



RAPPORT D'ETUDE
N° DRA-11-117743-08553A

29/07/2011

Programme EAT-DRA73 : Evaluation des performances
des barrières de sécurité

**Essais de performance comparatifs sur une gamme
de détecteurs de flamme**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Programme EAT-DRA73: Evaluation des performances des barrières de sécurité

Essais de performance comparatifs sur une gamme de détecteurs de flamme

Listes des personnes ayant pris part à l'étude : Mattias Arnqvist (SP Technical Research), Sabine Kasprzycki, Nicolas Lepine, Jean-Charles Morin, Vincent Griffon, Patrice Cagnon, Sébastien Bouchet, Mohamed Boudalaa (INERIS)

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives ainsi que de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière subjective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

Ce rapport a été revu par SP Technical Research Institute of Sweden et par les fabricants impliqués dans le projet.

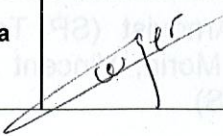
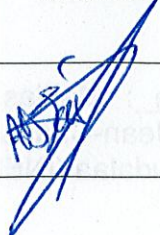
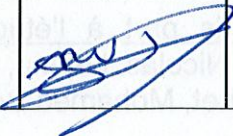
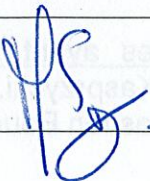
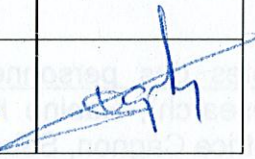
	Rédaction	Vérification		Relecture	Approbation
Name	S. MAUGER	A. ADJADJ	B. TRUCHOT	M. A. SOENEN	B. PIQUETTE
Position	Responsable d'unité Direction des Risques Accidentels	Responsable de projet Direction des Risques Accidentels	Responsable d'unité Direction des Risques Accidentels	Délégué administration support Direction des Risques Accidentels	Responsable de pôle Direction des Risques Accidentels
Visa					

Table des matières

PREAMBULE	2
TABLE DES MATIERES	3
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	7
2. PRINCIPE DE LA DETECTION DE FLAMME	9
2.1 DETECTION MONO-IR	9
2.2 DETECTION MULTI-IR.....	10
2.3 UV	11
2.4 UV/IR.....	12
3. APPAREILS SOUMIS AUX ESSAIS	13
4. ESSAIS DE LABORATOIRE	15
4.1 METHODE D'ESSAIS	15
4.1.1 Banc d'essais optique.....	15
4.1.1.1 Localisation	15
4.1.1.2 Equipements	16
4.1.1.3 Procédure générale d'essais.....	19
4.1.2 Essais de compatibilité électromagnétique (CEM).....	22
4.2 RESULTATS DES ESSAIS.....	24
4.2.1 Sensibilité de la réponse à la flamme.....	26
4.2.2 Influence de l'orientation.....	27
4.2.3 Sources de fausses alarmes	29
4.2.4 Perturbations climatiques & électromagnétiques	30
5. ESSAIS A L'AIR LIBRE	31
5.1 LOCALISATION	31
5.2 METHODE D'ESSAIS	32
5.2.1 Nature des combustibles	32
5.2.2 Rampe de test.....	34
5.2.3 Suivi des conditions météorologiques pendant les essais	35
5.2.4 Procédure générale d'essais	35
5.2.4.1 Détermination des distances D10 and D30.....	35
5.2.4.2 Détermination de l'angle de vision horizontal maximal.....	36
5.2.5 Limites de la méthode.....	36
5.3 RESULTATS D'ESSAIS.....	37
5.3.1 Distances de détection	38
5.3.2 Angles de vision horizontaux.....	48
6. BILAN DE LA CAMPAGNE	51

Tables des illustrations

Tableau 1: Liste des détecteurs soumis aux essais.....	13
Tableau 2 : Matrice de tests - essais d'immunité aux sources de fausses alarmes	24
Tableau 3 : Matrice de tests - essais d'immunité aux perturbations électromagnétiques et aux variations climatiques	25
Tableau 4 : Résultats de mesure des distances de détection et des temps de réponse	26
Tableau 5 : Résultats de mesure des angles α	28
Tableau 6 : Immunité contre les sources de fausses alarmes	29
Tableau 7 : Immunités contre les perturbations CEM et climatiques	30
Tableau 8 : Conditions météorologiques rencontrées lors des essais	37
Tableau 9: Distances à la flamme D10 et D30	38
Tableau 10 : Distances de détection mesurées (m) - Feu d'heptane.....	39
Tableau 11 : Distances de détection mesurées (m) - Feu d'éthanol	40
Tableau 12 : Distances de détection mesurées (m) - Feu de carton	41
Tableau 13 : Distances de détection mesurées (m) - Feu de méthane.....	42
Tableau 14 : Distances de détection mesurées (m) - Feu d'hydrogène.....	42
Tableau 15 : Résultats de mesure de l'angle α	48

Figure 1 : Capteur pyroélectrique (technologie IR).....	9
Figure 2 : Capteur UV	11
Figure 3 : Local d'implantation du banc d'essais	15
Figure 4 : Banc d'essais optique	16
Figure 5 : Rotation d'angle β (rotation à 360°)	16
Figure 6 : Montage pour la rotation d'angle α (de -65° to $+65^\circ$)	17
Figure 7 : Vue d'ensemble du site d'essais	31
Figure 8 : Diagramme de champ de vision horizontal	49
Photo 1 : Adaptateur de montage des appareils	17
Photo 2 : Bouteilles de gaz pour l'hydrogène, le méthane & le propane.....	18
Photo 3 : Chambre de combustion & disque de modulation.....	18
Photo 4 : Champs rayonnés en chambre anéchoïque	23
Photo 5 : Perturbations électromagnétiques conduites	23
Photo 6 : Transitoires rapides en salve	23
Photo 7 : Ondes de choc	23
Graphique 1 : D30 mesurées en fonction des D30 spécifiées - Feu d'heptane.....	43
Graphique 2: D30 mesurées en fonction des D30 « constructeur » - Feu d'éthanol ...	44
Graphique 3 : D30 mesurées en fonction des D30 « constructeur » - Feu de carton...	45
Graphique 4 : D30 mesurées en fonction des D30 « constructeur » – Feu de méthane	46

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Cette campagne d'essais de détecteurs de flamme a été financée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) dans le cadre d'un programme d'étude relatif à l'évaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité (BTS) mises en œuvre dans l'industrie pour réduire les risques d'accidents majeurs.

Les détecteurs de flamme sont utilisés à des fins de sécurité incendie, leur fonction étant de détecter la naissance d'un feu et de déclencher une alarme. Ils sont généralement implantés pour protéger des installations industrielles telles que :

- les raffineries,
- les plateformes de forage et de production offshore,
- les dépôts pétroliers,
- les installations de traitement et de stockage GNL/GPL,
- les turbines à gaz,
- les hangars d'avions.

En Europe, les détecteurs de flamme sont couverts par la Directive Produits de Construction (DPC) 89/106/CEE et doivent satisfaire à la norme européenne harmonisée EN 54-10 « *Systèmes de détection et d'alarme incendie – Partie 10 : détecteurs de flamme – Détecteurs ponctuels* ». Cette norme spécifie les exigences, les méthodes d'essais et les critères de performances applicables aux détecteurs ponctuels réarmables qui sont utilisés dans les systèmes de détection incendie installés dans les bâtiments. Il se trouve qu'aucun référentiel européen ne couvre les usages industriels à l'air libre.

L'objectif de cette campagne a donc été de mener une évaluation comparative des performances et des limites d'utilisation des détecteurs de flamme mis sur le marché pour un usage industriel à l'air libre (industrie de process type « oil & gas » - secteur pétrolier/chimie). Les paramètres de performance ont été étudiés, dans des conditions d'utilisation maîtrisées en laboratoire et dans des conditions d'utilisation réelles, pour différents types de feux¹. La robustesse des détecteurs de flamme face à des conditions climatiques et des perturbations électromagnétiques sévères, ainsi que la sensibilité aux sources de fausses alarmes, ont également été appréhendées.

Les résultats doivent servir à éclairer les utilisateurs et les pouvoirs publics quant aux points importants à considérer pour ne pas altérer l'efficacité des détecteurs de flamme, notamment lorsqu'ils sont pris en compte dans les études de dangers en tant que composant d'une barrière technique de sécurité.

¹ Méthane, propane, hydrogène en conditions de laboratoire ; méthane, hydrogène, heptane, éthanol, cartons pour les essais à l'air libre.

Le projet a été initié en 2008 et les essais ont été réalisés entre 2009 et 2010 en collaboration avec SP Technical Research Institute of Sweden. Cinq constructeurs ont apporté leur concours et une trentaine de détecteurs ont été mis à l'épreuve.

2. PRINCIPE DE LA DETECTION DE FLAMME

Les flammes produisent des rayonnements caractérisés par une fréquence de scintillement plus ou moins intense dans des bandes spectrales spécifiques. Le principe du détecteur de flamme est de répondre aux rayonnements électromagnétiques émis par une flamme, en les distinguant des rayonnements interférents présents dans l'environnement d'utilisation. Les détecteurs de flamme optiques sont constitués de capteurs UV et/ou IR pour détecter ces rayonnements.

2.1 DETECTION MONO-IR

Les détecteurs de flamme mono-IR sont sensibles à une bande de rayonnement située autour de $4,4 \mu\text{m}$, caractéristique du spectre d'émission des feux d'hydrocarbures. Le rayonnement dans cette bande est issu de la relaxation du CO_2 produit pendant la combustion des feux carbonés.

Les détecteurs mono-IR mettent en œuvre un capteur pyroélectrique dont le principe est basé sur l'effet thermique des rayonnements. Un courant est généré par polarisation du cristal pyroélectrique exposé à une variation de température. Les scintillements de la flamme sont perçus par le cristal qui génère un signal traité par un filtre passe-bande basse fréquence.

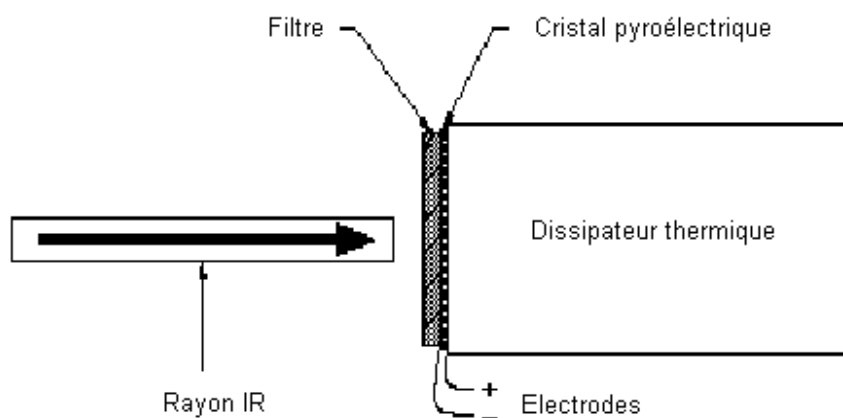


Figure 1 : Schéma de principe d'un capteur pyroélectrique (technologie IR)

Les principaux avantages et inconvénients des détecteurs mono-IR sont présentés ci-dessous.

Avantages :

- Peu d'atténuation de la réponse en présence de contaminants tels que les huiles, les encrassements ou les poussières
- Faibles temps de réponse
- Insensibles au soleil, aux arcs de soudure, aux éclairs, aux étincelles et arcs électriques

Inconvénients :

- Limités à la détection des feux carbonés
- Potentiellement sensibles aux sources de rayonnements modulés IR
- Sensibles à la pluie, au givre et à la vapeur d'eau

2.2 DETECTION MULTI-IR

Les détecteurs multi-IR sont constitués de deux, trois ou quatre capteurs (IR2, IR3, IR4), chacun sensible à une fréquence de rayonnement spécifique dans le domaine infrarouge.

Le principe de fonctionnement des détecteurs multi-IR repose sur :

- Une analyse spectrale qui identifie la signature infrarouge des feux liée à la relaxation des molécules des substances émises : signature caractéristique du CO₂, dans la bande 4.2-4.7 µm, et/ou signature caractéristique de H₂O, dans la bande 2.7-3.0 µm. Des bandes spectrales complémentaires (au-dessus ou en-dessous de ces bandes) sont également analysées pour distinguer le bruit de fond.
- Une analyse des scintillements dans les bandes spectrales caractéristiques

L'alarme feu n'est déclenchée que si tous les seuils des paramètres de l'analyse spectrale et de l'analyse des scintillements sont atteints.

