Fire Analysis & Research Division, National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02169-7471, NFPA, (2003)
- [9] Dehaan John D., « Kirk's Fire Investigation », Pearson Prentice Hall, New Jersey, (2007)
- [10] <http://www.calyxis.fr/index.php?/2008050641/ESPACE-PARTICULIERS/Risques-de-la-vie-courante/L-incendie-d-habitation.html>
- [11] <http://www.detecteurs-fumee.eu>
- [12] <http://cmmsa.eu/SectionFumee/pqfumee.php>
- [13] Babrauskas V., « Ignition Handbook », Fire Science Publishers, Issaquah, WA, (2003)
- [14] Bukowski Richard W., « Techniques for fire detection », center for fire research, national bureau of standards

- [15] Thèse : Zhi Hua YANG, « Etude et réalisation d'un détecteur ionique d'aérosol », (1993)
- [16] Pohl H. A., « Dielectrophoresis the behavior of neutral matter in nonuniform electric fields », Cambridge University Press, Cambridge, (1978)
- [17] Clarence J. WEST, C. HULL, « International critical tables of numerical data physics, chemistry and technology index », National research council of the united states of America, Vol. IVII, (1933)
- [18] Belanger R., Buckley D. W. and Swensen J. B., « Environmental assessment of ionization chamber smoke detectors containing Am-241 », Science Applications, Inc. Prepared for U. S. Nuclear Regulatory Commission
- [19] R.H. Fowler, « Electron Emission in Intense Electric Fields », Proceedings of the Royal Society of London, vol. 119, n° 781, 1928-05-01, p. 173–181
- [20] Brodie I., Spindt C., « Advances in electronics and electron physics » 83, 1 (1992)
- [21] Richardson Owen, « The emission of positive ions by hot metals », Wexford College Press, 332 pages, (1921)
- [22] Crowell C.R., « The Richardson constant for thermionic emission in Schottky barrier diodes », Solid-State Electronics, Volume 8, Issue 4, P. 395-399, (April 1965)
- [23] Kiziroglou M.E., Li X., Zhukov A.A., de Groot P.A.J, de Groot C.H., « Thermionic field emission at electrodeposited Ni-Si Schottky barriers », Solid-State Electronics, Volume 52, Issue 7, P. 1032-1038, (July 2008)
- [24] Orloff, Jon, « Schottky emission ». Handbook of Charged Particle Optics (2 ed.), CRC Press, (2008)
- [25] Boutry G. A., « Les phénomènes photoélectriques et leurs applications », University of Minnesota, Hermann et cie, (1936)

[26] Felici N., « Diélectriques », Institut Polytechnique, Grenoble, (1966)

[27] Papoular R., « phénomènes électriques dans les gaz », DUNOD, Paris, (1963)

[28] Penning F. M., Physica (Utrecht) 8, 137,(1928)

[29] PANG H., « Depoussierage electrostatique pour les particules submicroniques en atmosphere usuelle (terre) et rarefíee (planete mars) », Université joseph fourier - grenoble 1, (2006)

[30] Labergue A., « Etude de décharges électriques dans l'air pour le développement d'actionneurs plasmas – Application au contrôle de décollements d'écoulements », l'Université de Poitiers, (2005)

[31] Raizer Y. P. « Gas Discharge Physics », Springer-Verlag, (1991)

[32] Raether, H., « Electron avalanches and breakdown in gases », Butterworths, London, 191 pages, (1964)

[33] Loeb L.B., « Basic processes of gaseous electronics », University of California Press, Berkeley CA, (1960)

[34] Meek J.M., Craggs J.D. « Electrical Breakdown of gases », Wiley, New York, (1978)

[35] Thèse : Redolfi M., « Etude de l'oxydation de différents types d'hydrocarbures par des procédés utilisant des techniques de décharges électriques non-thermiques à pression atmosphérique : application à la problématique du démarrage à froid », université paris xiii - institut galilée, (2007)

[36] Naidu M. S., Kamaraju V., « High Voltage Engineering », third edition, McGraw-Hill, 462 pages, (2004)

[37] Townsend J.S., « Electricity in gases », Oxford University Press, (1914)

