

RAPPORT D'ÉTUDE

26/01/2009

N° INERIS-DRA-08-86244-13727B

**Ω 22 - Principes et techniques pour la détection
des gaz**

**Formalisation du savoir et des outils dans le
domaine des risques majeurs (DRA-76)**

INERIS

Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-76)

Ω 22 - Principes et techniques pour la détection des gaz

PARIS (75)

Client : Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

Véronique Debuy, Sabine Kasprzycki, Nicolas Lépine, et Sébastien Bouchet

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et 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 n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de 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 objective. 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.

	Rédaction	Vérification	Approbation
Nom	Sébastien BOUCHET	Bruno DEBRAY	Bernard PIQUETTE
Qualité	Ingénieur Direction des Risques Accidentels	Délégué scientifique Direction des Risques Accidentels	Directeur Adjoint Direction des Risques Accidentels
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

1. GLOSSAIRE	7
2. INTRODUCTION	9
3. RETOUR D'EXPÉRIENCE	11
4. LES DÉTECTEURS DE GAZ	13
5. LA DÉTECTION DES GAZ ET VAPEURS INFLAMMABLES	15
5.1. Technologie catalytique.....	15
5.1.1.Principe de fonctionnement	15
5.1.2.Conditions d'utilisation	16
5.2. Technologie catharométrique.....	20
5.2.1.Principe de fonctionnement	20
5.2.2.Conditions d'utilisation	21
5.3. Technologie IR ponctuel.....	22
5.3.1.Principe de fonctionnement	22
5.3.2.Conditions d'utilisation	23
5.4. Technologie IR à long chemin optique	24
5.5. Technologie électrochimique (H ₂)	25
5.6. Technologie semi-conducteur	25
5.6.1.Principe de fonctionnement	25
5.6.2.Conditions d'utilisation	26
5.7. Technologie PID (détecteur à photo-ionisation)	26
5.7.1.Principe de fonctionnement	26
5.7.2.Conditions d'utilisation	27
6. LA DÉTECTION DES GAZ ET VAPEURS TOXIQUES	29
6.1. Technologie électrochimique.....	29
6.1.1.Principe de fonctionnement	29
6.1.2.Conditions d'utilisation	30

6.2. Technologie (PID).....	31
6.2.1.Principe de fonctionnement	31
6.2.2. Conditions d'utilisation	31
6.3. Technologie semi-conducteur	31
6.3.1.Principe de fonctionnement	31
6.3.2. Conditions d'utilisation	31
6.4. Technologie IR portable (CO ₂)	31
6.4.1.Principe de fonctionnement	31
6.4.2. Conditions d'utilisation	31
6.5. Technologie colorimétrique	32
6.5.1.Principe de fonctionnement	32
6.5.2. Conditions d'utilisation	32
7. DÉTECTION DE L'OXYGÈNE	33
7.1. Technologie électrochimique à électrolyte liquide	33
7.1.1.Principe de fonctionnement	33
7.1.2. Conditions d'utilisation	33
7.2. Technologie électrochimique à électrolyte solide	33
7.2.1.Principe de fonctionnement	33
7.2.2. Conditions d'utilisation	34
8. SYNTHÈSE SUR LES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES DE DÉTECTION	35
9. POSITIONNEMENT DES DÉTECTEURS DE GAZ FIXES.....	41
10. CHOIX ET GESTION DES NIVEAUX D'ALARME	45
11. TEST, CALIBRAGE ET MAINTENANCE.....	47
11.1. Cas des détecteurs portables.....	47
11.2. Cas des détecteurs fixes	48
11.3. Matériel nécessaire pour réaliser les tests et le calibrage	48
11.3.1. Station de test automatique pour détecteurs portables	48
11.3.2. Équipements pour effectuer les tests et les calibrages.....	48
12. FORMATION DU PERSONNEL	51

12.1. Utilisation des détecteurs de gaz portables.....	51
12.2. Calibrage et maintenance des détecteurs de gaz	51
13. NORMES ET RÉGLEMENTATION	53
13.1. Directives ATEX et CEM	53
13.2. Normes métrologiques françaises et européennes	53
13.3. Réglementation française.....	54
14. CONCLUSION.....	55
15. LISTE DES RÉFÉRENCES	57
15.1. Références citées	57
15.2. Autres documents de référence utiles.....	57

1. GLOSSAIRE

Atmosphère explosive (ATEX) : mélange avec l'air, dans les conditions atmosphériques, de substances inflammables sous forme de gaz, de vapeurs, de brouillards et de poussières, dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé (Directive 94/9/CE et décret 96-1010).

Capteur de gaz (ou cellule) : élément constitutif du détecteur de gaz ou du système de détection qui permet de transformer une grandeur physique (la concentration en gaz) en une information exploitable par l'appareil.

Centrale d'acquisition : élément constitutif d'un système de détection qui reçoit les informations d'une ou de plusieurs sondes déportées et qui assure la centralisation des fonctions de détection (affichages, gestion des alarmes et des relais, ...). On utilise également les termes "centrale de mesure" ou "boîtier de commande".

Domaine d'inflammabilité : les gaz et les vapeurs combustibles forment avec l'air des mélanges explosifs lorsqu'ils sont mélangés dans des proportions comprises dans le domaine d'inflammabilité. Chaque gaz et chaque vapeur dispose de son propre domaine. En dehors de ce domaine, c'est-à-dire lorsque la teneur en combustible est insuffisante ou lorsque la teneur en air est trop faible, les mélanges constitués ne sont pas inflammables. Le domaine d'explosivité est encadré par deux bornes : la limite inférieure d'explosivité (LIE) et la limite supérieure d'explosivité (LSE).

Détecteur de gaz : appareil de mesure dont la fonction principale est de détecter la présence de gaz dangereux et d'en avertir l'utilisateur. Lorsque le détecteur est constitué de plusieurs capteurs, on peut utiliser le terme de "système de détection gaz" .

Efficacité : capacité à remplir la mission/fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation. En général, cette efficacité s'exprime en pourcentage d'accomplissement de la fonction définie. Ce pourcentage peut varier pendant la durée de sollicitation de la barrière de sécurité.

Élément sensible : partie du capteur en contact direct avec l'atmosphère dont les caractéristiques physique, chimique ou électrique sont modifiées en présence du gaz à détecter. Dans certains cas, les termes "capteur" et "élément sensible" peuvent désigner le même objet.

Fonction de sécurité : fonction ayant pour but la réduction de la probabilité d'occurrence et/ou des effets et conséquences d'un événement non souhaité dans un système. Les principales actions assurées par les fonctions de sécurité en matière d'accidents majeurs dans les installations classées sont : empêcher, éviter, détecter, contrôler, limiter. Les fonctions de sécurité identifiées peuvent être assurées à partir de barrières techniques et / ou humaines de sécurité, ou plus généralement par la combinaison des deux. Une même fonction peut être assurée par plusieurs barrières de sécurité.

Limite inférieure d'explosivité (LIE) : concentration minimale en volume au dessus de laquelle un gaz ou une vapeur inflammable en présence d'air peut être enflammé.

Limite supérieure d'explosivité (LSE) : concentration en volume au dessus de laquelle un gaz ou une vapeur inflammable en présence d'air ne peut pas être enflammé.

Partie par million (ppm) : un taux de 1 ppm de gaz signifie qu'un cm³ de gaz (ou de vapeur) est présent dans 1 million de cm³ de mélange de gaz. La relation entre pourcentage et ppm est la suivante : 1 % = 10000 ppm. Le ppm est utilisé pour caractériser des taux volumiques faibles.

Potentiel d'ionisation : le potentiel d'ionisation ou énergie d'ionisation d'un atome ou d'une molécule est l'énergie nécessaire pour lui arracher un électron.

Sélectivité : un détecteur est dit sélectif s'il peut détecter le gaz cible et si le signal de détection est exclusivement produit par le gaz cible.

Signal de mesure : signal électrique produit par le capteur, pouvant être amplifié et conditionné sous un format analogique ou numérique.

Sonde déportée : élément constitutif d'un système de détection qui intègre au minimum le capteur et qui transmet une information à une autre partie du système de détection (la centrale d'acquisition) géographiquement éloigné du point de mesure. On parle également de "tête de détection" ou de "capteur déporté".

Système instrumenté de sécurité : combinaison de capteurs, d'unité de traitement et d'actionneurs ayant pour objectif de remplir une fonction ou sous-fonction de sécurité.

Taux volumique (v/v) : rapport du volume d'un composant par le volume de mélange de gaz dans des conditions de température et de pression spécifiées.

Temps de réponse : intervalle de temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la mission/fonction de sécurité. Ce temps de réponse est inclus dans le temps de mise en œuvre d'une fonction de sécurité, cette dernière devant être en adéquation [significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser.

T₉₀ : intervalle de temps entre le moment où une variation instantanée du rapport volumique se produit à l'entrée du détecteur et le moment où la réponse atteint 90 % de l'indication finale.

Transmetteur : système déporté qui intègre le capteur et une carte électronique de façon à traduire directement, au niveau du point de mesure, la grandeur à mesurer (la concentration en gaz) en un signal électrique (analogique ou numérique). Il peut également intégrer des contacts secs associés à des réglages de seuils d'alarme. On parle aussi de capteur-transmetteur.

Valeur limite d'exposition (VLE) : Concentration dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé sans risque d'altération de sa santé (valeurs mesurées sur des durées n'excédant pas 15 minutes exprimées en ppm ou mg/m³ - circulaire du 19.07.82 - Ministère chargé du Travail).

Valeur moyenne d'exposition (VME) : Concentration maximale (exprimée en ppm ou mg/m³) à ne pas dépasser obtenue pendant 8 heures par jour et ceci 5 jours par semaine (circulaire du 19.07.82 - Ministère chargé du Travail).

2. INTRODUCTION

L'utilisation de grandes quantités de gaz liquéfiés ou non, de vapeurs (émises par des liquides volatils) inflammables et / ou toxiques sur sites industriels engendre des risques particuliers pour les personnes et les biens matériels, en cas de fuites accidentelles notamment. Afin de prévenir ces risques, il importe de détecter les fuites le plus tôt possible en mesurant en continu la concentration des gaz incriminés dans l'atmosphère de la zone à risque. Les détecteurs de gaz, fixes ou portables, sont utilisés dans de nombreuses industries avec des activités variées : chimie, pétrochimie, chimie fine, entretien de réseaux souterrains, transport de gaz, travail en milieu confiné...