Les principaux avantages et inconvénients des détecteurs multi-IR sont présentés ci-dessous :

Avantages :

- Peu d'alarmes intempestives
- Sensibilité élevée et longues distances de détection
- Insensibles au soleil, aux arcs de soudure, aux éclairs et aux corps chauds

Inconvénients :

- Incompatibles pour les feux non carbonés (excepté pour la détection basée sur le pic de H₂O)
- Longs temps de réponse en comparaison au détecteur mono-IR
- Sensibles au givre
- Distances de détection limitées pour les versions H₂O

2.3 UV

La détection UV se fait à l'aide d'un photomultiplicateur. Les photons arrivent sur une cathode et provoquent l'émission d'électrons dans un photo-tube contenant un gaz inerte (figure 2) dans un champ électrique. Les électrons, propulsés vers l'anode, ionisent les molécules de gaz créant ainsi une réaction en chaîne. Le capteur génère alors une série d'impulsions de tension qui sont converties électroniquement en un signal d'alarme de sortie. La plage de sensibilité du détecteur au rayonnement UV est généralement très étroite, de 185 à 265 nm, afin de garantir une bonne immunité contre le rayonnement solaire.

Les principaux avantages et inconvénients des détecteurs UV sont présentés ci-dessous :

Avantages :

- Détection de feux carbonés et non carbonés (métaux, hydrogène, ammoniac...).
- Faibles temps de réponse

Inconvénients :

- Possible inhibition par les gaz, les vapeurs ou les fumées
- Sensibilité possible au soleil selon la gamme de détection (quelques capteurs ne sont prévus que pour l'usage intérieur)
- Sensibles aux éclairs, aux arcs de soudure, aux étincelles et arcs électriques

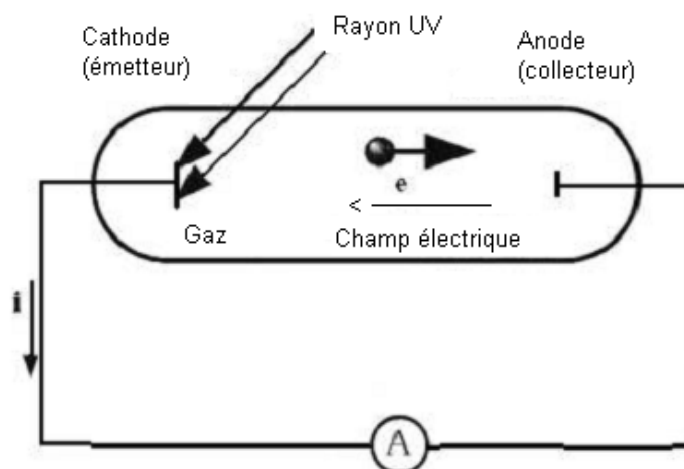


Figure 2 : Schéma de principe d'un capteur UV

2.4 UV/IR

Les détecteurs UV/IR sont constitués d'un capteur UV associé à un ou deux capteurs IR. Les circuits électroniques traitent les signaux issus des deux types de capteurs afin de confirmer le signal de feu de manière plus sûre.

Les principaux avantages et inconvénients des détecteurs UV/IR sont présentés ci-dessous :

Avantages :

- Faible niveau d'alarmes intempestives
- Temps de réponse rapides

Inconvénients :

- Incompatibles avec les feux non carbonés à cause des limitations de la détection IR (excepté pour la détection basée sur le pic d'émission H₂O)
- Possible inhibition par les gaz, les vapeurs ou les fumées

3. APPAREILS SOUMIS AUX ESSAIS

Les trois quarts des détecteurs de flamme testés sont des versions multi-IR. Les appareils sont généralement configurés pour détecter les feux carbonés (pic d'émission du CO₂).

La liste détaillée des détecteurs évalués est donnée dans le tableau ci-dessous.

Numéro du détecteur	Technologie	Constructeur	Numéro du détecteur	Technologie	Constructeur
Détecteur 1	IR3_CO2	M1	Détecteur 19	IR3_CO2	M3
Détecteur 2	IR3_CO2	M2	Détecteur 20	IR3_CO2	M3
Détecteur 3	UV/IR_CO2	M1	Détecteur 21	IR_H2O	M3
Détecteur 4	IR4_H2O+CO2	M2	Détecteur 22	UV/IR_CO2	M3
Détecteur 5	IR3_CO2	M1	Détecteur 23	IR4_H2O+CO2	M5
Détecteur 6	IR3_CO2_LD*	M1	Détecteur 24	IR4_H2O+CO2	M5
Détecteur 7	UV/IR_CO2	M3	Détecteur 25	IR4_H2O+CO2	M5
Détecteur 8	IR3_H2O	M3	Détecteur 26	IR3_CO2	M2
Détecteur 9	IR3_CO2	M4	Détecteur 27	IR4_H2O+CO2	M2
Détecteur 10	IR3_CO2	M3	Détecteur 28	IR4_H2O+CO2	M2
Détecteur 11	UV/IR_H2O	M2	Détecteur 29	UV/IR_H2O	M2
Détecteur 12	IR3_CO2	M4	Détecteur 30	UV/IR_H2O	M2
Détecteur 13	IR3_CO2	M4	Détecteur 31	IR3_CO2	M2
Détecteur 14	IR3_CO2	M4	Détecteur 32	UV/IR_CO2	M1
Détecteur 15	IR3_CO2	M4	Détecteur 33	IR3_CO2_LD*	M1
Détecteur 16	IR3_CO2	M4	Détecteur 34	IR3_CO2_LD*	M1
Détecteur 17	IR_H2O	M3	Détecteur 35	UV/IR_CO2	M1
Détecteur 18	UV/IR_CO2	M3	Détecteur 36	IR3_CO2	M1

Tableau 1: Liste des détecteurs soumis aux essais

* Version multi-IR haute sensibilité (Longue Distance)

Les appareils soumis aux essais présentent les caractéristiques techniques suivantes :

- Sorties relais
- Sortie analogique 4 - 20 mA
- Tension d'alimentation : 24 VDC
- Communication RS-485
- Algorithme de traitement numérique
- Visualisations par LED des états de détection
- Enregistrement de données
- Autodiagnosics (test d'intégrité optique et Built In Test)

La sensibilité des détecteurs - c'est-à-dire leur portée de détection - peut être configurée par différents moyens, en fonction de la marque de l'appareil :

- Software/PC
- Terminal de communication portable
- Micro-interrupteurs de paramétrage des cartes électroniques

Le réglage du niveau de sensibilité n'étant pas toujours accessible à l'utilisateur, les appareils soumis aux essais ont été testés dans leur configuration prévue par défaut (paramétrage usine). Il est à noter que les appareils soumis aux essais n'étaient pas tous réglés à leur niveau de sensibilité maximale.

En matière de certification et de normalisation, les détecteurs de flamme sont conformes aux directives européennes DPC, ATEX & CEM, ainsi qu'aux normes harmonisées correspondantes. La plupart ont également fait l'objet d'une évaluation de conformité, par un organisme tierce partie, aux exigences de sécurité fonctionnelle de la norme CEI 61508 (SIL), ainsi qu'aux exigences de performance métrologique de la norme américaine FM 3260.

4. ESSAIS DE LABORATOIRE

4.1 METHODE D'ESSAIS

4.1.1 BANC D'ESSAIS OPTIQUE

4.1.1.1 LOCALISATION

Les essais en laboratoire ont été conduits, entre juin 2009 et août 2010, à Verneuil-en-Halatte - France, par la Direction des Risques Accidentels de l'INERIS.

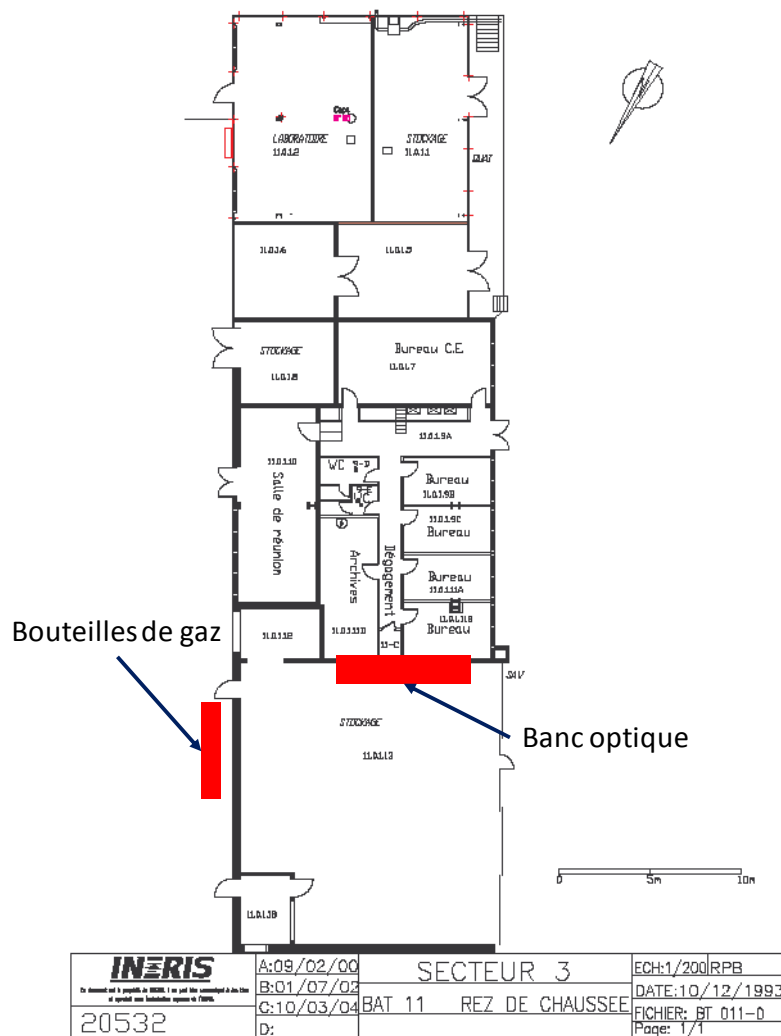


Figure 3 : Local d'implantation du banc d'essais

4.1.1.2 EQUIPEMENTS

Un banc d'essais optique a été conçu pour évaluer la sensibilité de réponse à la flamme des appareils et l'influence de leur angle de positionnement.

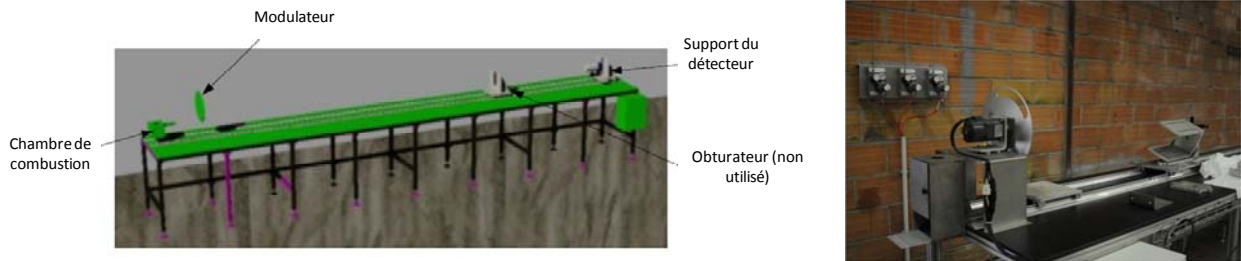


Figure 4 : Banc d'essais optique

Les distances de détection ont pu être mesurées jusqu'à 6 m à l'aide d'indications métriques d'une précision de ± 10 mm.

La hauteur et l'orientation du détecteur peuvent être ajustées de sorte que son axe optique coïncide avec celui de la source de rayonnement.

Le montage permet une rotation du détecteur sur son axe optique - angle β - ainsi que dans le plan horizontal - angle α - (figures 5 et 6). Des graduations angulaires ont permis de mesurer les angles α & β avec une précision de $\pm 5^\circ$.