- [38] Thomson J.J., Thomson G.P., “Conduction of Electricity through Gases”, vol.2, London:CUP, (1933)
- [39] Allen N.L., Clark P., Dring D., Waters R. T., ICGDA, Oxford, p. 163-166, (1985)
- [40] Brambilla R., Cardelli E., Nencioni F., Pelaechi P., ICGDA, Oxford, p. 191-194, (1985)
- [41] Townsend J.S., Die ionisation der gases Handbuchs der radiologie von MARX, Leipzig, (1920)
- [42] Zebboudj Y., Hartmann G., « The European Physical Journal Applied Physics », p. 167-176, (1999)
- [43] Thèse : Hartmann G., « Spectrographie de la décharge couronne : étude des mécanismes de collisions dans le dard », Univ. Paris XI, (1977)
- [44] PEEK F.W., “Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering” McGRAW-HILL, (1915)
- [45] Waters R.T., Stark W.B., J. Phys. D, vol.8, p. 416-426, (1975)
- [46] Nasser E., Heiszler M., J. Appl. Phys., vol.45, 3396 pages, (1974)
- [47] Hartmann G., IEEE Trans. IA 20, p. 1647-1651, (1984)
- [48] Zalesski A.M., Trudy LPI, vol. 3, p. 94-99, (1948)
- [49] Kittel Ch., “Introduction to Solid State Physics”, Wiley Eastern Limited, (1983)
- [50] Batchelor G.K. “An Introduction to Fluid Dynamics”. Cambridge University Press, (2000)

[51] Tiwary A., Colls J., “Air pollution: measurement, modelling and mitigation”, Taylor & Francis, 501 pages, (2010)

[52] Renoux A., Boulaud D., “Physique des aérosols – Partie 2”, Référence AF3613, 10 (Avr. 2003)

[53] Thèse : TOUMI S., « Etude de la conductivité de l’air à la pression atmosphérique en dessous de la tension seuil de l’effet couronne », Université Paris VI, (1994)

[54] Thèse : BENALI M. N., « Etude expérimentale et théorique de la conductivité de l’air à pression atmosphérique dans un système d’électrodes cylindriques concentrique, en dessous du seuil de l’effet couronne », Université Paris VI, (1999).

Annexe I

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT

Décret n° 2011-36 du 10 janvier 2011 relatif à l'installation de détecteurs de fumée dans tous les lieux d'habitation

NOR : DEVL1022270D

Publics concernés : occupants et propriétaires de logements ; organismes agréés exerçant les activités d'intermédiation locative et de gestion locative sociale.

Objet : installation de détecteurs de fumée dans tous les lieux d'habitation.

Entrée en vigueur : les obligations fixées par le décret doivent être respectées avant le 8 mars 2015.

Notice : le décret précise les exigences auxquelles doit répondre le détecteur de fumée normalisé installé dans chaque logement, les conditions de son installation, de son entretien et de son fonctionnement. Il indique dans quels cas ces obligations incombent au propriétaire.

Il présente également les mesures de sécurité à mettre en œuvre par les propriétaires dans les parties communes des bâtiments d'habitation pour prévenir le risque d'incendie.

Enfin, il caractérise la notification de l'installation du détecteur de fumée normalisé qui doit être réalisée entre occupant et assureur.

Références : le code de la construction et de l'habitation, dans sa rédaction issue du présent décret, peut être consulté sur le site de Légifrance (<http://www.legifrance.gouv.fr>).

Le Premier ministre,

Sur le rapport de la ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement et du secrétaire d'Etat auprès de la ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, chargé du logement,

Vu la directive 98/34/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 juin 1998 modifiée prévoyant une procédure d'information dans le domaine des normes et réglementations techniques et des règles relatives aux services de la société de l'information ;

Vu le code de la construction et de l'habitation, notamment ses articles L. 129-8, L. 129-9 et L. 365-4 ;

Vu l'avis du comité des finances locales (commission consultative d'évaluation des normes) en date du 9 septembre 2010 ;

Vu l'avis du comité consultatif de la législation et de la réglementation financières en date du 10 septembre 2010 ;

Le Conseil d'Etat (section des travaux publics) entendu,

Décète :

Art. 1^{er}. – I. – L'intitulé du chapitre IX du titre II du livre I^{er} du code de la construction et de l'habitation est remplacé par l'intitulé : « Sécurité des immeubles à usage d'habitation ».