Les détecteurs de gaz fixes sont les premiers éléments des systèmes instrumentés de sécurité dans plus de 70 % des sites industriels. Les détecteurs de gaz portables, quant à eux, remplissent seuls une fonction de sécurité (autonomes). Fixes ou portables, les détecteurs de gaz concourent à la maîtrise des risques industriels et à la protection des travailleurs, face aux risques d'inflammation / d'explosion, de toxicité ou de déficience en oxygène lors de la présence de gaz ou de vapeurs dangereux.

Il faut distinguer les détecteurs de gaz et les analyseurs de gaz. Ces derniers ont pour fonction essentielle la mesure et ne sont pas conçus pour assurer la détection d'un seuil de danger sur un site. Comparativement aux détecteurs, les analyseurs sont en général plus sensibles et plus précis mais aussi plus volumineux, plus fragiles et plus chers. Ils exigent par ailleurs un degré de maintenance beaucoup plus important que les détecteurs (qui peut être élevé dans certains cas). Les analyseurs sortent donc du champ d'investigation du présent document. Les détecteurs de gaz ne doivent pas être confondus avec les analyseurs de gaz.

Ce document a pour objectif de fournir des indications pour aider les utilisateurs à faire leur choix parmi les différents détecteurs (en termes de technologies) sur le marché, et à assurer la pérennité de leur performance [1] (efficacité, temps de réponse et niveau de confiance), en fonction des contextes d'utilisation.

Pour y parvenir, le chapitre 3. présente un bref retour d'expérience sur les principaux facteurs influençant le fonctionnement des détecteurs de gaz. Les chapitres 4. 5. 6. 7. présentent les détecteurs de gaz de façon générale ainsi que les technologies aujourd'hui commercialisées pour la détection des gaz et vapeurs inflammables, toxiques, et la détection d'oxygène. Les chapitres 9. et 10. présentent les problématiques de positionnement des détecteurs ainsi que le choix et la gestion des seuils d'alarme. Les chapitres 12. et 13. traitent respectivement de la formation du personnel et des normes et réglementation s'appliquant aux détecteurs de gaz.

3. RETOUR D'EXPERIENCE

Les premiers détecteurs¹ de gaz ont été utilisés dans les mines de charbon, afin de prémunir les mineurs en milieux confinés du monoxyde de carbone (CO), et du méthane à l'origine des terribles « coups de grisou »². Intoxication et coups de grisou étaient, en Europe, à l'origine de nombreux décès et blessés parmi les mineurs dans les galeries. Dans les 2 dernières années précédant à la date de parution de ce rapport, de nombreux coups de grisou ont été révélés par les médias, notamment en Chine et dans les ex-républiques soviétiques : c'est un phénomène toujours d'actualité aujourd'hui. Il est cependant difficile, au vu des informations disponibles, de savoir si des détecteurs de gaz étaient disponibles ou correctement utilisés et maintenus.

Une interrogation adressée au Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI) sur la défaillance des capteurs de gaz a renvoyé 68 cas. Sur la vingtaine d'accidents mettant en cause le système de détection, les principales conclusions citées dans le rapport sur le non fonctionnement des détecteurs lors d'une situation accidentelle sont les suivantes : *faiblesse du réseau de détection, défaillance, détecteurs mal positionnés, pas de déclenchement, détecteur défaillant depuis 3 jours, aucune détection, détection tardive, concentrations insuffisantes pour déclencher les détecteurs, dysfonctionnement, capteur inopérant suite à la présence de liquide dans le circuit de d'échantillonnage*. Les gaz ou vapeurs à détecter lors de ces accidents sont divers : chlore, éthylène, pentane, n-butène, butanol-2, solvants, phosgène, acétone, sulfure de diméthyle, ammoniac.

Basé sur ce retour d'expérience, et également sur le retour d'expérience de l'INERIS dans le domaine de la détection des gaz et vapeurs dangereux, les principaux facteurs qui influencent l'efficacité et le temps de réponse [1] des détecteurs de gaz sont les suivants :

- choix de la technologie (gamme de mesure, résistance aux contraintes d'utilisation),
- le contexte d'utilisation (température, humidité, vibrations, pression...) qui influencent directement les performances des appareils,
- les périodes de tests et de maintenance qui permettent de pérenniser les performances des détecteurs de gaz dans le temps,
- le nombre de détecteurs installés pour un volume donné et leur positionnement.

L'objectif des paragraphes suivants est d'explicitier ces facteurs afin de mettre en place, pour une problématique donnée, un système de détection performant en termes d'efficacité et de temps de réponse.

1 Ces premiers détecteurs étaient, pour se prémunir des gaz toxiques, des animaux de petites tailles. C'est ainsi que le canari était présent dans les mines en Europe, et il a même été utilisé jusqu'en 1986 en Angleterre. Au Japon, ce sont les souris qui servaient de détecteurs. Les premiers détecteurs de méthanes étaient des lampes à flamme : la présence du gaz se déduisait du changement de couleur de la flamme.

2 Un coup de grisou est constitué par une explosion de méthane suivie d'une explosion de poussières de charbon

4. LES DETECTEURS DE GAZ

Un détecteur de gaz est un appareil de mesure qui détecte la présence de gaz dangereux et avertit l'utilisateur du risque potentiel, notamment lors de l'occurrence de fuites.

Un détecteur de gaz fixe est constitué d'un capteur, qui est l'élément sensible du détecteur, permettant de transformer la concentration de gaz en un signal électrique, et d'un transmetteur, qui traite le signal électrique issu du capteur. Aujourd'hui, les transmetteurs permettent de régler les seuils d'alarme directement sur l'appareil. Ils embarquent un afficheur ainsi que des relais d'alarme en plus de la sortie analogique 4-20 mA. Certains transmetteurs fournissent un signal numérique. Ces détecteurs nécessitent ensuite d'être reliés à des actionneurs pour remplir la fonction complète à laquelle ils sont associés. Ils peuvent également être connectés à une centrale d'acquisition, notamment dans le cas où une zone est surveillée par plusieurs détecteurs. La centrale d'acquisition est en revanche indispensable dans le cas d'utilisation de sondes déportées.

Un détecteur de gaz portable est également constitué d'un capteur et d'un transmetteur, sauf que ce dernier ne possède généralement pas de sortie analogique ou numérique, ni de relais d'alarme. En revanche, il intègre un avertisseur sonore et une batterie pour un fonctionnement autonome.

Les figures suivantes présentent des synoptiques pour les détecteurs de gaz fixes et portables.

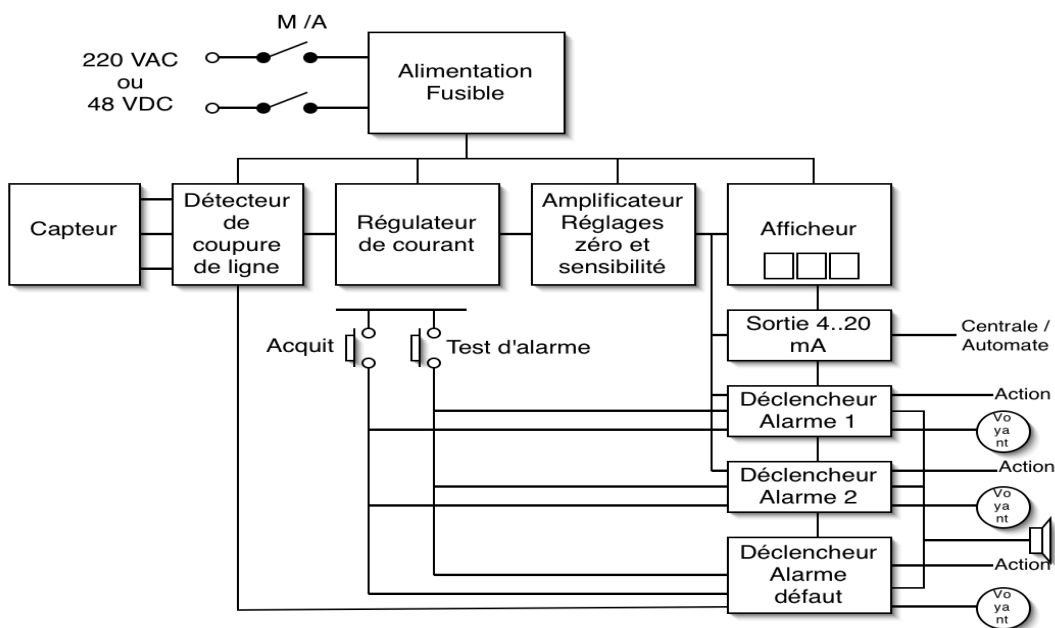


Figure 1 : synoptique "détecteur de gaz fixe"

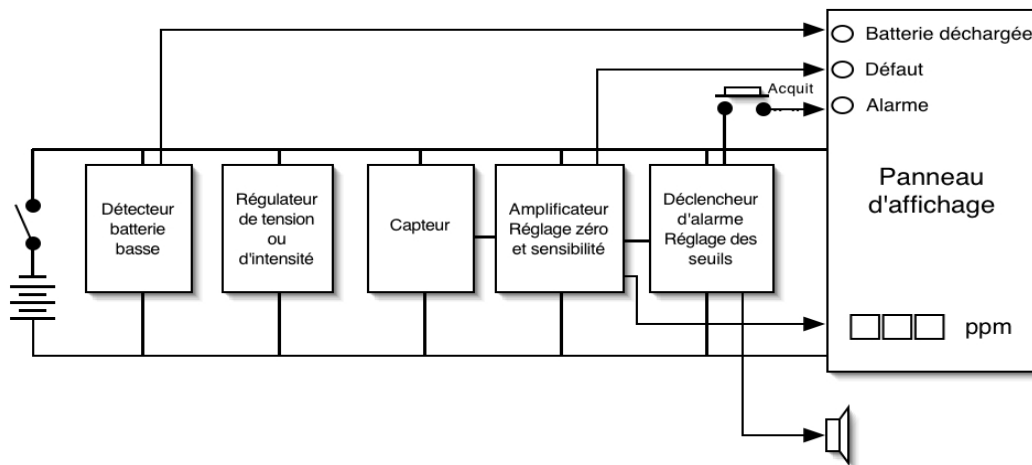


Figure 2 : synoptique "détecteur de gaz portable"

Les détecteurs de gaz fixes sont utilisés pour la surveillance de zones tandis que les détecteurs de gaz portables sont des équipements de protection individuelle (EPI).

De façon générale, les appareils sur lesquels les seuils d'alarme sont réglables possèdent 2 seuils.

La tendance actuelle, concernant les détecteurs de gaz fixes et portables de dernière génération, est de fournir des capteurs (cellules) dits « intelligents » qui s'adaptent sur un même transmetteur (fixe) ou boîtier (portable) quelque soit leur type (explosimétrique ou toxique). Le capteur est automatiquement reconnu par son dispositif d'accueil.