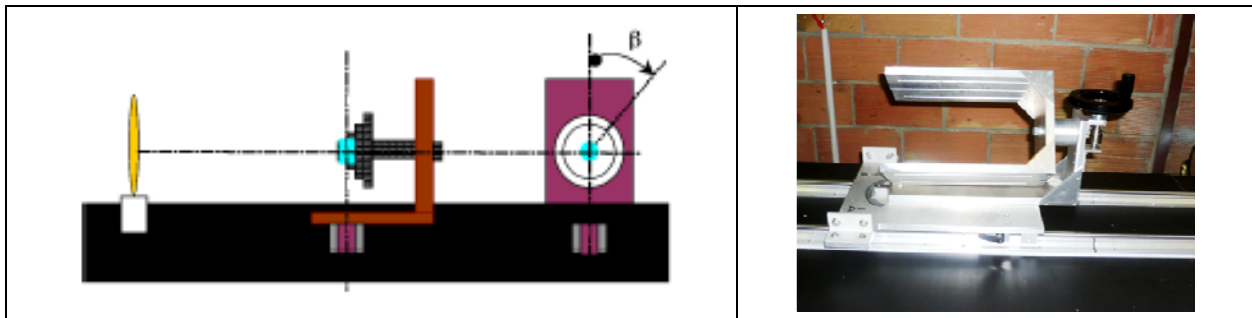


Figure 5 : Principe de la rotation d'angle β (rotation à 360°)

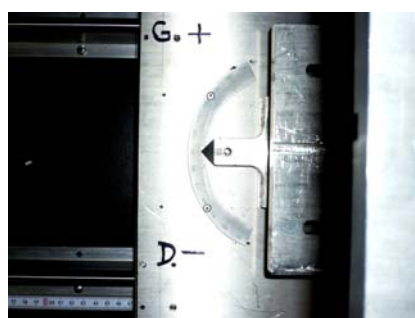
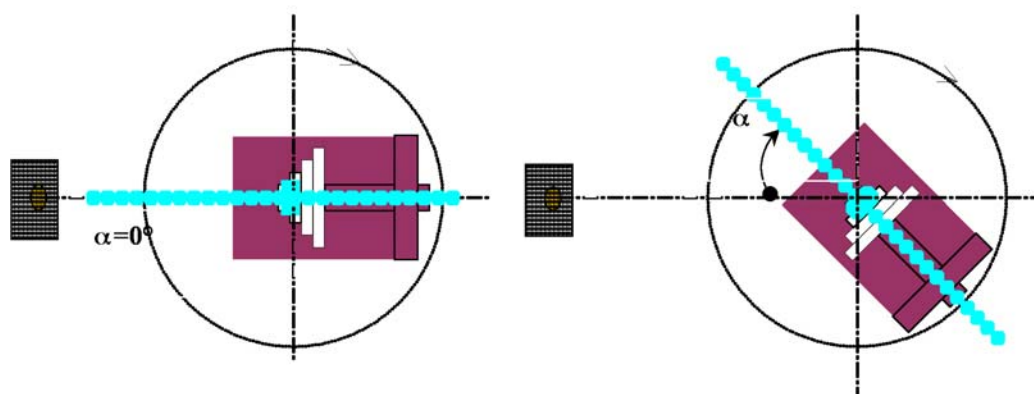


Figure 6 : Principe de la rotation d'angle α (de -65° à $+65^\circ$)

Des supports mécaniques ont été fabriqués sur mesure afin de pouvoir fixer tous les appareils sur le même dispositif de montage.

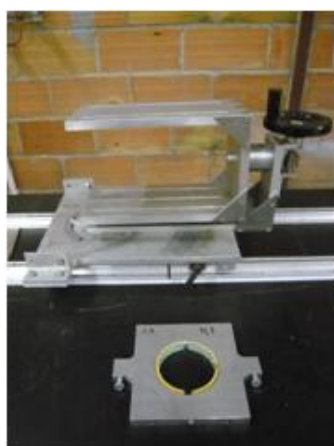


Photo 1 : Adaptateur de montage des appareils

Le rayonnement a été produit à partir de flammes de méthane, de propane et d'hydrogène. Des bouteilles de gaz de pureté supérieure à 98% ont été utilisées.



Photo 2 : Bouteilles de gaz pour l'hydrogène, le méthane & le propane

La chambre de combustion est constituée d'un brûleur et d'une enveloppe métallique. Une ouverture dans la paroi, située à hauteur de flamme, offre une surface d'émission de 8 cm^2 aux détecteurs à tester.

Un disque rotatif percé de deux ouvertures a permis de moduler la flamme à une fréquence de 2 Hz (cf. photo 3). Les caractéristiques de modulation de la source de rayonnement ont été définies sur la base d'une série d'essais préliminaires réalisés en laboratoire.



Photo 3 : Chambre de combustion & disque de modulation

4.1.1.3 PROCEDURE GENERALE D'ESSAIS

Les détecteurs ont été installés et utilisés dans les conditions d'utilisation spécifiées par le constructeur. A défaut d'instructions particulières, un temps de chauffe des appareils de 15 minutes a été respecté.

Trois flammes ont été testées : méthane, propane, hydrogène. Pour chacune d'elles, les essais suivants ont été réalisés :

1. Essais de sensibilité et temps de réponse

La sensibilité de réponse des détecteurs de flamme a été évaluée à partir d'une mesure de la distance de détection maximale à laquelle les détecteurs donnaient un signal d'alarme valide dans les 30 secondes après leur exposition à la flamme.

Pour ce faire, les détecteurs ont été progressivement éloignés de la source de rayonnement, par pas de 10 cm, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de détection. Puis les temps de réponse ont été mesurés 10 fois à la distance de détection maximale mesurée (Dmax).

La réponse des détecteurs de flamme, à la distance de détection maximale mesurée, a ensuite été vérifiée aux valeurs limites, haute et basse, de la tension d'alimentation spécifiée par les constructeurs.

2. Essais directionnels

Les essais directionnels ont été réalisés à la distance maximale de détection mesurée. L'appareil a subi des rotations d'angle α par pas de 5° jusqu'à α -max, de part et d'autre de l'axe optique. L'angle étant positionné à α -max, le détecteur a ensuite subi des rotations d'angle β de 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° et 315° .

3. Réponse aux sources de fausses alarmes

Une sélection de neuf appareils a été testée avec les sources de fausses alarmes suivantes :

Gyrophare halogène : le détecteur a été exposé à une source de rayonnement générée par une lampe halogène placée sur l'axe optique à des distances allant de 15 cm à Dmax



Lampe halogène : 12 V/55W

160 flashes/min

Ampoule à incandescence : le détecteur a été exposé au rayonnement d'une lampe à incandescence placée sur l'axe optique à des distances allant de 15 cm à Dmax



40 watts (x2)

Gyrophare Xénon : le détecteur a été exposé à une source de rayonnement générée par une lampe au Xénon placée sur l'axe optique à des distances allant de 15 cm à Dmax

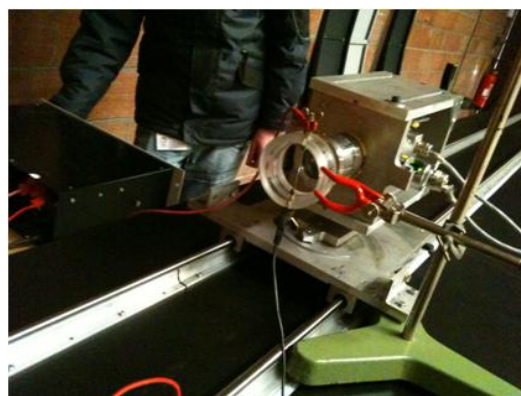


90 flashes/min ; 5 W

Étincelles mécaniques : le détecteur a été exposé à une source de rayonnement générée par des étincelles mécaniques (meuleuse) à des distances allant de 15 cm à Dmax



Étincelles électrostatiques : un champ électrostatique de l'ordre de 0,9 Megavolt/m a été appliqué entre deux électrodes pour générer des décharges sur le trajet optique du détecteur



Tension : 5.5 KV

Interstice entre les électrodes : 6 mm

Soudage à l'arc : le détecteur a été exposé aux rayonnements issus d'une opération de soudure à l'arc

Baguette de 0.3 cm

Plaque en acier

70 ampères

Flash d'appareil photo : le détecteur a été installé sur le banc d'essai et a été exposé à 3 flashes d'appareil photo, à 15 cm et à Dmax

4. Résistance aux conditions atmosphériques

Une sélection de 5 appareils a été testée dans les conditions suivantes :

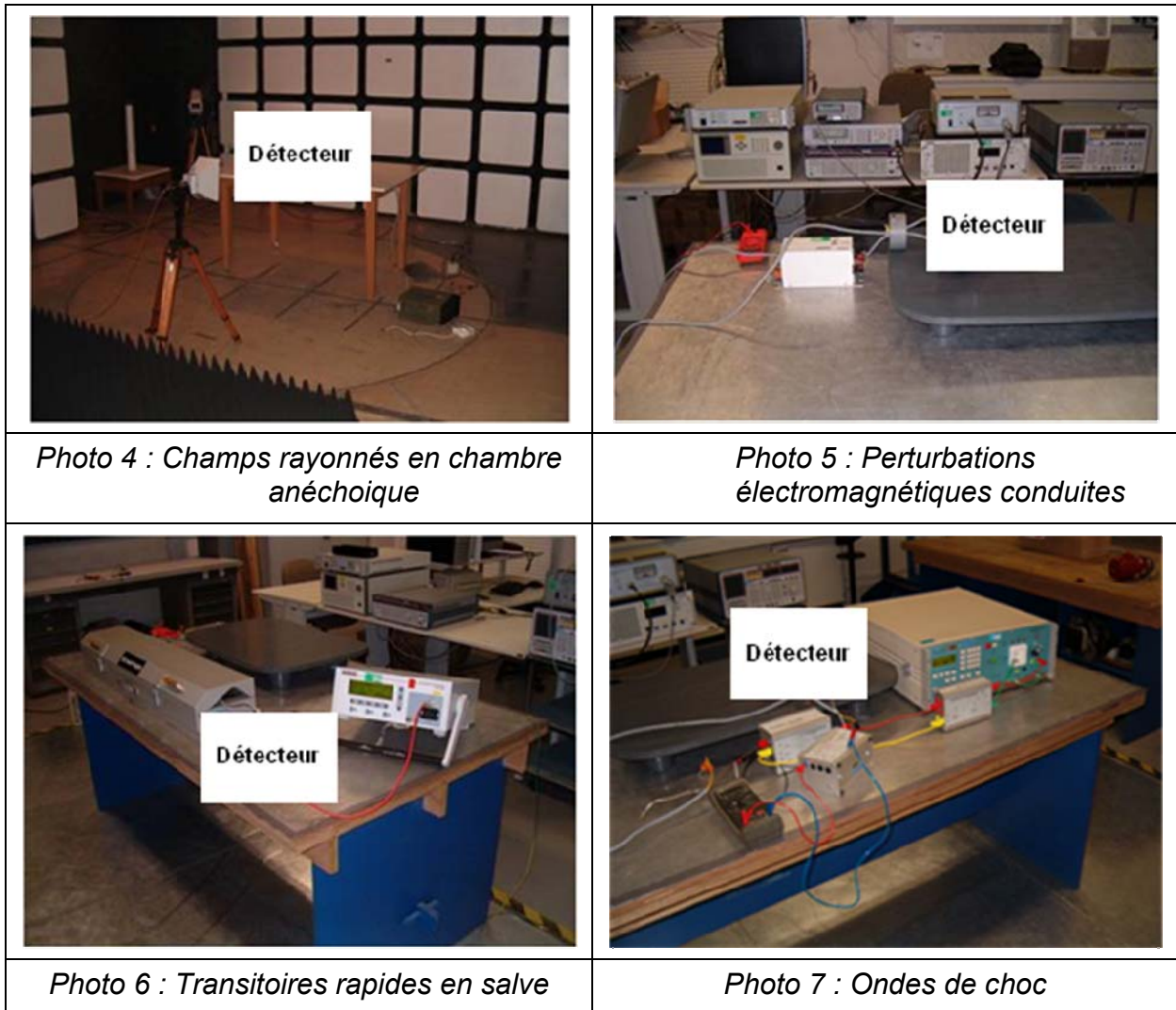
- Chaleur sèche : les détecteurs ont été placés dans une enceinte climatique et ont été soumis à une température de +55°C pendant 16 heures. A la fin de la période de conditionnement, chaque détecteur a fait l'objet d'un test fonctionnel réduit selon la norme EN 54-10.
- Froid : les détecteurs ont été placés dans une enceinte climatique et ont été soumis aux températures de -10°C ou -30°C (selon les instructions du constructeur) pendant 16 heures. A la fin la période de conditionnement, chaque détecteur a fait l'objet d'un test fonctionnel réduit selon la norme EN 54-10.
- Chaleur humide : les détecteurs ont été placés dans une enceinte climatique et ont été soumis à une température de +40°C et une hygrométrie de 90 % HR pendant 16 heures. A la fin de la période de conditionnement, chaque détecteur a fait l'objet d'un test fonctionnel réduit selon la norme EN 54-10.

4.1.2 ESSAIS DE COMPATIBILITE ELECTROMAGNETIQUE (CEM)

Les détecteurs de flamme ont été testés conformément aux exigences CEM de la norme CEI 61326-3-1:2008 applicable aux systèmes relatifs à la sécurité et aux matériels destinés à réaliser des fonctions de sécurité.

Essai d'immunité	Exigences d'essai (CEI 61326-3-1)	Méthode d'essai
Décharge électrostatique	± 6 kV au contact ± 8 kV dans l'air	EN 61000-4-2
Champs électromagnétiques rayonnés	20 V/m : 0.8 - 1 GHz 10 V/m : 1,4 - 2 GHz 3 V/m : 2 - 2,7 GHz	EN 61000-4-2
Transitoires rapides en salves	± 3 kV	EN 61000-4-4
Perturbations induites par champs électromagnétiques injectés	10 V : 150 kHz - 80 MHz	EN 61000-4-6
Ondes de choc	± 1 kV en mode différentiel ± 2 kV en mode commun	EN 61000-4-5

Les essais ont été réalisés au laboratoire du GIE CEM PICARDIE (INERIS/CETIM) situé à Senlis - France.