II. – Les articles R. 129-1 à R. 129-11 du même code sont regroupés dans une section 1 intitulée : « Dispositions générales pour la sécurité des occupants d'immeubles collectifs à usage d'habitation » comprenant trois sous-sections :

- une sous-section 1 regroupant les articles R. 129-2 à R. 129-4 intitulée : « Dispositions générales » ;
- une sous-section 2 regroupant les articles R. 129-5 à R. 129-9 intitulée : « Dispositions particulières aux bâtiments en copropriété » ;
- une sous-section 3 regroupant les articles R. 129-10 et R. 129-11 intitulée : « Autres dispositions ».

Art. 2. – Le chapitre IX du titre II du livre I^{er} du code de la construction et de l'habitation est complété par une section 2 ainsi rédigée :

« Section 2

« Détecteurs de fumée normalisés

« Art. R. 129-12. – Chaque logement, qu'il se situe dans une habitation individuelle ou dans une habitation collective, est équipé d'au moins un détecteur de fumée normalisé.

« Le détecteur est alimenté par piles ou fonctionne à partir de l'alimentation électrique du logement, sous réserve dans ce cas qu'il soit équipé d'une alimentation de secours susceptible de prendre le relais en cas de dysfonctionnement électrique.

« Le détecteur de fumée doit :

« – détecter les fumées émises dès le début d'un incendie ;

« – émettre immédiatement un signal sonore suffisant permettant de réveiller une personne endormie dans le seul logement où la détection a eu lieu.

« Un arrêté conjoint des ministres chargés de la construction et de la sécurité civile fixe les modalités d'application du présent article.

« Art. R. 129-13. – La responsabilité de l'installation et de l'entretien du détecteur de fumée normalisé visé au R. 129-12 incombe à l'occupant du logement. Cependant, elle incombe :

« – au propriétaire pour les logements à caractère saisonnier, les logements-foyers visés au R. 351-55 dont la gestion est assurée par le propriétaire ou par un organisme autres que ceux mentionnés à l'article L. 365-4, les résidences hôtelières à vocation sociale, les logements attribués ou loués en raison de l'exercice d'une fonction ou d'un emploi et les locations meublées ;

« – aux organismes agréés mentionnés à l'article L. 365-4 exerçant les activités d'intermédiation locative et de gestion locative sociale pour les logements-foyers et logements familiaux gérés par ces organismes.

« Art. R. 129-14. – Dans les parties communes des immeubles à usage d'habitation, les propriétaires mettent en œuvre des mesures de sécurité contre l'incendie. Ces mesures indiquent les consignes à respecter en cas d'incendie et visent également à éviter la propagation du feu des locaux à risques vers les circulations et dégagements. Un arrêté conjoint des ministres en charge de la construction et de la sécurité civile fixe les modalités d'application du présent article.

« Art. R. 129-15. – La notification prévue au troisième alinéa du L. 129-8 se fait par la remise d'une attestation à l'assureur avec lequel il a conclu un contrat garantissant les dommages d'incendie par l'occupant ou, dans les cas prévus aux deuxième et troisième alinéas de l'article R. 129-13, le propriétaire ou l'organisme agréé mentionné à l'article L. 365-4 exerçant les activités d'intermédiation locative et de gestion locative sociale.

« Un arrêté conjoint des ministres en charge de la construction, de l'économie et de la sécurité civile précise les informations devant figurer dans cette attestation. »

Art. 3. – Il doit être satisfait aux obligations du présent décret avant le 8 mars 2015.

Art. 4. – La ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, le ministre de l'intérieur, de l'outre-mer, des collectivités territoriales et de l'immigration, la ministre de l'économie, des finances et de l'industrie et le secrétaire d'Etat auprès de la ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, chargé du logement, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 10 janvier 2011.