5. LA DETECTION DES GAZ ET VAPEURS INFLAMMABLES

Ce chapitre présente les principes de fonctionnement et les conditions d'utilisation des détecteurs de gaz et vapeurs inflammables aujourd'hui présents sur le marché.

5.1. Technologie catalytique

5.1.1. Principe de fonctionnement

Le principe de détection repose sur la mesure de la chaleur de combustion des gaz et vapeurs inflammables à la surface d'un catalyseur métallique. Il s'agit de chauffer par effet joule une perle recouverte de catalyseur (appelée pellistor ou perle catalytique) ou bien un filament de platine et de mesurer la puissance électrique. La combustion des molécules de gaz à la surface de l'élément "détecteur" se traduit par une augmentation de sa température et donc par une modification de sa résistance. Cette modification de résistance déséquilibre le pont de Wheastone dans lequel l'élément de mesure est inséré. La concentration du gaz inflammable (ou vapeur) dans l'air est appréciée en fonction de l'importance du déséquilibre du pont (corrélation linéaire). Pour s'affranchir de l'influence des variations de température et d'humidité ambiante, une seconde perle (élément compensateur), dont l'activité catalytique a été chimiquement supprimée, est insérée dans le pont de Wheastone. En l'absence de gaz combustible, chacun des deux éléments subit des variations de résistance identiques permettant ainsi de maintenir le pont équilibré. La figure suivante présente de façon schématique un détecteur catalytique.

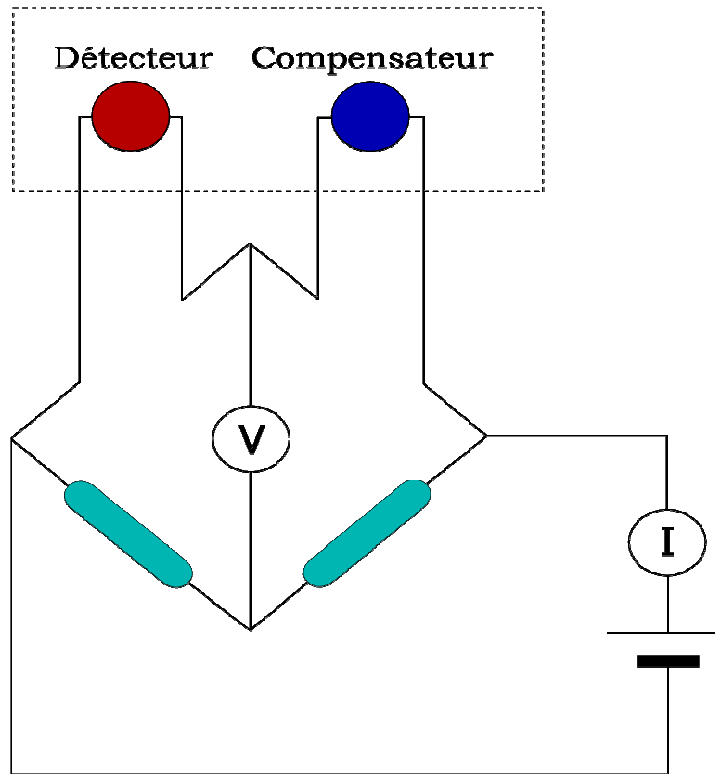


Figure 3 : schéma de principe d'un détecteur catalytique

La gamme de mesure de ce type de détecteur est 0-100 % de la LIE.

5.1.2. Conditions d'utilisation

Cette technologie a été développée en premier lieu pour la détection du méthane dans les mines en prévention des "coups de grisou". Cette technologie a succédé aux lampes de sûreté à flamme. Cependant, les détecteurs catalytiques sont capables, en théorie, de détecter n'importe quelle substance inflammable. La détection des gaz et vapeurs inflammables à l'aide de détecteurs catalytiques est la technique de détection en continu la plus utilisée actuellement sur sites industriels.

Pour que la détection de gaz autres que le méthane puisse être assurée par les détecteurs catalytiques, il faut au préalable s'assurer expérimentalement que la sensibilité du détecteur au composé recherché est suffisante. L'idéal serait de pouvoir calibrer les appareils sur les gaz ou vapeurs inflammables recherchées. Pour des raisons pratiques et techniques, le gaz de calibrage retenu est très souvent le méthane, quelle que soit la substance à détecter. Dans ce cas, il est indispensable de connaître le coefficient de réponse (différent d'un type d'appareil à un autre) de la substance recherchée par rapport au méthane, qui est déterminé expérimentalement. Dans la plupart des cas, le coefficient est constant sur toute la gamme de mesure.

La figure suivante est un exemple de réponse d'un détecteur à deux gaz B et C lorsqu'il est calibré sur un gaz A .

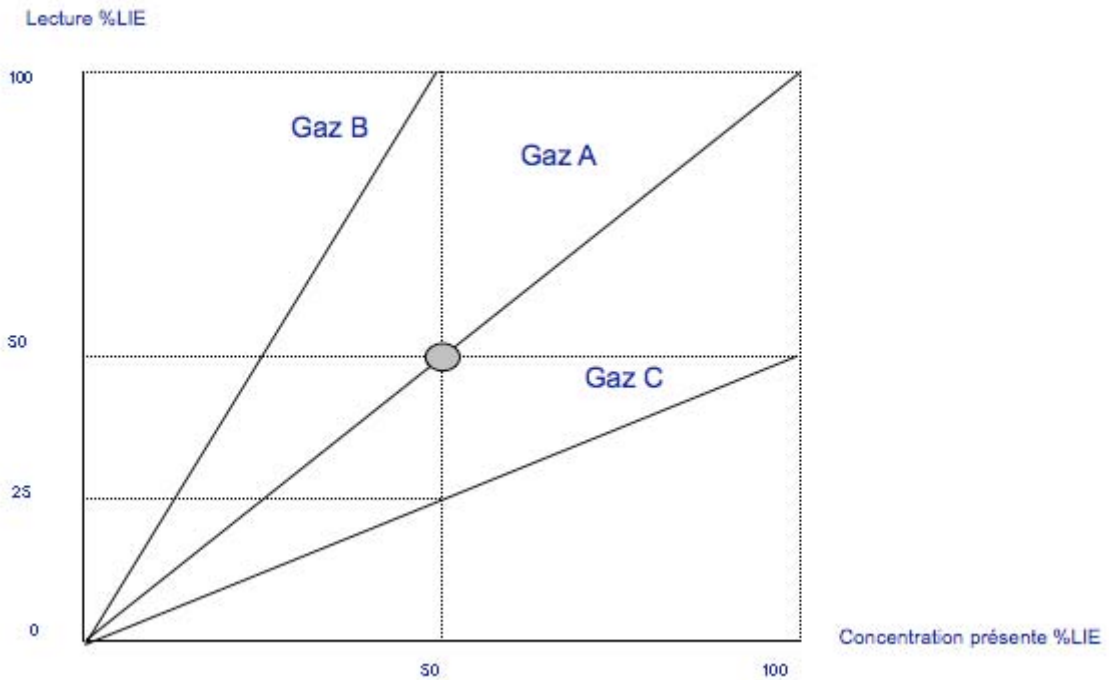


Figure 4 : réponse d'un détecteur à d'autres gaz que celui de calibrage

La réponse au gaz B est surestimée tandis que la réponse au gaz C est sous-estimée. En effet, pour une concentration présente de 50 % de le LIE, le détecteur B indique 100 % de la LIE tandis que le détecteur C indique 25 % de la LIE. Cette différence de réponse provient de divers paramètres, dont notamment : la correspondance % v/v / % LIE du gaz, l'enthalpie de combustion du gaz, la réactivité catalytique du gaz.

Par ailleurs, en cas de déficience en oxygène, il peut y avoir une ambiguïté de la lecture. Dans ce cas, la combustion est incomplète, donc la chaleur dégagée est "interprétée" par le détecteur comme une plus faible concentration de gaz que celle réellement présente. La figure suivante schématise la réponse du détecteur en fonction de la quantité de gaz inflammable (par exemple du méthane) présente.

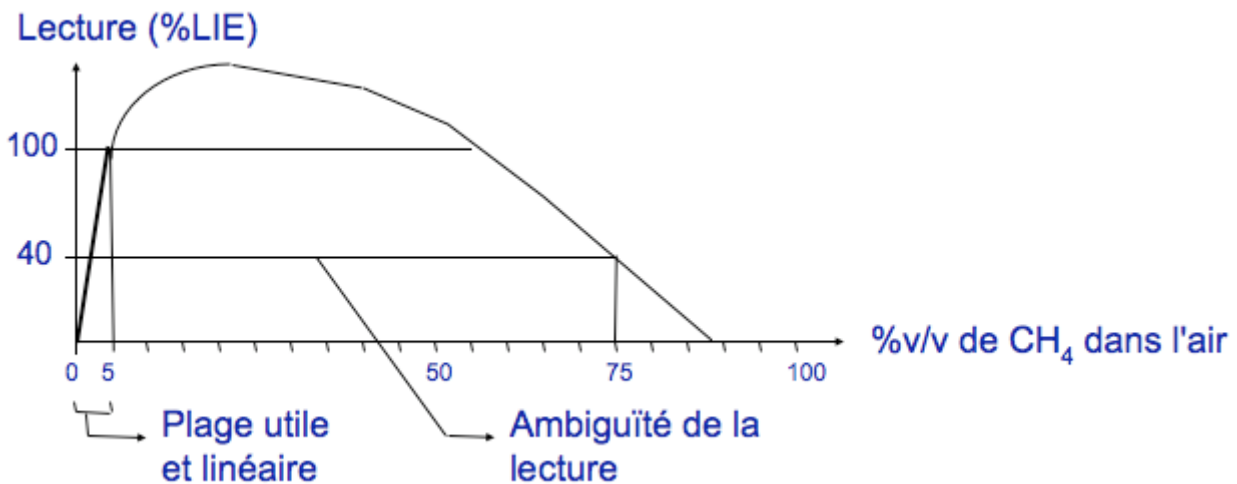


Figure 5 : ambiguïté de la mesure

Dans l'exemple de la figure ci-dessus, pour une concentration de 75% v/v, le détecteur renvoie une concentration de 40 % de la LIE. Une atmosphère explosive est susceptible d'apparaître lors de la décroissance de la concentration en gaz. Cela signifie aussi qu'il existe des ATEX à proximité de l'endroit où la mesure a lieu, mais la lecture ne fournit pas ce renseignement crucial à cet endroit à cet instant.