Paramètres surveillés pendant les essais :

- Relais de sortie en position fermée
- Courant de 4 mA en l'absence de flamme

4.2 RESULTATS DES ESSAIS

Au total, plus de 2000 essais ont été réalisés en laboratoire. Les essais d'immunité aux sources de fausses alarmes, aux perturbations climatiques et aux perturbations électromagnétiques ont été réalisés sur une sélection d'appareils représentative de toutes les technologies disponibles (cf. tableaux 2 et 3).

Plusieurs appareils ont présenté un défaut permanent, les rendant inaptes à l'emploi. Les appareils du constructeur 5 n'ont ainsi pas pu être testés.

	Soudage à l'arc	Flash d'appareil photo	Ampoule à incandescence	Lampe xénon	Lampe halogène	Meulage	Etincelles électrostatiques
Détecteur 1							
Détecteur 2							
Détecteur 3							
Détecteur 4							
Détecteur 5							
Détecteur 6							
Détecteur 7							
Détecteur 8							
Détecteur 9							
Détecteur 10							
Détecteur 11							
Détecteur 12							
Détecteur 13							
Détecteur 14							
Détecteur 15							
Détecteur 16							
Détecteur 17							
Détecteur 18							
Détecteur 19							
Détecteur 20							
Détecteur 21							
Détecteur 22							
Détecteur 23							
Détecteur 24							
Détecteur 25							
Détecteur 26							
Détecteur 27							
Détecteur 28							
Détecteur 29							
Détecteur 30							
Détecteur 31							
Détecteur 32							
Détecteur 33							
Détecteur 34							
Détecteur 35							
Détecteur 36							

	Testé
	Non testé
	Défaut

Tableau 2 : Matrice de tests - essais d'immunité aux sources de fausses alarmes

	Décharge électrostatique	Champs électromagnétiques rayonnés	Transitoires rapides en salves	Ondes de choc	Champs électromagnétiques injectés	Chaleur sèche	Chaleur humide	Froid
Détecteur 1								
Détecteur 2								
Détecteur 3								
Détecteur 4								
Détecteur 5								
Détecteur 6								
Détecteur 7								
Détecteur 8								
Détecteur 9								
Détecteur 10								
Détecteur 11								
Détecteur 12								
Détecteur 13								
Détecteur 14								
Détecteur 15								
Détecteur 16								
Détecteur 17								
Détecteur 18								
Détecteur 19								
Détecteur 20								
Détecteur 21								
Détecteur 22								
Détecteur 23								
Détecteur 24								
Détecteur 25								
Détecteur 26								
Détecteur 27								
Détecteur 28								
Détecteur 29								
Détecteur 30								
Détecteur 31								
Détecteur 32								
Détecteur 33								
Détecteur 34								
Détecteur 35								
Détecteur 36								

	Testé
	Non testé
	Défaut

Tableau 3 : Matrice de tests - essais d'immunité aux perturbations électromagnétiques et aux variations climatiques

4.2.1 SENSIBILITE DE LA REPONSE A LA FLAMME

Les distances de détection maximales mesurées et les temps de réponse moyennés sur 10 essais sont présentés par technologie et par constructeur (cf. tableau 4).

Constructeur 1	Technologie	Méthane		Propane		Hydrogène	
		Distance de détection	Temps de réponse	Distance de détection	Temps de réponse	Distance de détection	Temps de réponse
1	IR3_CO2	1,3 m	8,5 s	1 m	8 s	-	-
5	IR3_CO2	1,3 m	8 s	1 m	8,3 s	-	-
36	IR3_CO2	1,3 m	7,7 s	1 m	8,1 s	-	-
6	IR3_CO2_LD	1,4 m	7,7 s	1,1 m	7,8 s	-	-
33	IR3_CO2_LD	2,9 m	9,3 s	2,4 m	8,8 s	-	-
34	IR3_CO2_LD	2,4 m	8 s	1,8 m	8,9 s	-	-
3	UV/IR_CO2	0,5 m	5 s	0,6 m	5,5 s	-	-
32	UV/IR_CO2	0,6 m	5,1 s	0,8 m	4,6 s	-	-
35	UV/IR_CO2	0,5 m	4,9 s	0,8 m	5,3 s	-	-
Constructeur 2	Technologie	Distance de détection	Temps de réponse	Distance de détection	Temps de réponse	Distance de détection	Temps de réponse
2	IR3_CO2	1,6 m	14,5 s	1,3 m	15,4 s	-	-
4	IR4_H2O+CO2	1,5 m	13,1 s	1,2 m	12,9 s	0,7 m	13,1 s
27	IR4_H2O+CO2	1,6 m	13,8 s	1,2 m	12,3 s	0,7 m	12 s
28	IR4_H2O+CO2	1,5 m	12,3 s	1,2 m	13,1 s	0,7 m	12,5 s
11	UV/IR_H2O	-	-	-	-	-	-
30	UV/IR_H2O	-	-	-	-	-	-
Constructeur 3	Technologie	Distance de détection	Temps de réponse	Distance de détection	Temps de réponse	Distance de détection	Temps de réponse
10	IR3_CO2	0,5 m / 4,4 m	5 s / 11,2 s	2,6 m	7,5 s / 12 s	-	-
19	IR3_CO2	4,3 m	11,3 s	2,6 m / 3,3 m	7,7 s / 11,5 s	-	-
20	IR3_CO2	4,3 m	11,7 s	2,6 m	7,5 s / 10,7 s	-	-
17	IR3_H2O	1,9 m	4,1 s	1,3 m	3,4 s	1,7 m	3,7 s
8	IR3_H2O	1,9 m	3,0 s	1,3 m	2,9 s	1,7 m	3,2 s
21	IR3_H2O	1,9 m	3,3 s	1,3 m	2,9 s	1,7 m	3,1 s
7	UV/IR_CO2	0,4 m	9,9 s	0,5 m	9,8 s	-	-
18	UV/IR_CO2	0,7 m	7,7 s	-	-	-	-
22	UV/IR_CO2	0,9 m	6,6 s	0,7 m	6,5 s	-	-
Constructeur 4	Technologie	Distance de détection	Temps de réponse	Distance de détection	Temps de réponse	Distance de détection	Temps de réponse
9	IR3_CO2	-	-	-	-	-	-
12	IR3_CO2	-	-	1,5 m	25,4 s	-	-
13	IR3_CO2	1 m	5,2 s	-	-	-	-
14	IR3_CO2	1,5 m	20,9 s	-	-	-	-
16	IR3_CO2	1 m	11,1 s	-	-	-	-

Tableau 4 : Résultats de mesure des distances de détection et des temps de réponse

Remarque : Le détecteur 6 correspond, en réalité, à une version standard au regard des résultats obtenus. La sensibilité de ce détecteur est effectivement réduite de moitié en comparaison à celle de ses homologues 33 et 34. Ce constat a d'ailleurs pu être vérifié lors des essais en grand. Une erreur de paramétrage est vraisemblablement à l'origine du problème.

Les résultats d'essais sur banc optique témoignent :

- d'une sensibilité plus grande de la technologie multi-IR en regard de la technologie UV/IR,
- d'une sensibilité plus grande aux flammes d'hydrocarbures des détecteurs - version CO₂ - en regard des versions H₂O,
- d'une sensibilité à la flamme d'hydrogène des détecteurs - version exclusivement H₂O - similaire à celle mesurée avec les flammes d'hydrocarbures, tandis que la version mixte - H₂O-CO₂ - présente une sensibilité moindre dans les mêmes conditions de comparaison,
- de temps de réponse significativement inférieurs au seuil de tolérance normatif de 30 secondes,
- d'une meilleure réponse des détecteurs multi-IR à la flamme de méthane qu'à la flamme de propane²,
- de l'absence d'influence de la tension d'alimentation des appareils dans leur plage de fonctionnement spécifiée.

4.2.2 INFLUENCE DE L'ORIENTATION

Les résultats de mesure des angles α sont présentés par technologie et par constructeur (cf. tableau 5).

Les résultats relatifs aux angles β ne sont pas présentés en détail. Dans 50 % des cas, les appareils ont correctement détecté la flamme, tous angles confondus. Pour les cas restants, les appareils ont été influencés par leur orientation sur l'axe optique, notamment lorsque les angles β testés étaient de 90° et 270°.

² En raison probablement d'une différence dans l'intensité du flux de rayonnement IR émis entre les deux flammes, attendu qu'à intensité égale, la sensibilité devrait être plus grande avec la flamme de propane

<i>Constructeur 1</i>	<i>Technologie</i>	<i>Méthane</i>	<i>Propane</i>	<i>Hydrogène</i>
1	IR3_CO2	50 °	50°	-
5	IR3_CO2	50 °	55°	-
36	IR3_CO2	50 °	59°	-
6	IR3_CO2_LD	50 °	50°	-
33	IR3_CO2_LD	50 °	50°	-
34	IR3_CO2_LD	50 °	50°	-
3	UV/IR_CO2	45°	45°	-
32	UV/IR_CO2	45°	45°	-
35	UV/IR_CO2	45°	45°	-
<i>Constructeur 2</i>	<i>Technologie</i>	<i>Méthane</i>	<i>Propane</i>	<i>Hydrogène</i>
2	IR3_CO2	20°	20°	-
4	IR4_H2O+CO2	30°	35°	20°
27	IR4_H2O+CO2	30°	30°	20°
28	IR4_H2O+CO2	30°	30°	20°
11	UV/IR_H2O	-	-	-
30	UV/IR_H2O	-	-	-
<i>Constructeur 3</i>	<i>Technologie</i>	<i>Méthane</i>	<i>Propane</i>	<i>Hydrogène</i>
10	IR3_CO2	35°	35°	-
19	IR3_CO2	45°	45°	-
20	IR3_CO2	55°	45°	-
17	IR3_H2O	20°	25°	55°
8	IR3_H2O	25°	25°	50°
21	IR3_H2O	30°	30°	50°
7	UV/IR_CO2	35°	40°	-
18	UV/IR_CO2	45°	-	-
22	UV/IR_CO2	35°	35°	-
<i>Constructeur 4</i>	<i>Technologie</i>	<i>Méthane</i>	<i>Propane</i>	<i>Hydrogène</i>
9	IR3_CO2	-	-	-
12	IR3_CO2	-	30°	-
13	IR3_CO2	40°	-	-
14	IR3_CO2	25°	-	-
16	IR3_CO2	40°	-	-

Tableau 5 : Résultats de mesure des angles α

4.2.3 SOURCES DE FAUSSES ALARMES

Les résultats des essais d'immunité en présence de sources de fausses alarmes sont présentés dans le tableau 6.

			Soudage à l'arc	Flash d'appareil photo	Lampe incandescente	Lampe Xenon	Lampe Halogène	Meulage	Étincelles électrostatiques
M1	Det 1	IR3_CO2	-	-	-	-	-	Pas d'alarme	-
M2	Det 2	IR3_CO2	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme
M1	Det 3	UV/IR_CO2	-	-	-	-	-	-	Pas d'alarme
M1	Det 5	IR3_CO2	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme
M1	Det 6	IR3_CO2_LD	-	-	-	-	-	Pas d'alarme	Pas d'alarme
M3	Det 7	UV/IR_CO2	Alarme	Pas d'alarme	Alarme	Pas d'alarme	Alarme	Alarme	Alarme
M4	Det 9	IR3_CO2	-	-	-	-	-	-	Pas d'alarme
M4	Det 12	IR3_CO2	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme
M4	Det 14	IR3_CO2	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme
M3	Det 17	IR3_H2O	Alarme	Pas d'alarme	Alarme	Pas d'alarme	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme
M3	Det 18	UV/IR_CO2	-	-	-	-	-	-	-
M3	Det 19	IR3_CO2	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme
M2	Det 28	IR4_H2O+CO2	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme
M1	Det 32	UV/IR_CO2	-	-	-	-	-	Alarme	-
M1	Det 33	IR3_CO2_LD	-	-	-	-	-	-	Pas d'alarme
M1	Det 34	IR3_CO2_LD	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Alarme	-	-
M1	Det 35	UV/IR_CO2	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	-	-
M1	Det 36	IR3_CO2	Alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Pas d'alarme	Alarme	-	-

Tableau 6 : Immunité contre les sources de fausses alarmes

Les résultats des essais montrent que le soudage à l'arc est une source de fausse alarme systématique lorsqu'elle est présente à proximité immédiate des détecteurs. C'est pourquoi les constructeurs recommandent d'éloigner les appareils d'une telle source interférente et ne garantissent pas une immunité totale des appareils.

Il est à noter que les appareils les plus sensibles aux sources de fausses alarmes sont ceux ayant les temps de réponse les plus courts.

4.2.4 PERTURBATIONS CLIMATIQUES & ELECTROMAGNETIQUES

Une sélection de détecteurs a été testée dans différentes conditions de perturbation. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.