FRANÇOIS FILLON

Par le Premier ministre :

*La ministre de l'écologie,
du développement durable,
des transports et du logement,*
NATHALIE KOSCIUSKO-MORIZET

*Le ministre de l'intérieur,
de l'outre-mer, des collectivités territoriales
et de l'immigration,*
BRICE HORTEFEUX

*La ministre de l'économie,
des finances et de l'industrie,*
CHRISTINE LAGARDE

*Le secrétaire d'Etat
auprès de la ministre de l'écologie,
du développement durable,
des transports et du logement,
chargé du logement,*
BENOIST APPARU

Annexe II

Table 1: Wood Smoke Emissions

Pollutant	Physical State	Emissions for g/kg Wood
Carbon Monoxide	V	80-370
Methane	V	14-25
VOCs (C2-C7)	V	7-27
<i>Aldehydes</i>	V	0.6 -5.4
Formaldehyde	V	0.1- 0.7
Acrolein	V	0.02- 0.1
Propionaldehyde	V	0.1- 0.3
Butryaldehyde	V	0.01-1.7
Acetaldehyde	V	0.03 - 0.6
Furfural	V	0.2-1.6 1.6
Substituted Furans	V	0.15 -1.7
Benzene	V	0.6-4.0
<i>Alkyl Benzenes</i>	V	1-6
Toluene	V	0.15 -1.0
Acetic Acid	V	1.8 -2.4
Formic Acid	V	0.06-0.08
<i>Nitrogen Oxides (NO,NO2)</i>	V	0.2-0.9
Sulfur Dioxide	V	0.16-0.24
Methyl chloride	V	0.01-0.04
Napthalene	V	0.24-1.6
<i>Substituted Napthalenes</i>	V/P	0.3-2.1
<i>Oxygenated Monoaromatics</i>	V/P	1 - 7
Guaiacol (and derivatives)	V/P	0.4-1.6
Phenol (and derivatives)	V/P	0.2-0.8
Syringol (and derivatives)	V/P	0.7-2.7
Catechol (and derivatives)	V/P	0.2-0.8
Total Particle Mass	P	7-30
Particulate Organic Carbon	P	2-20
<i>Oxygenated PAHs</i>	V/P	0.15-1
<i>PAHs</i>	V/P	
Fluorene	V/P	4×10^{-5} - 1.7×10^{-2}
Phenanthrene	V/P	2×10^{-5} - 3.4×10^{-2}
Anthracene	V/P	5×10^{-5} - 2.1×10^{-5}
Methylanthracenes	V/P	7×10^{-5} - 8×10^{-5}
Fluoranthene	V/P	7×10^{-4} - 4.2×10^{-2}
Pyrene	V/P	8×10^{-4} - 3.1×10^{-2}
Benzo(a)anthracene	V/P	4×10^{-4} - 2×10^{-3}
Chrysene	V/P	5×10^{-4} - 10^{-2}
Benzofluoranthenes	V/P	6×10^{-4} - 5×10^{-3}
Benzo(e)pyrene	V/P	2×10^{-4} - 4×10^{-3}
Benzo(a)pyrene	V/P	3×10^{-4} - 5×10^{-3}

Table 1: Wood Smoke Emissions

Pollutant	Physical State	Emissions for g/kg Wood
Perylene	V/P	5×10^{-5} - 3×10^{-3}
Ideno(1,2,3-cd)pyrene	V/P	2×10^{-4} - 1.3×10^{-2}
Benz(ghi)perylene	V/P	3×10^{-5} - 1.1×10^{-2}
Coronene	V/P	8×10^{-4} - 3×10^{-3}
Dibenzo(a,h)pyrene	V/P	3×10^{-4} - 1×10^{-3}
Retene	V/P	7×10^{-3} - 3×10^{-2}
Dibenzo(a,h)anthracene	V/P	2×10^{-5} - 2×10^{-3}
<i>Trace Elements</i>		
Strontium	P	3×10^{-3} - 1.8×10^{-2}
Magnesium	P	2×10^{-4} - 3×10^{-3}
Aluminum	P	1×10^{-4} - 2.4×10^{-2}
Silicon	P	3×10^{-4} - 3.1×10^{-2}
Sulphur	P	1×10^{-3} - 2.9×10^{-2}
Chlorine	P	7×10^{-4} - 2.1×10^{-1}
Potassium	P	3×10^{-3} - 8.6×10^{-2}
Calcium	P	9×10^{-4} - 1.8×10^{-2}
Titanium	P	4×10^{-5} - 3×10^{-3}
Vanadium	P	2×10^{-5} - 4×10^{-3}
Chromium	P	2×10^{-5} - 3×10^{-3}
Manganese	P	7×10^{-5} - 4×10^{-3}
Iron	P	3×10^{-6} - 5×10^{-3}
Nickle	P	1×10^{-6} - 1×10^{-3}
Copper	P	2×10^{-4} - 9×10^{-4}
Zinc	P	7×10^{-4} - 8×10^{-3}
Bromine	P	7×10^{-5} - 9×10^{-4}
Lead		1×10^{-4} - 3×10^{-3}
Particulate Elemental Carbon	P	0.3 - 5
<i>Normal alkanes</i>	P	1×10^{-3} - 6×10^{-3}
<i>Cyclic di-and triterpenoids</i>	P	
Dehydroabietic acid	P	0.01 - 0.05
Lupenone	P	2×10^{-3} - 8×10^{-3}
Friedelin	P	4×10^{-6} - 2×10^{-5}
<i>Chlorinated Dioxins</i>	P	7×10^{-3} - 7×10^{-2}
<i>Particulate Acidity</i>	P	7×10^{-3} - 7×10^{-2}
Additional wood smoke emissions found in other studies		
Cresol ³³	P	
Isopimaric acid ³	P	
Ethylbenzene ³	V	