Les constructeurs connaissent ce problème et ont implémenté sur leurs appareils un blocage des alarmes lorsque la concentration en gaz dépasse les 100 % de la LIE, rendant l'acquiescement impossible (le seul moyen d'acquiescement des alarmes est d'éteindre l'appareil) : c'est une obligation normative (cf. chapitre 13.). Malgré cette obligation, certains appareils, récents, intègrent bien cette fonction, mais elle est désactivée par défaut. Elle nécessite un réglage de l'utilisateur pour la rendre fonctionnelle.

Par extension, il est donc impossible de suivre une concentration de gaz ou de vapeur inflammable dans un stockage inerté (canalisations et équipements associés) avec une technologie catalytique. De façon générale, les détecteurs catalytiques nécessitent 10 à 12 % d'oxygène minimum pour fonctionner correctement.

Les ambiances comportant des organochlorés, organosoufrés, des silicones, du plomb, du phosphore, des mercaptans, de l' H_2S sont des ambiances qui ne permettent pas l'utilisation de détecteurs de gaz catalytiques. Ces composés sont des poisons de catalyseurs ou des inhibiteurs qui rendent inopérant le détecteur de gaz inflammable, avec une perte de sensibilité souvent irréversible et parfois complète en fonction de la concentration et de la durée de l'exposition.

Ces détecteurs peuvent être influencés par les conditions ambiantes (température, humidité relative, pression), notamment si celles-ci sont très éloignées de la normale, ou plus exactement des conditions ambiantes dans lesquelles a été réalisé le calibrage. Ceci étant, la présence du compensateur permet de s'affranchir des variations climatiques concernant la température et l'humidité.

Concernant le temps de réponse (t_{90}), il est de l'ordre de 20 à 30 secondes pour une concentration de 50 % de la LIE, dans le cas d'un entretien optimal (cf. chapitre 11.).

Ce temps de réponse peut être variable en fonction du contexte d'utilisation et notamment des conditions ambiantes. Par ailleurs, l'utilisation d'une coiffe anti-intempérie, notamment pour les utilisations en extérieur, augmente de façon significative les temps de réponse des appareils (plusieurs dizaines de secondes). Cette dernière remarque est valable pour tous les détecteurs de gaz, quelle que soit leur technologie.

La durée de vie des capteurs est de l'ordre de 2 à 5 ans, en fonction du contexte d'utilisation.

Remarque : A noter que le domaine d'explosivité évolue également lorsque les conditions ambiantes varient.

5.2. Technologie catharométrique

5.2.1. Principe de fonctionnement

La détection catharométrique consiste à mesurer la variation de conductivité thermique de l'atmosphère provoquée par la présence de gaz inflammables. L'élément sensible est constitué d'un fil ou d'une perle chauffé électriquement. L'élément de référence ou compensateur est placé dans un compartiment fermé avec un air de référence. L'équilibre thermique du fil, donc sa résistance, est modifié par la variation de conductivité thermique du milieu gazeux environnant. Si la conductivité thermique du gaz recherché est supérieure à celle de l'air de référence, la température de l'élément de mesure diminue. Les variations obtenues peuvent être reliées à la concentration en gaz dans l'atmosphère. La figure suivante présente de façon schématique un détecteur catharométrique.

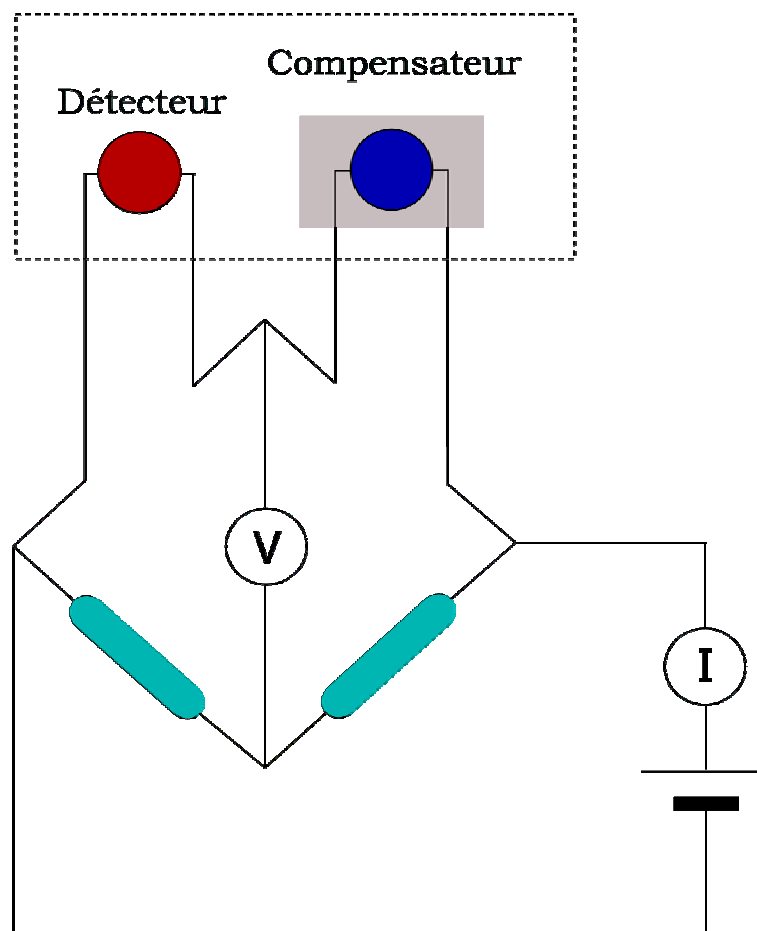


Figure 6: schéma de principe d'un détecteur catharométrique

La gamme de mesure de ce type de détecteur est de 0-100 % v/v.

Il faut noter que dans le cas des détecteurs de gaz catharométriques portables, il n'existe pas de compensateur. Ces détecteurs portables intègrent également une fonction catalytique. Aussi, la perle catalytique (recouverte du catalyseur) n'est plus chauffée et la mesure se fait uniquement avec la perle qui sert de compensateur lors de la détection catalytique, mais qui est la perle « détecteur » pour la fonction catharométrique.

5.2.2. Conditions d'utilisation

Dans la plupart des cas, le gaz est prélevé par l'intermédiaire d'une pompe intégrée à l'appareil et amené jusqu'à la chambre de mesure.

Cette technique de détection de gaz convient aux mesures de concentrations élevées (% v/v). Les détecteurs catharométriques sont principalement utilisés pour la détection des gaz possédant une conductivité thermique bien supérieure à celle de l'air, comme le méthane et l'hydrogène. Les gaz possédant une conductivité thermique proche de celle de l'air ne sont donc pas détectables (par exemple l'ammoniac et le monoxyde de carbone).

Les gaz de conductivité thermique inférieure à celle de l'air, tel que le butane, sont très difficiles à détecter car la vapeur d'eau peut interférer.

Certains gaz, non inflammables, sont détectables par cette technologie, et peuvent éventuellement interférer avec la mesure d'un gaz inflammable : c'est notamment le cas du dioxyde de carbone.

Ces détecteurs peuvent être influencés par les conditions ambiantes (température, humidité relative, pression), notamment si celles ci sont très éloignées de la normale, ou plus exactement des conditions ambiantes dans lesquelles a été réalisé le calibrage. C'est notamment vrai pour l'humidité relative, car contrairement au détecteur catalytique, le compensateur étant encapsulé dans un air de référence, il ne permet donc pas la compensation en humidité relative (mais compense les variations de température).

Les principaux avantages de cette technologie par rapport à la technologie catalytique sont 1) son insensibilité aux poisons catalytiques et 2) son fonctionnement en absence d'oxygène. En revanche, elle permet une mesure beaucoup moins précise dans la gamme 0-100% de la LIE.

Concernant le temps de réponse (t_{90}), il est de l'ordre de 20 à 30 secondes pour une concentration de 50 % v/v, dans le cas d'un entretien optimal (cf. chapitre 11.). Ce temps de réponse peut être variable en fonction du contexte d'utilisation et notamment des conditions ambiantes.

La durée de vie des capteurs est de l'ordre de 1 à 4 ans, en fonction du contexte d'utilisation.

5.3. Technologie IR ponctuel

5.3.1. Principe de fonctionnement

De nombreux gaz inflammables possèdent des bandes d'absorption dans la zone infrarouge du spectre lumineux électromagnétique. Le principe de détection repose sur l'interaction entre un rayonnement électromagnétique infrarouge et le gaz. Celui-ci absorbe de l'énergie à une longueur d'onde bien déterminée (liaisons C-H), qui dépend de l'énergie de vibration de ses molécules. L'atténuation d'énergie du rayonnement infrarouge est mesurée et est fonction de la concentration de gaz présente sur le trajet optique, suivant la loi de Lambert Beer. La gamme de mesure de ce type de détecteur est 0-100 % de la LIE.

La figure suivante présente de façon schématisée un détecteur infrarouge.