			Décharges électrostatiques	Champs électromagnétiques rayonnés	Transitoires rapides en salves	Ondes de choc	Champs électromagnétiques injectés	Chaleur sèche	Chaleur humide	Froid
M2	Det 2	IR3_CO2	-	-	-	-	-	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé
M1	Det 3	UV/IR_CO2	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé
M2	Det 4	IR4_H2O+CO2	-	-	-	-	-	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé
M1	Det 5	IR3_CO2	-	Perturbé*	Non perturbé	-	Non perturbé	-	-	-
M1	Det 6	IR3_CO2_LD	-	-	-	-	-	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé
M3	Det 7	UV/IR_CO2	-	-	-	-	-	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé
M3	Det 8	IR3_H2O	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé
M4	Det 9	IR3_CO2	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	Det 10	IR3_CO2	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé
M4	Det 12	IR3_CO2	-	-	-	-	-	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé
M4	Det 14	IR3_CO2	-	-	-	-	-	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé
M3	Det 22	UV/IR_CO2	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	Non perturbé	-	-	-
M1	Det 34	IR3_CO2_LD	-	Perturbé*	Non perturbé	-	Non perturbé	-	-	-
M1	Det 36	IR3_CO2	-	Perturbé*	Non perturbé	-	Non perturbé	-	-	-

Tableau 7 : Immunités contre les perturbations CEM et climatiques

* Résultats avant modification matérielle

La plupart des détecteurs n'ont pas été perturbés, à l'exception des détecteurs du constructeur M1 lors d'un essai CEM. Les détecteurs ont depuis été modifiés et des tests en laboratoire ont permis d'attester de leur conformité à l'ensemble des exigences CEM de la norme CEI 61326-3-1.

5. ESSAIS A L'AIR LIBRE

Les essais à l'air libre sur les détecteurs de flammes ont été conduits entre le 27 octobre et le 5 décembre 2010 à Borås, en Suède, par le département *Technologies Incendie* du *SP Technical Research Institute of Sweden*.

5.1 LOCALISATION

Les essais ont été réalisés sur un centre d'entraînement des pompiers. Ce lieu a été choisi car il offrait une surface relativement plane et ouverte sur une distance de plus de 80 m et, surtout, il permettait la réalisation de feux en plein air et disposait de toutes les utilités nécessaires.



Figure 7 : Vue d'ensemble du site d'essais

5.2 METHODE D'ESSAIS

La méthode d'essais et les paramètres d'essais ont été développés conjointement par SP Technical Research Institute of Sweden et l'INERIS.

Cinq combustibles différents ont été utilisés pour les essais de sensibilité de réponse à la flamme et de détermination du champ de vision horizontal des détecteurs.

5.2.1 NATURE DES COMBUSTIBLES

Cinq combustibles ont été sélectionnés pour leur représentativité des trois états physiques (solide, liquide et gazeux) et pour tenir compte des spécifications usuelles des constructeurs. A noter que l'heptane est le feu de référence pour les combustibles liquides inflammables, tandis que le méthane est le feu de référence pour les combustibles gazeux au titre de la norme EN 54-10.

Heptane

L'heptane a été versé dans un bac en acier de 0,3 x 0,3 x 0,08 m (L x l x h), rempli d'eau à un niveau d'environ 20 cm, et enflammé pendant 1 minute. Après chaque essai, le feu a été éteint en plaçant une plaque incombustible en silicate de calcium au dessus du bac. Entre chaque essai, le bac a été ré-rempli avec de l'heptane.



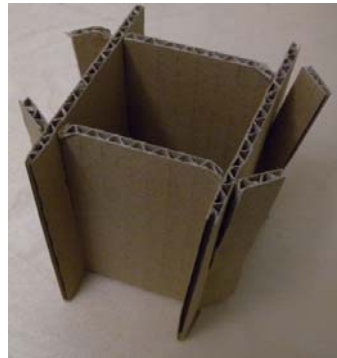
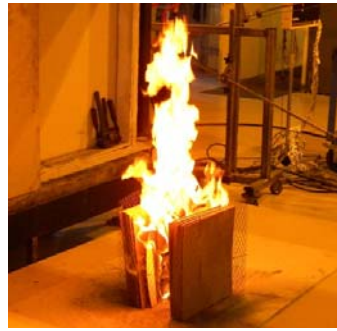
Ethanol

L'éthanol a été versé dans un bac en acier de 0,3 x 0,3 x 0,08 m (L x l x h), rempli d'eau à un niveau d'environ 20 cm, et enflammé pendant 1 minute. Après chaque essai, le feu a été éteint en plaçant une plaque incombustible en silicate de calcium au dessus du bac. Entre chaque essai, le bac a été ré-rempli avec de l'éthanol.



Carton

Le feu de carton se composait de douze feuilles de carton de 0,3 x 0,3 m, dressées verticalement en deux piles de six. Les piles étaient placées dans une boîte grillagée en acier, au milieu de laquelle quatre feuilles de carton de 0,08 x 0,08 m étaient placées pour l'allumage. Les détecteurs ont été exposés dès lors que les flammes étaient visibles au-dessus des piles.



Méthane

Un brûleur à sable de 0,17 x 0,17 x 0,17 m a été utilisé pour produire une flamme d'environ 0,8 m de haut. Les détecteurs ont été exposés après stabilisation des conditions de brûlage.



Hydrogène

La flamme d'hydrogène a été produite dans les mêmes conditions que celles du méthane. La hauteur de flamme était approximativement de 0,6 m. Les détecteurs ont été exposés après stabilisation des conditions de brûlage.



5.2.2 RAMPE DE TEST

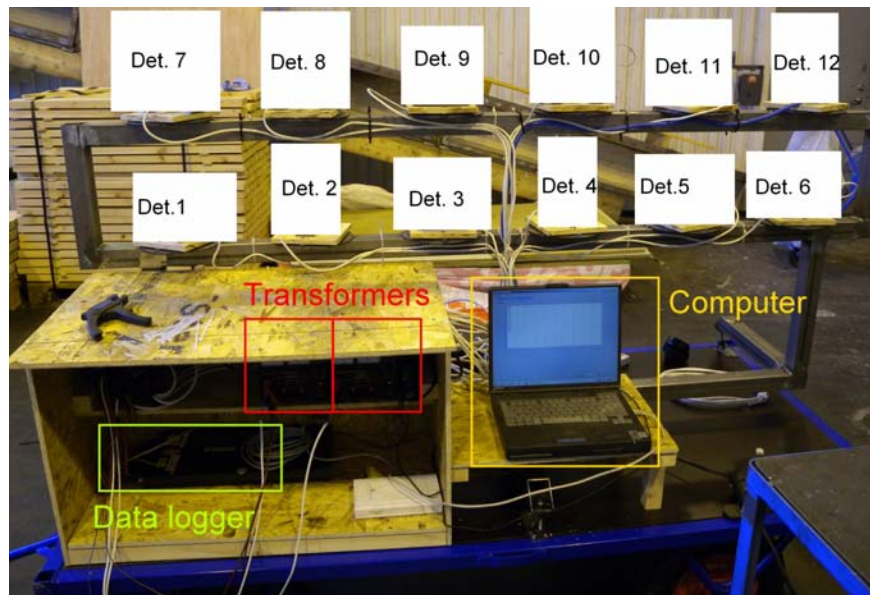
Une rampe métallique, montée sur un chariot roulant, a été réalisée pour supporter jusqu'à 12 détecteurs. Les détecteurs pouvaient être orientés dans le plan horizontal. Un réglage vertical était également possible pour compenser les irrégularités de terrain.

Les détecteurs ont été disposés sur la rampe à une distance de 0,3 m les uns des autres et sur deux niveaux, à une hauteur du sol d'environ 1 m et 1,5 m.



Les équipements suivants ont été utilisés pour l'alimentation et l'acquisition des données :

- 2 transformateurs de puissance DC (sortie 24 VDC, < 1 ampère)
- 1 enregistreur de données
- 1 ordinateur



5.2.3 SUIVI DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES PENDANT LES ESSAIS

Les conditions ambiantes (température, humidité, vitesse et direction du vent, etc.) ont été enregistrées, toutes les 5 minutes, par une station météorologique. Des relevés d'observation manuels sont venus compléter ces informations.

5.2.4 PROCEDURE GENERALE D'ESSAIS

Les essais se sont déroulés comme suit :

1. Nettoyage des lentilles des détecteurs avec un agent de nettoyage adapté
2. Transport des équipements depuis le local de stockage vers la zone d'essais
3. Branchement des appareils et vérification de leur état de fonctionnement
4. Mise en chauffe des appareils et installation de la station météorologique
5. Test fonctionnel des appareils et ajustement de visée
6. Essais de détermination des paramètres de performance
7. Extinction des appareils et débranchement
8. Transport des équipements depuis la zone d'essais vers le local de stockage

5.2.4.1 DETERMINATION DES DISTANCES D10 AND D30

La sensibilité des détecteurs a été évaluée à partir des distances D10 et D30 :

- **D10** : distance entre le détecteur et le foyer à laquelle le détecteur déclenche un signal d'alarme valide dans les 10 secondes après exposition à la flamme
- **D30** : distance entre le détecteur et le foyer à laquelle le détecteur déclenche un signal d'alarme valide dans les 30 secondes après exposition à la flamme

Les détecteurs ont été éloignés du foyer, pas à pas, dans le respect des distances de test suivantes :

7 m	35 m
9 m	40 m
11 m	45 m
13 m	50 m
15 m	55 m
17 m	60 m
19 m	65 m
21 m	70 m
24 m	75 m
27 m	80 m
30 m	

Deux séries d'essais ont servi à la détermination des distances D10 and D30. Lors de la première série, les mesures ont été faites à chacune des distances de test, jusqu'à ce que tous les appareils ne détectent plus la flamme. Lors de la deuxième série, les mesures ont démarré à la distance, déterminée lors de la première série, à laquelle tous les appareils détectaient la flamme.

5.2.4.2 DETERMINATION DE L'ANGLE DE VISION HORIZONTAL MAXIMAL

L'angle de vision horizontal maximal a été déterminé à partir de l'angle α . Il correspond à 2 fois l'angle α . L'angle α a été mesuré à la distance D30 maximale obtenue lors des essais du chapitre précédent. Il a été mesuré dans une seule direction, une symétrie, de part et d'autre de l'axe optique, ayant été supposée.

Tous les détecteurs ont d'abord été testés à 0° . En cas de non détection, la distance était réduite jusqu'à ce que le déclenchement de l'alarme feu soit obtenu. Les détecteurs ont été ensuite testés à $12,5^\circ$. En fonction de la réponse à $12,5^\circ$, l'angle a été augmenté ou réduit pour en déterminer la valeur maximale.

5.2.5 LIMITES DE LA METHODE

La méthode d'essais présente les limites suivantes :

- De légers écarts de distance à la flamme sont avérés compte tenu du positionnement des appareils sur la rampe
- Les mesures des distances et d'angles ont été faites manuellement à l'aide d'outils non étalonnés
- Le système d'acquisition de données avait une précision de ± 1 s