Table 1: Wood Smoke Emissions

Pollutant	Physical State	Emissions for g/kg Wood
<i>Arsenic</i> ⁴	P	
<i>Cesium</i> ⁹	P	
<i>Cadmium</i> ⁴	P	
<i>Molybdenum</i> ⁵	P	
<i>Selenium</i> ⁵	P	
<i>Carbozole</i> ²	P	
<i>Acridine</i> ^{e2}		
Barium		
Phosphorus	P	
Sodium ⁷	P	
<i>Phenathrol</i> ²		
<i>Phenathrene</i> ²	V	
^d <i>10-phenanthrene</i> ²	V	
<i>Acenaphthylene</i> ²	V	
<i>Nitronaphthalene</i> ²	V	
^d <i>12-chrysene</i> ²	V	
<i>3-methylcholanthrene</i> ²	V	
<i>Acenaphthene</i> ²	V	
<i>Indeno (1,2,3,c,d) pyrene</i> ²	V	
<i>Molds in wood ash</i> ¹³		
Thermoactinomyces vulgaris ¹³	S	(0.1%),
Penicillium sp mixture ¹³	S	(1/10 wt/vol).
Aspergillus fumigatus ¹³	S	(0.1%),
Cladosporium herbarium ¹³	S	(1/20 wt/vol),
Micropolyspora faeni ¹³	S	(1/50 wt/vol),
Alternaria tenuis ¹³	S	(1/10 wt/vol),

All pollutants and emission weights taken from A Summary of the Emissions Characterization and Noncancer Respiratory Effects of Wood Smoke, Timothy V. Larson & Jane Q.Koenig, From Table 2, EPA-453/R-93-036, 46p. (US EPA December 1993).

Molds based on isolates from wood ash cultures: Greer Laboratories, Lenoir, NC.

Annexe III


```

function s=PICO2dev(Te,D,P1,P2)

% acquisition des mesures de deux électromètres KETHLEY de modèles 6485 et
6487
% ATTENTION : SI
% Te = période d'échantillonnage en seconde
% D = durée de l'acquisition en seconde
% P = préfixe de la mesure (chaîne de caractères) pour le nom du fichier
% s = signal, la première colonne est le temps (seconde) et la seconde
% colonne est le signal du potentiel de surface (kilovolt)

% recherche et initialisation des électromètres
dev1=IB('find','dev14');
dev2=IB('find','dev8');

IB('wrt','SYST:ZCH ON',dev1);
IB('wrt','SYST:ZCOR ON',dev1);
IB('rd','SYST:ZCOR:ACQ',dev1);
IB('wrt','SYST:ZCH OFF',dev1);
IB('wrt','SYST:AZER ON',dev1);

IB('wrt','SYST:ZCH ON',dev2);
IB('wrt','SYST:ZCOR ON',dev2);
IB('wrt','SYST:ZCH OFF',dev2);
IB('wrt','SYST:AZER ON',dev2);
IB('rd','SYST:ZCOR:ACQ',dev2);

% vecteur temps
i=0:Te:D;

figure
nom1=[P1 datestr(now,30) '.mat'];
nom2=[P2 datestr(now,30) '.mat'];

t0=clock;

for a=1:length(i),
    IB('wrt','MEAS?',dev1);
    strdev1=IB('rd',dev1);
    e=etime(clock,t0);
    s1(a,:)=e,sscanf(strdev1,'%g',1)];

    IB('wrt','MEAS?',dev2);
    strdev2=IB('rd',dev2);
    e=etime(clock,t0);
    s2(a,:)=e,sscanf(strdev2,'%g',1)];

    save(nom1,'s1');
    save(nom2,'s2');

    subplot(2,1,1);
    plot(s1(:,1),s1(:,2));

    hold on;

    subplot(2,1,2);
    plot(s2(:,1),s2(:,2));