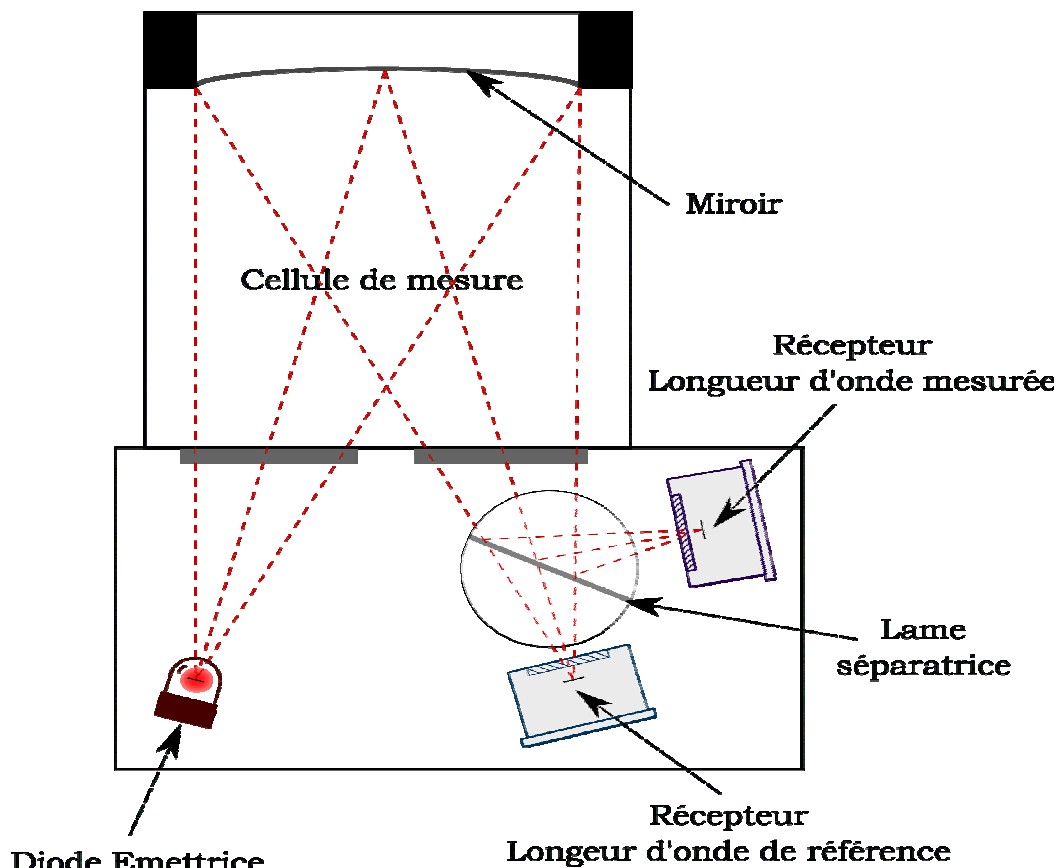


Figure 7 : schéma de principe d'un détecteur de gaz infrarouge ponctuel

5.3.2. Conditions d'utilisation

Contrairement à la détection catalytique, le coefficient de réponse du détecteur aux différents gaz par rapport au gaz de calibrage n'est pas constant sur la gamme 0-100 % de la LIE, puisque la réponse n'est pas linéaire mais logarithmique (loi de Lambert Beer). La figure suivante fournit un exemple de réponse (représentée par la déviation de sa ligne de base) de détecteur IR, pour différentes concentrations et 3 composés.

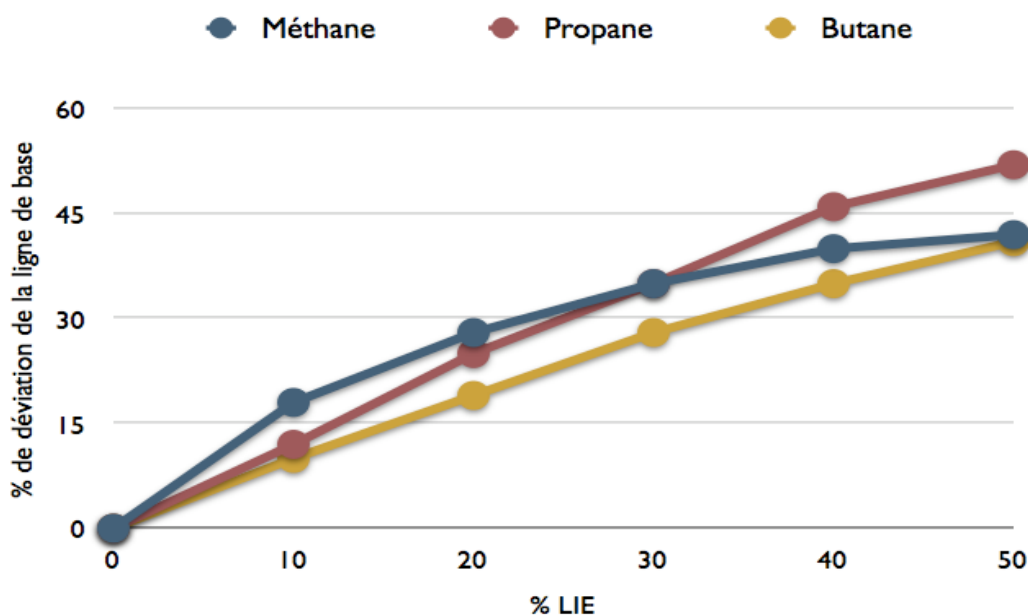


Figure 8 : réponse d'un détecteur IR à différentes concentrations pour différents gaz

Par conséquent, les coefficients de réponse des gaz par rapport aux gaz de calibrage ne sont pas, non plus, constants.

Par ailleurs, suivant les cas, les constructeurs déterminent la longueur d'onde spécifiquement pour le gaz à détecter. Aussi, tout comme pour les autres technologies, la détection d'un autre gaz inflammable avec le même détecteur passera nécessairement par des essais qui justifieront son efficacité.

La technologie infrarouge ne permet pas la détection de gaz hydrogène, seuls les gaz au moins diatomiques sont détectables par cette technologie.

Ces détecteurs peuvent être influencés par les conditions ambiantes (température, humidité relative, pression), notamment si celles-ci sont très éloignées de la normale, ou plus exactement des conditions ambiantes dans lesquelles a été réalisé le calibrage. La température n'a pas d'influence sur l'absorption infrarouge (mais peut en avoir sur l'électronique utilisée). Les appareils non compensés en pression sous / sur estiment les concentrations lorsque la pression est inférieure / supérieure à la pression présente lors du calibrage. Certains appareils, anciens, possèdent des optiques non chauffées, avec un risque de condensation amenant le détecteur en défaut.

Concernant le temps de réponse (t_{90}), il est de l'ordre de 10 à 20 secondes pour une concentration de 50 % de la LIE, pour les nouvelles générations de détecteurs de gaz infrarouge (à partir de 2003), dans le cas d'un entretien optimal (cf. chapitre 11.). Les anciennes générations affichent des temps de réponse plus importants, de l'ordre de la minute pour 50 % de la LIE. Ce temps de réponse peut être variable en fonction du contexte d'utilisation et notamment des conditions ambiantes.

La durée de vie des capteurs est de l'ordre de 1 à 4 ans, en fonction du contexte d'utilisation.

5.4. Technologie IR à long chemin optique

Il s'agit d'une extension du détecteur ponctuel infrarouge décrit dans le paragraphe 5.3. , avec les mêmes caractéristiques. Dans ce cas, l'émetteur et le récepteur sont distants, d'une dizaine à plusieurs centaines de mètres, comme indiqué sur la figure suivante.

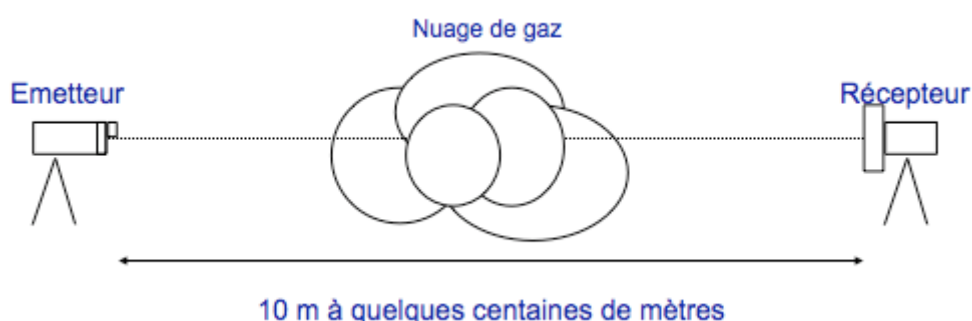


Figure 9 : détecteur de gaz à long chemin optique

Contrairement au détecteur ponctuel, le détecteur à long chemin optique ne fournit pas une concentration, mais une indication de présence de gaz en LIE mètre (LIE.m) ou en ppm mètre (ppm.m). L'appareil intègre tout le long de son chemin optique les molécules présentes pour calculer le paramètre LIE.m ou ppm.m. Par exemple, pour un composé donné, 1 LIE.m correspond à 100 % de la LIE sur une distance de 1 mètre ou bien 1 % de la LIE sur 100 mètres.

Ces équipements sont utilisés pour couvrir une zone ou un périmètre, à la place de plusieurs détecteurs ponctuels (catalytiques ou IR).

Dans les versions qui n'utilisent qu'une seule longueur d'onde de référence (donc des systèmes à 2 longueurs d'onde, la première correspondant à l'énergie d'absorption du gaz et la seconde étant la référence, choisie dans une plage sans absorption), les brumes voire la pluie, en diffractant le rayon infrarouge, provoquent des fausses alarmes ou des défauts. Pour s'affranchir au maximum de ces perturbations, une seconde longueur d'onde de référence a été implémentée (soit des systèmes à 3 longueurs d'onde). En plus de la brume et de la pluie, ces appareils sont influencés par les mêmes facteurs que les détecteurs IR ponctuels. Le temps de réponse des barrières IR, même avec un émetteur et un récepteur distant de 100 mètres est de l'ordre de 5 à 20 secondes pour une équivalence 1LIE.m, dans le cas d'un entretien optimal (cf. chapitre 11.).

5.5. Technologie électrochimique (H₂)

Cette technologie est décrite dans le paragraphe 6.1. traitant de la détection des gaz toxiques. Elle est mentionnée ici car des détecteurs utilisant cette technologie permettent la détection de l'hydrogène, à de très faibles concentrations, de l'ordre de la ppm. Ces détecteurs électrochimiques permettent notamment de détecter la présence de petites fuites d'hydrogène, alors que les détecteurs catalytiques ne peuvent détecter que des concentrations de l'ordre du pourcent. L'éthylène est également détectable à l'aide d'une cellule électrochimique.

5.6. Technologie semi-conducteur

5.6.1. Principe de fonctionnement

Le matériau support de la réaction d'oxydo-réduction n'est pas un métal, comme c'était le cas pour le détecteur catalytique, mais un oxyde métallique semi-conducteur (SnO₂, ZnO...) de type p ou n, et dont la conduction est due à des lacunes d'oxygène (oxyde non exactement stoechiométrique). Les réactions d'oxydo-réduction, ou simplement d'adsorption à la surface, vont changer la résistivité du matériau, en modifiant le nombre de porteurs de charge.

Le matériau est chauffé, comme dans le cas des perles catalytiques, mais la mesure est différente : c'est la variation de la résistance du matériau lui-même qui est mesurée, et non celle de l'élément chauffant. La gamme de mesure de ces appareils dépend du traitement du signal implémenté : soit la gamme 0-100% LIE, soit la gamme 0-100 % v/v, soit la gamme ppm.

La figure suivante présente de façon schématique un détecteur semi-conducteur.