5.3 RESULTATS D'ESSAIS

Au total, 250 essais ont été réalisés, tous combustibles confondus. Une synthèse et une description simplifiée des conditions météorologiques sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Heptane			Ethanol			Carton			Méthane			Hydrogène
Distances 1ère série	Distances 2ème série	Angles	Distances 1ère série	Distances 2ème série	Angles	Distances 1ère série	Distances 2ème série	Angles	Distances 1ère série	Distances 2ème série	Angles	Distances 1ère série
5 m		Détecteur 1	5 m		Détecteur 1 ⁽¹⁾	9 m ⁽¹⁾		Détecteur 1	7 m ⁽¹⁾		Détecteur 1 ⁽¹⁾	7 m ⁽¹⁾
7 m		Détecteur 2	7 m		Détecteur 2	11 m ⁽¹⁾	11 m	Détecteur 2	9 m ⁽¹⁾		Détecteur 2 ⁽¹⁾	9 m ⁽¹⁾
9 m		Détecteur 3	9 m		Détecteur 3 ⁽¹⁾	13 m ⁽¹⁾	13 m	Détecteur 3 ⁽¹⁾	11 m ⁽¹⁾		Détecteur 3 ⁽¹⁾	9 m ⁽¹⁾
11 m		Détecteur 4	11 m	11 m	Détecteur 4	15 m ⁽¹⁾	15 m	Détecteur 4	13 m ⁽¹⁾	13 m ⁽¹⁾	Détecteur 4 ⁽¹⁾	
13 m		Détecteur 5	13 m	13 m	Détecteur 5 ⁽¹⁾	17 m ⁽¹⁾	17 m	Détecteur 5	15 m ⁽¹⁾	15 m ⁽¹⁾	Détecteur 5 ⁽¹⁾	
15 m	15 m	Détecteur 6	15 m	15 m	Détecteur 6 ⁽¹⁾	19 m ⁽¹⁾	19 m	Détecteur 6	17 m ⁽¹⁾	17 m ⁽¹⁾	Détecteur 6 ⁽¹⁾	
17 m	17 m	Détecteur 7	17 m	17 m	Détecteur 7	21 m ⁽¹⁾	21 m	Détecteur 7	19 m ⁽¹⁾	19 m ⁽¹⁾	Détecteur 7 ⁽¹⁾	
19 m	19 m	Détecteur 8	19 m	19 m	Détecteur 8 ⁽¹⁾	24 m ⁽¹⁾	24 m		21 m ⁽¹⁾	21 m ⁽¹⁾	Détecteur 8 ⁽¹⁾	
21 m	21 m	Détecteur 9	21 m	21 m	Détecteur 9 ⁽¹⁾	27 m ⁽¹⁾	27 m	Détecteur 9 ⁽¹⁾	24 m ⁽¹⁾	24 m ⁽¹⁾	Détecteur 9 ⁽¹⁾	
24 m	24 m	Détecteur 10	24 m	24 m	Détecteur 10 ⁽¹⁾	30 m ⁽¹⁾	30 m		27 m ⁽¹⁾	27 m ⁽¹⁾	Détecteur 10 ⁽¹⁾	
27 m	27 m	Détecteur 11	27 m	27 m	Détecteur 11	35 m ⁽¹⁾	35 m	Détecteur 11	30 m ⁽¹⁾	30 m ⁽¹⁾	Détecteur 11 ⁽¹⁾	
30 m	30 m	Détecteur 12	30 m	30 m	Détecteur 12	40 m ⁽¹⁾	40 m	Détecteur 12	35 m ⁽¹⁾	35 m ⁽¹⁾	Détecteur 12 ⁽¹⁾	
35 m	35 m		35 m	35 m		45 m ⁽¹⁾	45 m		40 m ⁽¹⁾	40 m ⁽¹⁾		
40 m	40 m		40 m	40 m		50 m ⁽¹⁾	50 m		45 m ⁽¹⁾	45 m ⁽¹⁾		
45 m	45 m		45 m	45 m			55 m		50 m ⁽¹⁾	50 m ⁽¹⁾		
50 m	50 m		50 m	50 m					55 m ⁽¹⁾	55 m ⁽¹⁾		
55 m	55 m		55 m	55 m					60 m ⁽¹⁾	60 m ⁽¹⁾		
60 m	60 m		60 m	60 m					65 m ⁽¹⁾	65 m ⁽¹⁾		
65 m	65 m		65 m	65 m								
70 m	70 m									75 m ⁽¹⁾		
	75 m									80 m ⁽¹⁾		
	80 m											

Tableau 8 : Conditions météorologiques rencontrées lors des essais

Pas de pluie ni de neige
Pluie légère
Pluie légère
Averses importantes
Neige légère
Pas de nuages
Partiellement nuageux
Nuageux
(1) Couverture neigeuse arbres et sol

5.3.1 DISTANCES DE DETECTION

Les distances de détection mesurées sont rapportées dans le tableau ci-après. Les résultats de mesure de la première et de la deuxième série d'essais y figurent. Les tableaux 10 à 14 en donnent le détail.

Décteur	D10	D30	D10	D30	D10	D30	D10	D30
	heptane	heptane	éthanol	éthanol	carton	carton	méthane	méthane
1	19-21m	27-30m	13-21m	21-24m	9-15m	15-17m	11-17m	27-35m
2	13-17m	21m	13-17m	17m	9-11m	13-17m	15-21m	21-27m
3	19-24m	27-35m	17-21m	21-24m	15-17m	19-21m	21-35m	35-40m
4	15-17m	21-24m	9-17m	17-21m	9-13m	13-17m	15-19m	27-30m
5	21-27m	30m	17-21m	24m	13-15m	15-17m	9-30m	30-35m
6	21-24m	30m	11-21m	24m	11-15m	11-15m	N/A	N/A
7	13-15m	19-24m	13-15m	15-17m	9-13m	15m	11-17m	21-24m
8	24-35m	24-35m	24-45m	24-45m	11-13m	15-17m	19-50m	50m
9	30-35m	50-60m	11-30m	24-40m	15-21m	19-30m	13-40m	27-50m
10	30-65m	35-75m	35-45m	55-60m	30-45m	45-50m	35-65m	60-(>80)m
11	< 5m	13-17m	7m	9m	< 9m	< 9m	15m	15-19m
12	7-17m	13-24m	0-9m	0-19m	11m	11m	15-17m	19-27m

Tableau 9: Distances à la flamme D10 et D30

Combustible : Heptane

Distance	Det. 1	Det. 2	Det. 3	Det. 4	Det. 5	Det. 6	Det. 7	Det. 8	Det. 9	Det. 10	Det. 11	Det. 12
5 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	y	x, y
7 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	y	x, y
9 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	y	y
11 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	y	y
13 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	y	x, y
15 m	x,X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	Y	Y
17 m	x,X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	Y	X,y,Y
19 m	x,X,y,Y	y,Y	x,X,y,Y	y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		y
21 m	X,y,Y	y,Y	x, y,Y	y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		y
24 m	y,Y		X,y,Y	Y	X,y,Y	X,y,Y	Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		Y
27 m	y,Y		y,Y		x, y,Y	y,Y		X, Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		
30 m	Y				y,Y	y,Y		x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		
35 m			y					x, y	x, y,Y	X, Y		
40 m									y,Y	x,X,y,Y		
45 m									y,Y	x,X,y,Y		
50 m									y,Y	x,X,y,Y		
55 m									Y	X,y,Y		
60 m									y,Y	x,X,y,Y		
65 m										x, y,Y		
70 m										Y		
75 m										Y		
80 m												

x = Dans la limite de 10 s première série
 X = Dans la limite de 10 s deuxième série
 y = Dans la limite de 30 s première série
 Y = Dans la limite de 30 s deuxième série






	Deux essais réalisés
	Un seul essai réalisé (première série)
	Un seul essai réalisé (deuxième série)
	Non testé
	Dysfonctionnement du détecteur

Tableau 10 : Distances de détection mesurées (m) – Feu d’heptane

Combustible : Ethanol

Distance	Det. 1	Det. 2	Det. 3	Det. 4	Det. 5	Det. 6	Det. 7	Det. 8	Det. 9	Det. 10	Det. 11	Det. 12
5 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	
7 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	y
9 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	y	x, y
11 m	x,X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y		
13 m	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		Y
15 m	X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		y,Y
17 m	x,X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		
19 m	y,Y		x, y,Y	Y	X,y,Y	X,y,Y		x,X,y,Y	y,Y	x,X,y,Y		Y
21 m	X,y,Y		x, y,Y	Y	X,y,Y	x,X,y,Y		x,X,y,Y	y,Y	x,X,y,Y		
24 m	y		y		y,Y	y,Y		x,X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y		
27 m								Y		x,X,y,Y		
30 m								X, Y	X,y,Y	x,X,y,Y		
35 m								X, Y		x,X,y,Y		
40 m									Y	X,y,Y		
45 m								X, Y		x,X,y,Y		
50 m										y,Y		
55 m										y,Y		
60 m										y		
65 m												
70 m												
75 m												
80 m												

x = Dans la limite de 10 s première série
X = Dans la limite de 10 s deuxième série
y = Dans la limite de 30 s première série
Y = Dans la limite de 30 s deuxième série

	Deux essais réalisés
	Un seul essai réalisé (première série)
	Un seul essai réalisé (deuxième série)
	Non testé
	Dysfonctionnement du détecteur

Tableau 11 : Distances de détection mesurées (m) – Feu d'éthanol

Combustible : Carton

Distance	Det. 1	Det. 2	Det. 3	Det. 4	Det. 5	Det. 6	Det. 7	Det. 8	Det. 9	Det. 10	Det. 11	Det. 12
5 m												
7 m												
9 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y		x, y	x, y	x, y	x, y		x, y
11 m	X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y	X,y,Y	x, y	x,X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		x,X,y,Y
13 m	x,X,y,Y	y,Y	x,X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	X, Y	X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		
15 m	X,y,Y	Y	x,X,y,Y	Y	X,y,Y	X,y,Y	y,Y	y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		
17 m	y	y	x, y,Y	y	y			y	x, y,Y	x,X,y,Y		
19 m			y,Y						x,X,y,Y	x,X,y,Y		
21 m			y						x, y	x,X,y,Y		
24 m									Y	x,X,y,Y		
27 m									y	x,X,y,Y		
30 m									y	x,X,y,Y		
35 m										X,y,Y		
40 m										x,X,y,Y		
45 m										x,X,y,Y		
50 m										Y		
55 m												
60 m												
65 m												
70 m												
75 m												
80 m												

x = Dans la limite de 10 s première série
X = Dans la limite de 10 s deuxième série
y = Dans la limite de 30 s première série
Y = Dans la limite de 30 s deuxième série

	Deux essais réalisés
	Un seul essai réalisé (première série)
	Un seul essai réalisé (deuxième série)
	Non testé
	Dysfonctionnement du détecteur

Tableau 12 : Distances de détection mesurées (m) – Feu de carton

Combustible : Méthane

Distance	Det. 1	Det. 2	Det. 3	Det. 4	Det. 5	Det. 6	Det. 7	Det. 8	Det. 9	Det. 10	Det. 11	Det. 12
5 m												
7 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y		x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y
9 m	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y		x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y
11 m	x, y	x, y	x, y	x, y	y		x, y	x, y	x, y	x, y	x, y	x, y
13 m	x, y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		X,y,Y	x,X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y
15 m	X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		x,X,y,Y	x,X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y
17 m	x, y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y	y,Y	x,X,y,Y		x, y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y	y	x, y,Y
19 m	y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	X,y,Y	y,Y		y,Y	x,X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y	Y	y,Y
21 m	y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y	y,Y	X,y,Y		y,Y	X,y,Y	X,y,Y	x,X,y,Y		Y
24 m	y,Y	y	y,Y	y,Y	X,y,Y		y	x,X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y		y,Y
27 m	y,Y	y	x,X,y,Y	y,Y	x,X,y,Y			x,X,y,Y	x, y,Y	x,X,y,Y		Y
30 m	y		x,X,y,Y	y	x, y,Y			x,X,y,Y	x, y	x,X,y,Y		
35 m	y		X,y,Y		y			x,X,y,Y	x,X,y,Y	x,X,y,Y		
40 m			y					x,X,y,Y	x, y,Y	X,y,Y		
45 m								x,X,y,Y	y	x,X,y,Y		
50 m								X,y,Y	y	x,X,y,Y		
55 m										x,X,y,Y		
60 m										X,y,Y		
65 m										X, Y		
70 m												
75 m										Y		
80 m										y,Y		

x = Dans la limite de 10 s première série
X = Dans la limite de 10 s deuxième série
y = Dans la limite de 30 s première série
Y = Dans la limite de 30 s deuxième série






	Deux essais réalisés
	Un seul essai réalisé (première série)
	Un seul essai réalisé (deuxième série)
	Non testé
	Dysfonctionnement du détecteur

Tableau 13 : Distances de détection mesurées (m) – Feu de méthane

Combustible : Hydrogène

Distance	Det. 1	Det. 2	Det. 3	Det. 4	Det. 5	Det. 6	Det. 7	Det. 8	Det. 9	Det. 10	Det. 11	Det. 12
5 m												
7 m			x, y	x, y				x, y		x, y	x, y	
9 m				y				x, y		x, y	x, y	

x = Dans la limite de 10 s première série
X = Dans la limite de 10 s deuxième série
y = Dans la limite de 30 s première série
Y = Dans la limite de 30 s deuxième série






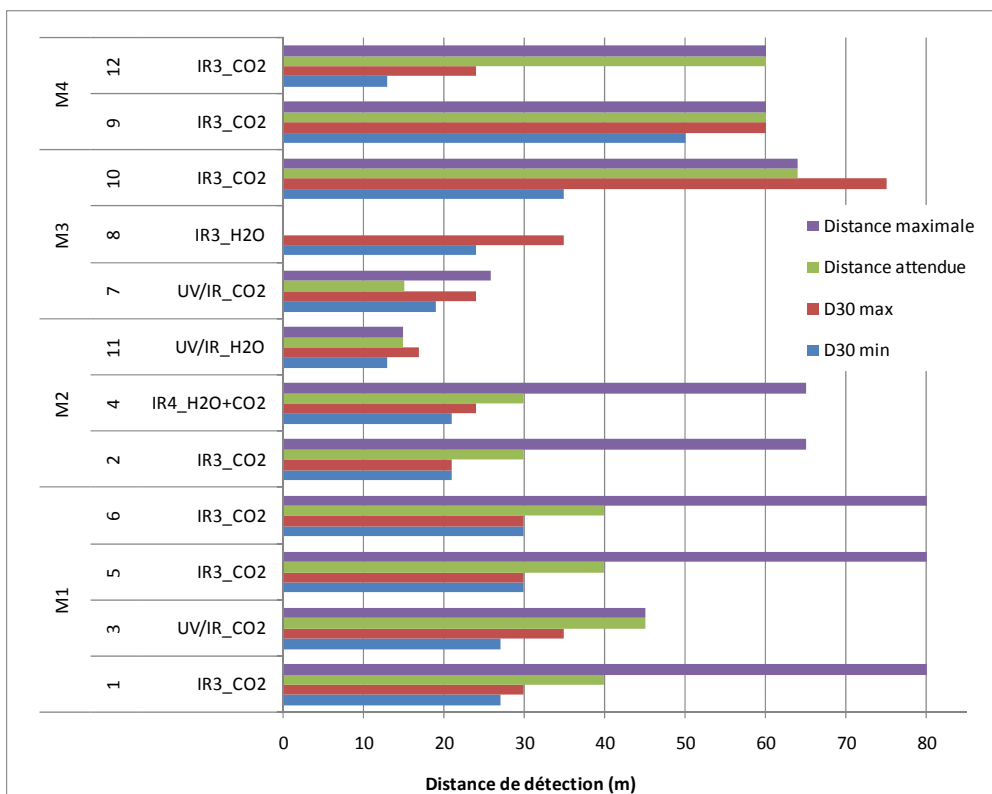
	Deux essais réalisés
	Un seul essai réalisé (première série)
	Un seul essai réalisé (deuxième série)
	Non testé
	Dysfonctionnement du détecteur