```

```
    pause(a*Te-e);  
end;  
  
title(sprintf('mesure %s',nom));  
xlabel(' (s) ');ylabel(' (V) ');
```

Résumé

L'un des détecteurs d'incendie les plus efficaces est le détecteur ionique de fumée. Cependant les détecteurs ioniques actuels fonctionnent grâce à une source radioactive dont l'utilisation n'est désormais pas favorable, principalement pour des raisons de recyclage.

Ce mémoire présente l'étude de nouveaux détecteurs ioniques utilisant une autre source d'ions qu'une source radioactive. Trois types de détecteur ionique de fumée sont présentés. Le premier est basé sur l'effet photoélectrique et les deuxième et troisième sur le phénomène de décharge Corona. Le détecteur photoélectrique présente l'inconvénient de sa consommation qui n'est pas compatible avec une application de détecteur de fumée. En revanche les détecteurs basés sur le phénomène de décharge Corona ont donné de très bons résultats tant sur la consommation que sur la sensibilité.

Deux prototypes de détecteur ionique de fumée basés sur le phénomène de décharge Corona ont été réalisés. Pour le premier prototype, les charges produites par effet Corona sont ralenties dans une chambre de dérive pour mieux interagir avec les particules de fumée. Le courant produit par ces charges est fortement diminué en présence de fumée ce qui permet la détection. Pour le second prototype, on utilise la diminution du seuil de déclenchement de l'effet Corona dans l'air en présence de fumée. Sous une tension intermédiaire, le courant de décharge est presque nul en l'absence de fumée. Dès que la fumée entre dans le détecteur, ce courant augmente fortement ce qui permet la détection.

Les détecteurs ioniques conçus et réalisés ont été testés plusieurs fois sous différentes contraintes environnementales et leurs réponses ont été comparées avec des détecteurs de références. Ces prototypes de détecteurs ioniques sont très performants tant du point de vue de leur sensibilité que de leur stabilité à un environnement difficile. Par ailleurs leur consommation d'énergie reste d'un niveau très faible compatible avec les applications de détection d'incendie.

Abstract

One of the most effective smoke detectors is the ionic smoke detector. However, the present ionic detectors work thanks to a radioactive source, which is no longer favorable mainly because of difficult and expensive recycling processes.

The present study has been carried out on new ionic detectors using different ion sources than radioactive ones. Three types of ionic smoke detectors are presented. The first is based on the photoelectric effect, while second and third are based on Corona discharge phenomena. Due to its high consumption, the photoelectric detector is not compatible with smoke detector applications while detectors based on a Corona discharge give very good results.

Two prototypes of ionic smoke detector based on the Corona discharge phenomenon have been realized. For the first prototype, the charges produced by Corona effect are slowed down in the drift chamber to better interact with smoke particles. The current produced by these charges is strongly decreased in the presence of smoke, which allows the detection. For the second prototype, the decrease of Corona threshold in the air in the presence of smoke particles has been used. Under an intermediate voltage, the discharge current is almost zero in the absence of smoke. As soon as the smoke enters the detector, this current increases strongly and the alarm triggers.

The studied and realized ionic detectors have been tested several times in different environmental situations and their responses have been compared to reference detectors. The ionic detectors give very interesting results from the point of view of sensibility as well as stability in constrained environments. Besides their consumption stay at a very low level, compatible with the fire detection applications.