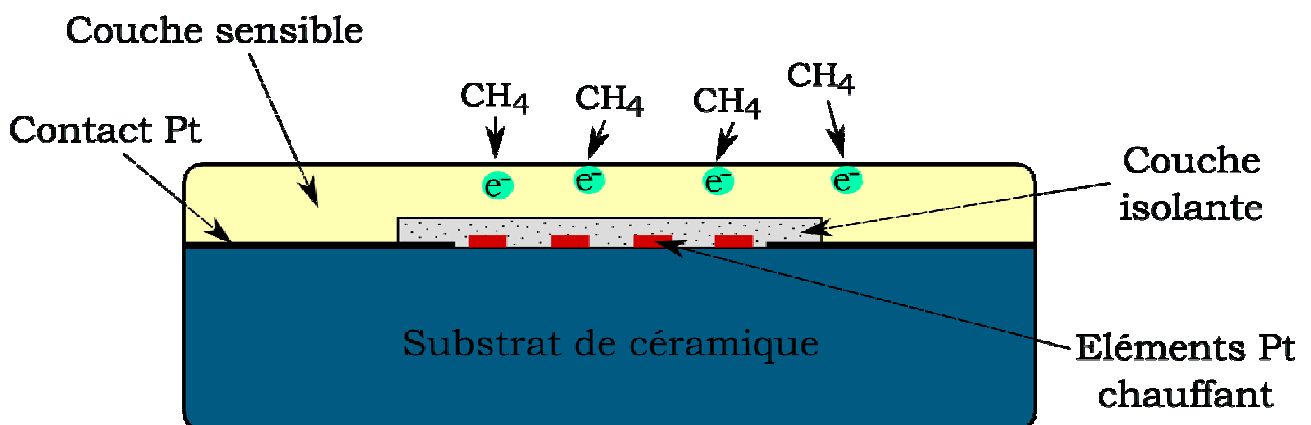


Figure 10 : schéma de principe d'un capteur de gaz à semi-conducteur

5.6.2. Conditions d'utilisation

À l'instar des technologies catalytiques et infrarouge, les détecteurs à semi-conducteur ne sont pas sélectifs et la sensibilité aux différents composés va dépendre du gaz de calibrage.

Ils nécessitent la présence d'oxygène pour fonctionner.

Les détecteurs à semi-conducteur pour la détection des gaz inflammables sont très peu utilisés dans l'industrie, car ils vieillissent (à cause du chauffage) et donc dérivent très rapidement (en quelques semaines pour certains).

De plus, ces détecteurs sont influencés par les conditions ambiantes, notamment par l'humidité. La vapeur d'eau s'adsorbe à la surface du semi-conducteur : c'est un interférent problématique. Et certaines détections de gaz ne sont possibles qu'en présence d'humidité.

Le temps de réponse de ces appareils est très variable, de quelques dizaines de secondes à plusieurs minutes.

Par conséquent, l'utilisation des détecteurs semi-conducteurs, pour la détection des gaz inflammables, n'est pas recommandable, sauf si des essais simulant le contexte d'utilisation ont montré qu'ils sont efficaces, et que les temps de réponse sont compatibles avec la cinétique des phénomènes dangereux en jeu.

La durée de vie des capteurs est de l'ordre de quelques semaines à plusieurs années en fonction du contexte d'utilisation.

5.7. Technologie PID (détecteur à photo-ionisation)

5.7.1. Principe de fonctionnement

Une pompe prélève l'atmosphère à surveiller. Le flux d'air est amené dans une chambre d'ionisation équipée d'une lampe ultra violet et de 2 électrodes soumises à une forte différence de potentiel (production d'un champ électrique (E)). Sous l'effet du rayonnement, les molécules dont le potentiel d'ionisation (PI) est inférieur à l'énergie de la lampe sont ionisées. Les ions ainsi obtenus sont collectés sur la cathode et un courant est créé, directement proportionnel au nombre d'ions formés et donc aux molécules ionisées. Les gammes de mesure de ces appareils sont en général 0-100 et 0-1000 ppm. La figure suivante présente schématiquement ce système.

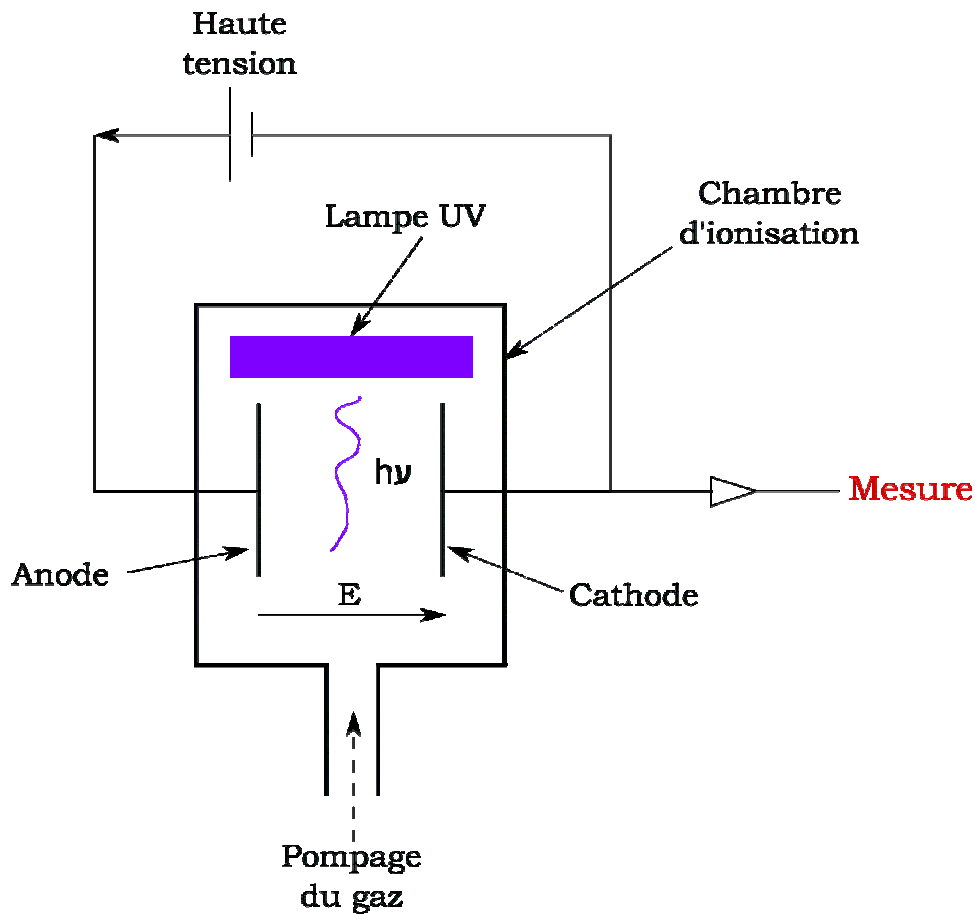


Figure 11 : schéma de principe d'un détecteur PID

Il existe aujourd'hui 3 lampes disponibles pour les PID : 9,8 ; 10,6 et 11,7 eV. L'échelle de mesure est la ppm, fortement éloignée des LIE des substances inflammables qui sont de l'ordre du pourcent volumique.

5.7.2. Conditions d'utilisation

Le PID, ou détecteur à photo-ionisation, développé pour la détection des substances toxiques (cf. paragraphe 6.2.), permet également la détection de vapeurs inflammables, notamment les solvants (qui sont la plupart du temps également toxiques). Tout comme la technologie électrochimique pour la détection d'hydrogène, les PID permettent la détection de faibles fuites de produits inflammables.

Mais toutes les substances inflammables ne sont pas détectables par cette technologie, car la détection dépend du potentiel d'ionisation de la molécule cible, et les lampes disponibles sont limitées. Par exemple, le méthane (PI=12,61 eV) et l'hydrogène (PI=15,43 eV) ne sont pas détectables avec des PID.

Il faut également noter, qu'à l'instar des autres détecteurs de gaz inflammables, le PID n'est pas sélectif : tous les gaz ou vapeurs qui ont un potentiel d'ionisation inférieur à l'énergie fournie par la lampe UV seront détectés par le PID. De la même façon que les

détecteurs catalytique, il existe des coefficients de réponse pour les PID, permettant d'établir la correspondance entre la concentration lue sur l'appareil et la concentration vraie présente, en fonction du gaz de calibrage.

Ces appareils peuvent montrer des dérives de plusieurs dizaines de pourcents sur une seule journée.

Lorsque ces appareils sont utilisés pour la détection de vapeurs « lourdes » (longue chaîne carbonée), ils s'encrassent facilement : cet encrassement est caractérisé par un film gras qui se dépose à la surface de la lampe. Cet encrassement est d'autant plus rapide que l'humidité ambiante est importante. Ce phénomène est constaté même avec les instruments qui possèdent une fonction d'auto-nettoyage (la fonction d'auto-nettoyage consiste à couper l'aspiration : le rayonnement UV produit de l'ozone qui oxyde le film formé sur la lampe). Cet encrassement a pour conséquence une dérive de la mesure, qui sous estime la concentration présente dans un premier temps, puis l'appareil se met en défaut.

Ces détecteurs sont influencés par les conditions ambiantes, notamment par l'humidité. Une présence d'humidité importante (par rapport au calibrage) provoque une sous estimation des concentrations présentes. Il en est de même pour une pression inférieure à la pression lors du calibrage. La température n'a pas ou peu d'influence.

Le temps de réponse de ces appareils est plutôt rapide, avec un t_{90} inférieur à 10 secondes, dans le cas d'un entretien optimal (cf. chapitre 11.).

Les durées de vie des lampes sont variables suivant leur énergie et le contexte d'utilisation : quelques mois pour la lampe 11,7 eV et 1 à 2 ans pour les lampes 9,8 et 10,6 eV, hors phénomène d'encrassement.

6. LA DETECTION DES GAZ ET VAPEURS TOXIQUES

Ce chapitre présente les principes de fonctionnement et les conditions d'utilisation des détecteurs de gaz et vapeurs toxiques aujourd'hui présents sur le marché.

6.1. Technologie électrochimique

6.1.1. Principe de fonctionnement

Le principe est basé sur une réaction d'oxydo-réduction à la température ambiante. L'interface sur laquelle réagit le gaz est une interface solide-liquide : le gaz s'adsorbe à la surface d'un catalyseur et réagit avec les ions d'une solution.

Le gaz entre dans la cellule par une barrière de diffusion perméable aux gaz mais pas au liquide.

Deux ou trois électrodes sont immergées dans un électrolyte, généralement un acide aqueux concentré. Dans le cas 2 électrodes, une électrode de travail et une électrode auxiliaire permettent la mesure de la concentration. Dans la configuration 3 électrodes, une électrode de référence est ajoutée pour éviter des dérives dans la mesure, dues à la création de barrières de charges d'espace (défaut de mobilité des ions). Cette électrode de référence (couple oxydo-réducteur O_2/H_2O), au travers d'un montage électrique appelé potentiostat, oblige l'électrode de travail à garder un potentiel constant par rapport à elle. La figure suivante présente schématiquement une cellule électrochimique, appliquée au cas du CO (monoxyde de carbone).