Tableau 14 : Distances de détection mesurées (m) – Feu d'hydrogène

Remarques :

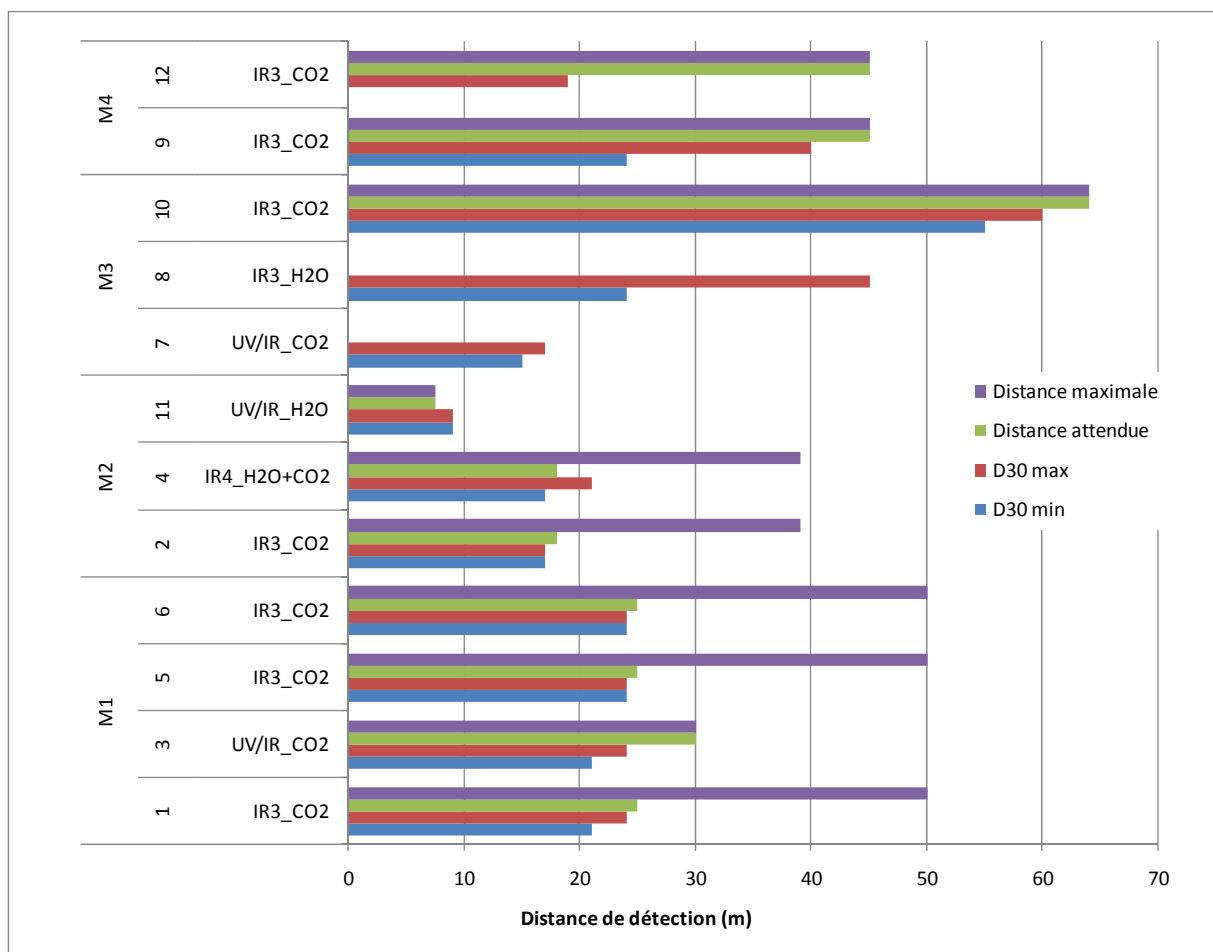
Des difficultés de transport et de manutention de l'hydrogène sur le site d'essais n'ont pas permis la réalisation de tous les essais prévus.

Les graphiques 1 à 4 représentent les distances de détection minimales et maximales mesurées en regard des distances spécifiées par les constructeurs (le cas échéant) pour des feux normalisés³. La « distance maximale » est la distance spécifiée au niveau de réglage de sensibilité maximal, tandis que la « distance attendue » est la distance spécifiée au niveau de sensibilité réglé par défaut (paramétrage usine). **Il est à noter que les distances maximales spécifiées sont celles mesurées dans la limite des 30 s (D30), alors que les temps de réponse spécifiés sont généralement inférieurs à 10 s.**

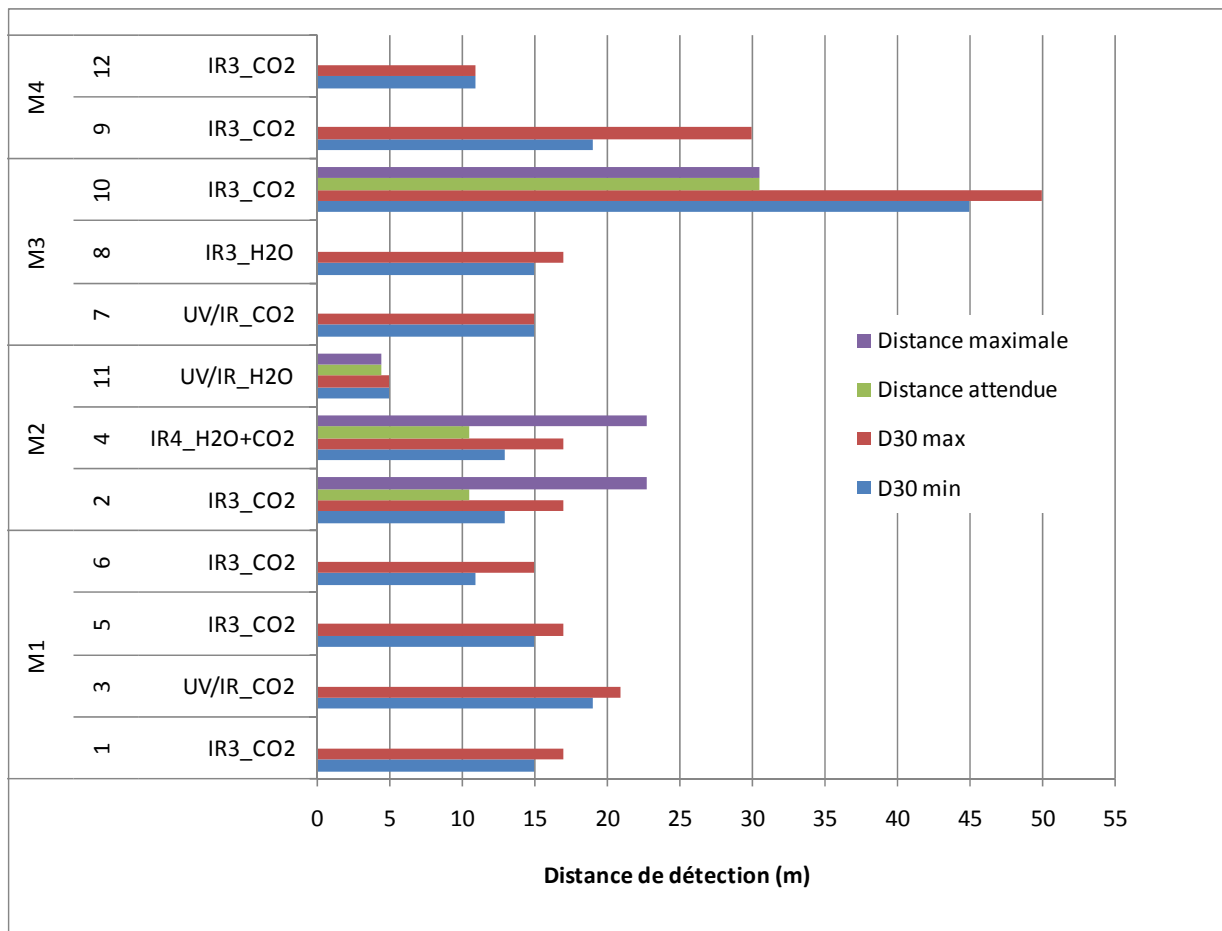


Graphique 1 : D30 mesurées en fonction des D30 spécifiées – Feu d'heptane

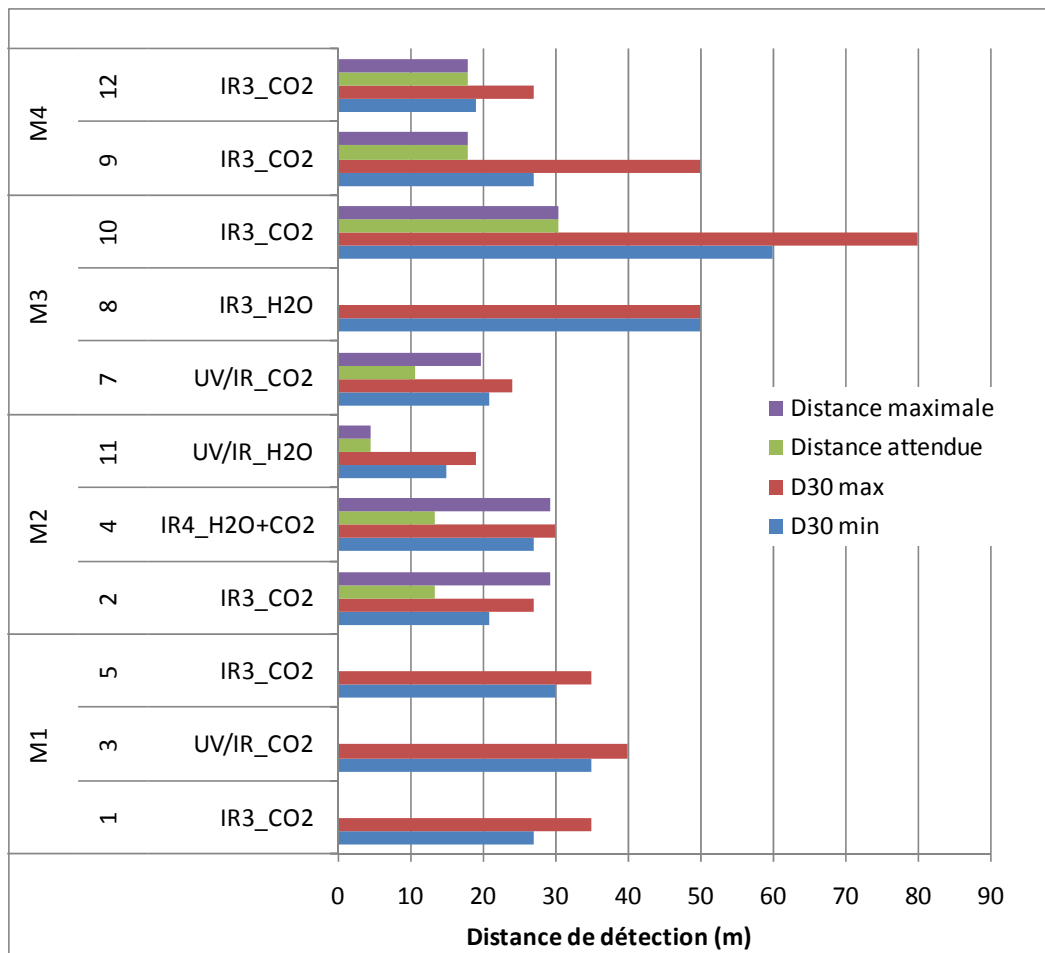
³ Feux d'heptane et d'éthanol 30 cm x 30 cm



Graphique 2: D30 mesurées en fonction des D30 « constructeur » – Feu d'éthanol



Graphique 3 : D30 mesurées en fonction des D30 « constructeur » – Feu de carton



Graphique 4 : D30 mesurées en fonction des D30 « constructeur » – Feu de méthane

Les résultats témoignent :

- de distances de détection D30 maximales mesurées généralement 20 à 30 % inférieures aux valeurs spécifiées par les constructeurs, lorsque les feux utilisés sont comparables aux feux normalisés (cf. graphiques 1 et 2),
- de distances de détection mesurées nettement supérieures aux valeurs spécifiées par les constructeurs, pour les feux de méthane et de carton⁴ (cf. graphiques 3 et 4),
- de distances de détection mesurées, avec un même détecteur, généralement comparables d'un essai à un autre, mais des écarts de 40 à 70 % peuvent néanmoins être observés dans certains cas (détecteurs 8, 9, 10 en particulier),
- d'un écart moyen d'environ 30 % entre les distances D10 et les distances D30 maximales mesurées (cf. tableau 9),
- d'une détection correcte de la flamme d'hydrogène, aux distances testées, par les détecteurs en version « H₂O » (détecteurs 4, 8 et 11), tandis qu'une réponse inattendue des détecteurs en version exclusivement « CO₂ » a été constatée (détecteurs 3 et 10),
- de distances de détection généralement plus grandes en l'absence de précipitation,
- d'une détection souvent plus précoce en présence de vent,
- d'un fonctionnement des détecteurs n'ayant pas été entravé par des conditions de température ayant varié entre -9°C et +11°C, ainsi que par la présence de neige ou de givre.

⁴ Pour les feux de méthane et de carton, les flammes ne sont pas comparables aux flammes « normalisées »

5.3.2 ANGLES DE VISION HORIZONTAUX

Les angles α ont été mesurés à une seule distance du foyer et ne permettent donc pas de caractériser pleinement le champ de vision horizontal⁵. Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Détecteur	Constructeur	Technologie	Heptane [α -angle@distance]	Ethanol [α -angle@distance]	Carton [α -angle@distance]	Méthane [α -angle@distance]
1	M1	IR3_CO2	20°@30m	25°@24m	45°@17m	15°@30m
2	M2	IR3_CO2	15°@24m	10°@19m	30°@17m	5°@27m
3	M1	UV/IR_CO2	30°@30m	30°@24m	20°@21m	35°@30m
4	M2	IR4_H2O+CO2	25°@24m	20°@19m	30°@17m	35°@27m
5	M1	IR3_CO2	15°@35m	5°@27m	45°@17m	15°@30m
6	M1	IR3_CO2	15°@35m	5°@27m	45°@17m	N/A
7	M3	UV/IR_CO2	15°@24m	12.5°@17m	25°@17m	20°@24m
8	M3	IR3_H2O	10°@35m	45°@27m	N/A	15°@45m
9	M4	IR3_CO2	15°@65m	25°@27m	12.5°@21m	12.5°@45m
10	M3	IR3_CO2	20°@80m	25°@65m	N/A	0°@80m
11	M2	UV/IR_H2O	12.5°@17m	20°@11m	12.5°@7m	15°@13m
12	M4	IR3_CO2	25°@24m	12.5°@17m	35°@11m	5°@27m

Tableau 15 : Résultats de mesure de l'angle α

Remarque : les angles α des détecteurs 8 et 10 n'ont pas été déterminés en raison de conditions météorologiques particulièrement défavorables

Pour information, les champs de vision horizontaux (ou verticaux) sont représentés, dans les notices d'instructions des constructeurs, sous forme de diagrammes (cf. figure 8). Les angles de vision évoluent en fonction de la distance qui sépare les détecteurs de la source de rayonnement. Cette distance est exprimée en pourcentage de la distance de détection maximale spécifiée par le constructeur. La valeur spécifiée de l'angle de vision horizontal est généralement comprise entre 50 % et 70 % de la distance maximale de détection. Elle correspond à l'angle maximal dans le champ de vision.

⁵ Rappel : angle α = demi-angle de vision horizontal

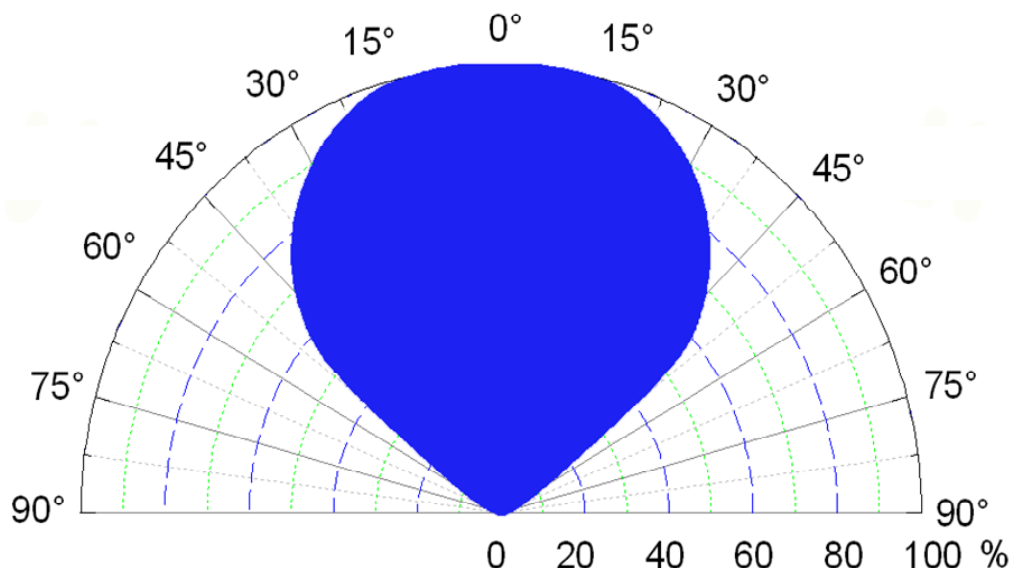


Figure 8 : Diagramme de champ de vision horizontal

Les angles de vision horizontaux mesurés sont très variables d'un détecteur à un autre, ainsi que d'un feu à un autre. Attendu que les conditions climatiques ont parfois évolué en cours d'essai, les détecteurs n'ont pas nécessairement été placés à la distance de détection maximale mesurée lors des essais correspondants. L'analyse des résultats obtenus pour des détecteurs de même fabrication et de même type⁶ en témoigne : l'angle de vision varie avec la distance de détection retenue pour réaliser la mesure. Il reste donc difficile de comparer les angles mesurés aux angles déterminés à partir des diagrammes fournis par les constructeurs.

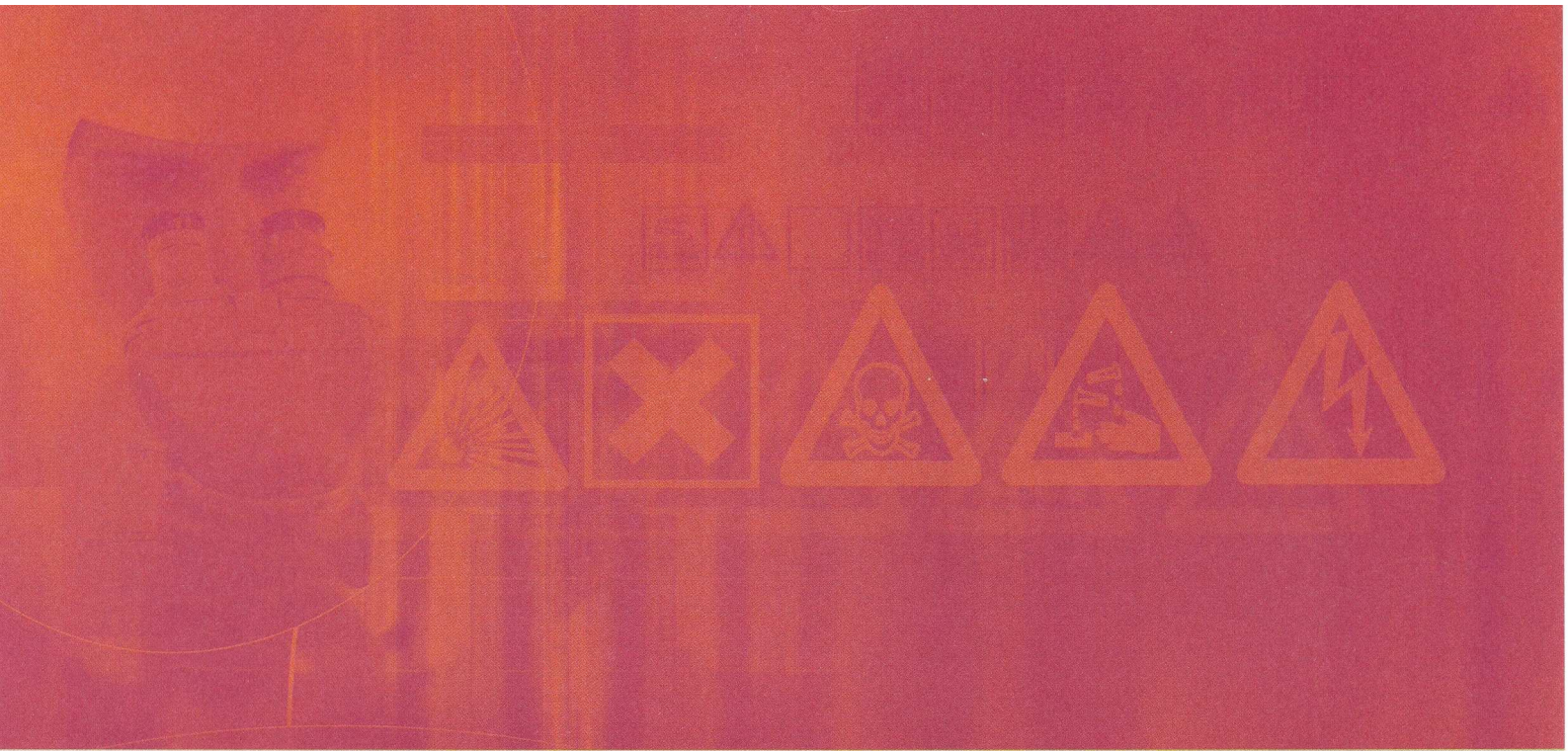
⁶ Détecteurs 1, 5 et 6 (fabricant M1) et détecteurs 9 et 12 (fabricant M4)

6. BILAN DE LA CAMPAGNE

Les résultats de la campagne d'essais font état des principales observations suivantes :

- Les distances de détection les plus longues ont été obtenues pour les détecteurs multi-IR basés sur la détection du pic d'émission caractéristique du CO₂, tandis que les détecteurs UV/IR ont été les moins sensibles,
- Les distances de détection maximales mesurées à l'air libre dans un temps de 30 s sont généralement 20 à 30 % inférieures aux valeurs spécifiées par les constructeurs, lorsque les feux utilisés étaient comparables aux feux « normalisés » (feux d'heptane et d'éthanol),
- Les distances de détection mesurées à l'air libre sont nettement supérieures aux distances spécifiées par les constructeurs avec les feux de méthane et de carton,
- Les distances de détection mesurées à l'air libre, avec un même détecteur, sont généralement comparables d'un essai à un autre, **mais des écarts de 40 à 70 % peuvent néanmoins être observés dans quelques cas**,
- Un écart moyen d'environ 30 % est observé entre les distances D10 et les distances D30 maximales mesurées, sachant que les distances de détection sont spécifiées en D30 par les constructeurs alors que les temps de réponse annoncés sont généralement inférieurs à 10 secondes - *Ce constat est important car les exigences de temps de réponse des détecteurs de flamme sont fixées par celles applicables à la fonction de sécurité, elles-mêmes dictées par la cinétique du phénomène dangereux à maîtriser* -
- L'orientation des détecteurs sur leur axe optique a influencé leur sensibilité dans près de 50% des cas,
- Les détecteurs se sont montrés **robustes face à des conditions atmosphériques ou des perturbations électromagnétiques sévères** et plutôt bien **immunisés contre les sources de fausses alarmes**,
- Les angles de vision horizontaux mesurés à l'air libre sont généralement inférieurs à 60°, bien qu'ils puissent atteindre 90° dans quelques cas.

Les variations de réponse constatées, lors des essais à l'air libre, témoignent de l'influence des conditions environnementales sur les distances de détection des détecteurs de flamme. En définitive, **le respect d'une marge de sécurité de 50 %**, sur la distance maximale spécifiée par les constructeurs, saurait être recommandé lors d'une utilisation des détecteurs en extérieur. **Cette marge est la garantie d'une probabilité de détection, d'un temps de réponse et d'un champ de vision optimaux**, notamment lorsque les détecteurs de flamme sont intégrés dans une chaîne réalisant une fonction de maîtrise des risques d'accidents majeurs.



*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet** : <http://www.ineris.fr>