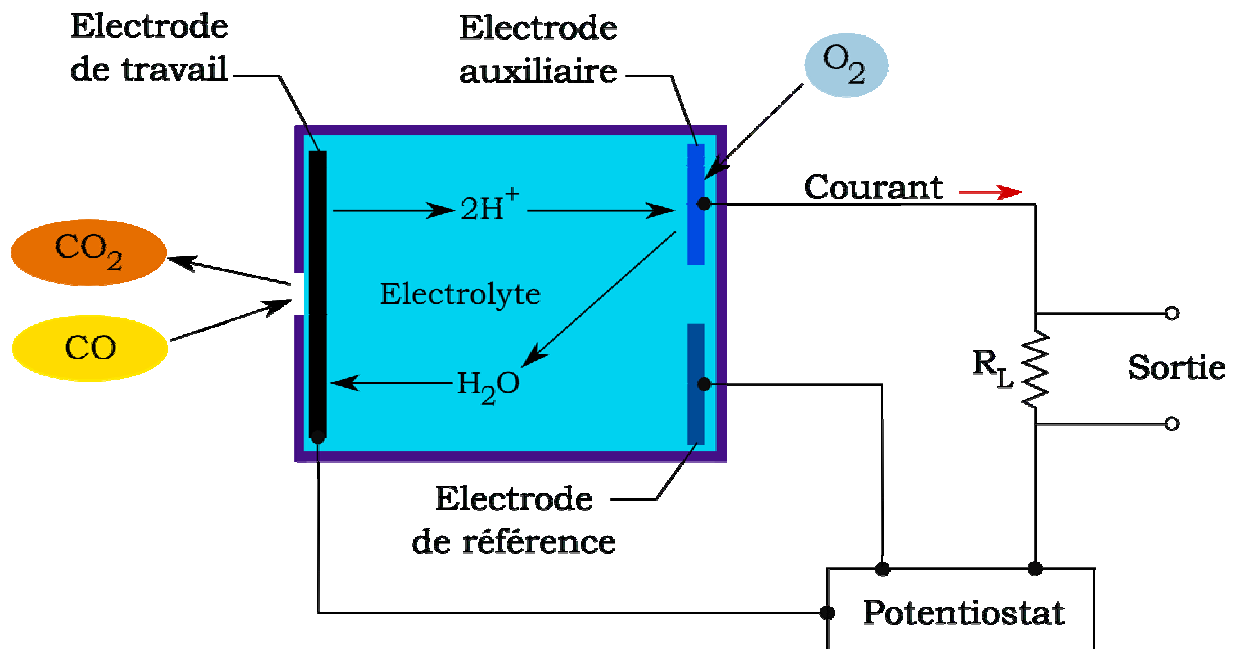


Figure 12 : schéma de principe d'une cellule électrochimique (cas du CO)

Les cellules électrochimiques actuelles fournissent un courant de 0,1 à 1 μA par ppm de gaz à mesurer.

Les gammes de mesures sont variables suivant les gaz : 0-5 ; 0-10 ; 0-20 ; 0-50 ; 0-100 ; 0-500 ; 0-1 000 ppm.

6.1.2. Conditions d'utilisation

La détection des gaz et vapeurs toxiques à l'aide de détecteurs électrochimiques est la technique de détection en continu la plus utilisée actuellement sur sites industriels. Les principaux gaz détectés par cette technologie (1 cellule par gaz) sont : CO, NO, NO₂, SO₂, H₂S, HCN, HCl, NH₃, Cl₂...

La sélectivité du gaz cible s'obtient par le choix des catalyseurs utilisés pour recouvrir les électrodes et le choix de l'électrolyte. Des filtres (physiques et / ou chimiques) peuvent également être ajoutés (dans le cas du CO, un filtre à charbon actif est ajouté). Ces dispositions n'empêchent pas certains gaz d'interférer avec la cellule : par exemple, le NO₂ est un interférent pour une cellule CO, qui va provoquer une sous estimation (réponse négative) de la réponse qui peut être importante en fonction des concentrations présentes. De façon générale, les NO_x, les SO_x et l'H₂S sont des interférents des cellules électrochimiques, provoquant soit une réponse positive, soit une réponse négative (mais ce ne sont pas les seuls). Ces informations doivent être fournies par le constructeur.

En raison de la nécessité de présence d'une concentration minimale d'oxygène pour fonctionner correctement, cette technologie ne convient pas à certaines applications de surveillance de procédés ou de canalisations, même si au départ, la cellule contient une quantité d'oxygène dissoute.

Ces détecteurs sont influencés par la température et l'hygrométrie. Des températures basses (à partir de 0°C) peuvent inhiber l'efficacité de certains détecteurs, tandis qu'une température haute (à partir de 30°C) peut générer des défauts (même lorsqu'une compensation en température est implémentée). Une faible hygrométrie a pour conséquence un dessèchement de la cellule, la rendant ainsi inefficace. Ce phénomène est réversible. Une pression inférieure à la pression présente au moment du calibrage influe sur la réponse, avec une sous estimation de la concentration présente de quelques pourcents à plusieurs dizaines de pourcents, suivant la différence de pression.

La durée de vie des capteurs est de l'ordre de quelques mois à 24 mois, en fonction du contexte d'utilisation, dans le cas d'un entretien optimal (cf. chapitre 11.).

6.2. Technologie (PID)

6.2.1. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement est celui décrit au paragraphe 5.7.1.

6.2.2. Conditions d'utilisation

Ces appareils sont souvent utilisés pour des mesures d'hygiène, et pour effectuer des cartographies de COV sur les sites industriels. Ces appareils n'étant pas sélectifs, il faut connaître au préalable le composé recherché pour obtenir une réponse valide (concentration réellement lue). Dans le cas où plusieurs composés sont présents, il n'est plus possible d'exploiter les résultats obtenus par une simple lecture.

Toutes les observations mentionnées au paragraphe 5.7.2. sont également valables ici.

6.3. Technologie semi-conducteur

6.3.1. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement est celui décrit au paragraphe 5.6.1.

6.3.2. Conditions d'utilisation

Ces détecteurs sont influencés par les conditions ambiantes, notamment par l'humidité. La vapeur d'eau s'adsorbe à la surface du semi-conducteur : c'est un interférent problématique. Et certaines détections de gaz ne sont possibles qu'en présence d'humidité. Par ailleurs, certains capteurs dérivent rapidement dans le temps.

Le temps de réponse de ces appareils est très variable.

Il faut être prudent lors de l'utilisation de ces détecteurs et s'assurer au préalable que leur efficacité et leur temps de réponse sont compatibles avec le contexte d'utilisation.

Toutes les observations mentionnées au paragraphe 5.6.2. sont également valables ici.

6.4. Technologie IR portable (CO₂)

6.4.1. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement est identique à celui décrit au paragraphe 5.3.1. , si ce n'est que la longueur d'onde est différente, car ce sont les liaisons « C=O » qui absorbent le rayonnement. La gamme de mesure utilisée est 0-10 000 ppm.

6.4.2. Conditions d'utilisation

Aujourd'hui, cette technologie est présente uniquement dans les appareils portatifs.

Ces détecteurs peuvent être influencés par les conditions ambiantes (température, humidité relative, pression), notamment si celles ci sont très éloignées de la normale, ou plus exactement des conditions ambiantes dans lesquelles a été réalisé le calibrage. La

température n'a pas d'influence sur l'absorption infrarouge (mais peut en avoir sur l'électronique utilisée). Les appareils non compensés en pression sous / sur estiment les concentrations lorsque la pression est inférieure / supérieure à la pression présente lors du calibrage. Un risque de condensation amenant le détecteur en défaut existe si les parties optiques ne sont pas chauffées.

Concernant le temps de réponse (t_{90}), il est de l'ordre de 20 à 40 secondes pour une concentration de 1 % v/v de CO₂, dans le cas d'un entretien optimal (cf. chapitre 11.).

6.5. Technologie colorimétrique

6.5.1. Principe de fonctionnement

Il s'agit de réactifs chimiques absorbés sur un support inerte. Ces réactifs sont spécifiques au gaz à détecter et changent de couleurs en présence du gaz. En fonction de la concentration de gaz présente, la coloration est plus ou moins étendue et / ou intense. Il existe 2 conditionnements :

- en tube, l'air est prélevé au moyen d'une pompe manuelle et la concentration se lit directement sur le tube, à l'interface entre la zone colorée et la zone non colorée. Ce système est entièrement manuel,
- sur une bande absorbante, avec un prélèvement de l'air automatique. L'intensité de coloration de la bande est mesurée avec un système optoélectronique . Ce système est complètement automatisé.

La gamme de mesure est variable suivant les conditionnements, de l'ordre de la ppm à la centaine de ppm.

6.5.2. Conditions d'utilisation

Cette technologie a été utilisée dans les premiers détecteurs de gaz. Il existe aujourd'hui sur le marché plus de 300 tubes permettant de mesurer des concentrations de gaz toxiques.

Les tubes colorimétriques fournissent plus une indication de présence de gaz qu'une concentration, leur précision étant environ de 30 %. À cette incertitude, il faut ajouter l'influence des conditions ambiantes, telles que l'humidité et la température, qui peuvent altérer les réactions chimiques mises en jeu. Si plusieurs gaz sont présents dans l'air, il faut tenir compte d'une interférence possible.

Ils ne doivent donc pas être utilisés pour des contrôles d'atmosphère, la mesure étant trop sujette à interprétation pour cette application.

Il faut parfois attendre plusieurs minutes pour que la coloration ait lieu.

La durée de vie des capteurs est de l'ordre de quelques mois à plusieurs années, suivant leurs conditions de stockage.

7. DETECTION DE L'OXYGENE

7.1. Technologie électrochimique à électrolyte liquide

7.1.1. Principe de fonctionnement

Dans la technologie décrite au paragraphe 6.1. , le gaz à mesurer s'oxyde grâce à l'oxygène contenu dans l'air. Elle ne peut donc pas s'appliquer à la détection de celui-ci. Dans le cas de la détection de l'oxygène avec une technologie électrochimique, une cellule particulière est utilisée, avec pour propriété l'auto-oxydation de l'électrode. Cette électrode est le plus souvent du plomb, la cathode étant en or ou en argent. La cellule contient seulement 2 électrodes.

La gamme de mesure est en principe 0-25 % v/v.

7.1.2. Conditions d'utilisation

Ces détecteurs peuvent être utilisés soit pour surveiller une atmosphère dans laquelle des travailleurs sont présents et se prémunir du risque d'anoxie, soit pour surveiller la teneur en oxygène d'ambiances qui sont inertées.

Lorsque ces cellules de détection d'oxygène sont utilisées pour des mesures d'inertage, une indication de 0 % v/v d'oxygène doit être interprétée avec précaution. En effet, pour cette application, une lecture à « 0 » peut signifier soit une absence d'oxygène soit une déconnexion ou une défaillance de la cellule, dans les 2 cas la cellule ne débitant pas de courant.

Ces détecteurs sont peu influencés par la température et l'hygrométrie. Une pression inférieure à la pression présente au moment du calibrage influe sur la réponse, avec une sous estimation de la concentration présente de quelques pourcents à plusieurs dizaines de pourcents, suivant la différence de pression.

Concernant le temps de réponse (t_{90}), il est de l'ordre de 10 à 30 secondes pour une concentration de 12 % v/v de O₂, dans le cas d'un entretien optimal (cf. chapitre 11.).

La durée de vie des capteurs est de l'ordre de 3 à 24 mois, en fonction du contexte d'utilisation.

7.2. Technologie électrochimique à électrolyte solide

7.2.1. Principe de fonctionnement

L'oxyde de zirconium (ZrO₂) se comporte à chaud comme un électrolyte liquide, c'est-à-dire que l'oxygène est ionisé à son contact, et peut traverser sous forme ionique le volume du capteur. La mesure de la différence de tension (à impédance élevée) entre les 2 faces de l'électrolyte est proportionnelle au logarithme du rapport entre les pressions partielles d'oxygène entre les 2 faces (une des faces étant maintenue à une pression de référence).

La gamme de mesure est 0-25 % v/v, mais avec une meilleure précision que la technologie à électrolyte liquide, notamment dans les basses concentrations d'oxygène (ppm). La précision à 21 % d'oxygène est du même ordre que les cellules électrochimiques à électrolytes liquides (0,1 % v/v).

7.2.2. Conditions d'utilisation

Cette technologie est aujourd'hui plutôt employée dans les analyseurs et peu dans les détecteurs de gaz.

Ces détecteurs sont influencés par les mêmes paramètres qui influencent les détecteurs d'oxygène à électrolyte liquide (cf. § 7.1.2.).

Concernant le temps de réponse (t_{90}), il est de l'ordre de 10 à 30 secondes pour une concentration de 12 % v/v de O₂, dans le cas d'un entretien optimal (cf. chapitre 11.).

La durée de vie des capteurs est de l'ordre de 2 à 4 ans, en fonction du contexte d'utilisation.

8. SYNTHÈSE SUR LES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES DE DÉTECTION

Les tableaux suivants présentent une synthèse sur les différentes technologies décrites dans les paragraphes précédents.

Technologie	Gamme de mesure	Exemple de gaz détectés	T90 (s)	Avantages	Limites
Catalytique	0-100 % LIE	H ₂ , CH ₄ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀ , vapeurs de solvants inflammables...	20 à 30	<ul style="list-style-type: none"> - Détection de plusieurs gaz possible (pas en même temps) - Faible influence (relative aux conditions de calibrage) de la température, de l'humidité et de la pression 	<ul style="list-style-type: none"> - Présence obligatoire d'oxygène pour fonctionner - Lever de doute nécessaire - Sensible aux poisons - Interférents - Condensation
Catharométrique	0-100 % v/v	H ₂ , CH ₄	20 à 30	<ul style="list-style-type: none"> - Couvre toute la gamme 0-100 % v/v - Faible influence (relative aux conditions de calibrage) de la température et de la pression 	<ul style="list-style-type: none"> - Détection de gaz autres que ceux inflammables - Influence de l'humidité - Peu précis dans la gamme 0-100 % LIE - Condensation
IR ponctuel	0-100 % LIE	CH ₄ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀ , vapeurs inflammables...	10 à 20	<ul style="list-style-type: none"> - Faible influence (relative aux conditions de calibrage) de la température et de l'humidité 	<ul style="list-style-type: none"> - H₂ non détecté - Interférents - Influence de la pression - Condensation

Technologie	Gamme de mesure	Exemple de gaz détectés	T90 (s)	Avantages	Limites
IR à long chemin optique	Variable (LIE.m et ppm.m)	CH ₄ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀ , vapeurs de solvants inflammables...	5 à 20	<ul style="list-style-type: none"> - Faible influence (relative aux conditions de calibrage) de la température et de l'humidité - Couverture d'une grande étendue 	<ul style="list-style-type: none"> - H₂ non détecté - Interférents - Faisceau bloqué avec certains brouillards / pluies - Condensation
Électrochimique	Variable (ppm)	H ₂ , C ₂ H ₄	20 à 60	<ul style="list-style-type: none"> - Détection de faibles concentrations - Faible influence de la température entre 0 et 30°C et de l'humidité 	<ul style="list-style-type: none"> - Présence obligatoire d'oxygène pour fonctionner - Interférents non inflammables - Dessèchement possible lors de faible hygrométrie (<20 % HR à 20 °C) - Influence de la pression - Condensation
Semi-conducteur	Variable (ppm) 0-100 % LIE 0-100 % v/v	CH ₄ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀ , vapeurs de solvants inflammables	Très variable	<ul style="list-style-type: none"> - Couvre toute la gamme 0-100 % v/v 	<ul style="list-style-type: none"> -Présence obligatoire d'oxygène pour fonctionner - Interférents dont la vapeur d'eau : forte influence de l'humidité - Vieillessement rapide - Parfois besoin d'humidité pour la détection - Condensation

Technologie	Gamme de mesure	Exemple de gaz détectés	T90 (s)	Avantages	Limites
PID	0-100 ppm 0-1 000 ppm	vapeurs de solvants inflammables	< 10	- Détection de faibles concentrations - Temps de réponse rapide	- Interférents - Influence de l'humidité - Encrassement rapide - Ne permet la détection de tous les gaz et vapeurs inflammables - Vieillessement rapide de certaines lampes - Condensation

Tableau 1 : synthèse des conditions d'utilisation relatives aux détecteurs de gaz et de vapeurs inflammables

Technologie	Gamme de mesure	Exemple de gaz détectés	T90 (s)	Avantages	Limites
Électrochimique	Variable (ppm)	CO, NH ₃ , Cl ₂ , H ₂ S...	Très variable suivant le gaz détecté	- Détection de faibles concentrations - Faible influence de la température entre 0 et 30°C	- Présence obligatoire d'oxygène pour fonctionner - Interférents (réponse négative) - Dessèchement possible lors de faible hygrométrie (<20 % HR à 20 °C) - Influence de la pression - Condensation

Technologie	Gamme de mesure	Exemple de gaz détectés	T90 (s)	Avantages	Limites
PID	0-100 ppm 0-1 000 ppm	NH ₃ , vapeurs de solvants toxiques...	< 10	- Détection de faibles concentrations - Temps de réponse rapide	- Interférents - Influence de l'humidité - Encrassement rapide - Ne permet la détection de tous les gaz et vapeurs toxiques - Vieillessement rapide de certaines lampes - Condensation
Semi-conducteur	Variable (ppm)	CO, NH ₃ , Cl ₂ , H ₂ S, vapeurs de solvants toxiques...	Très variable suivant le gaz détecté		-Présence obligatoire d'oxygène pour fonctionner - Interférents dont la vapeur d'eau : forte influence de l'humidité - Vieillessement rapide - Parfois besoin d'humidité pour la détection - Condensation
IR (détecteur portable)	0-10 000 ppm	CO ₂	20 à 40	- Faible influence (relative aux conditions de calibrage) de la température et de l'humidité	- Interférents - Influence de la pression - Condensation

Technologie	Gamme de mesure	Exemple de gaz détectés	T90 (s)	Avantages	Limites
Colorimétrie	Variable (ppm)	NH ₃ , Cl ₂ , H ₂ S, vapeurs de solvants toxiques...	Très variable suivant le gaz détecté	- Mise en oeuvre rapide et simple	- Interférents - Très faible précision (indication) - Influence de l'humidité et de la température

Tableau 2 : synthèse des conditions d'utilisation des détecteurs de gaz et de vapeurs toxiques

Technologie	Gamme de mesure	Gaz détecté	T90 (s)	Avantages	Limites
Électrochimique	0-25 %v/v	O ₂	10 à 30	- Faible influence de la température et de l'humidité	- Interférents (réponse négative) - Dessèchement possible lors de faible hygrométrie (<20 % HR à 20 °C) - Influence de la pression - Condensation
Oxyde de zirconium	0-25 %v/v	O ₂	10 à 30	- Faible influence de la température et de l'humidité - Très grande précision pour les faibles concentrations	- Influence de la pression - Chauffage à plusieurs centaines de degrés - Condensation

Tableau 3 : synthèse des conditions d'utilisation des détecteurs de gaz oxygène

9. POSITIONNEMENT DES DETECTEURS DE GAZ FIXES

Lorsqu'une émission accidentelle de gaz ou vapeurs dangereux (inflammables ou / et toxiques) se produit dans l'atmosphère, il existe toujours, à proximité du rejet, un volume gazeux contenant un mélange de gaz et d'air dans des proportions telles qu'il représente un danger d'inflammation ou / et toxique. Si le rejet de gaz est durable, le nuage de gaz dangereux peut évoluer vers un état stationnaire de volume constant et localisé ou bien s'étendre et occuper complètement la zone surveillée.

L'implantation des détecteurs de gaz doit être réalisée de façon à ce que l'utilisateur soit toujours averti de la formation d'un nuage de gaz dangereux avant que le volume occupé par celui-ci ne soit trop important et n'atteigne des zones sensibles (sources d'inflammation, bureau, extérieur du site...).

Il faut donc que la détection intervienne le plus tôt possible (délai de migration du nuage et temps de réponse du détecteur les plus courts possibles) et soit efficace (toutes les fuites potentielles doivent être détectables) : que la zone surveillée soit confinée ou à l'air libre, elle nécessite la mise en place d'un maillage qui comprend au minimum 2 détecteurs [2].

Il faut être prudent concernant les règles simples qui sont fréquemment utilisées, basées essentiellement sur la densité du gaz par rapport à l'air : même pour un gaz plus léger que l'air, il n'est pas évident que le positionnement le plus pertinent des détecteurs soit en partie haute, ou en partie basse pour les gaz plus denses que l'air [2] : les facteurs influents sont nombreux, tels que le type de fuite (liquide, gaz, diphasique), le régime d'écoulement de l'air et donc l'existence de zones de non-recirculation et de chemins préférentiels, de la position du rejet par rapport aux détecteurs...

La démarche à retenir consiste à se baser sur les résultats des modélisations des fuites potentielles. Seul un outil de modélisation, prenant en compte la configuration des lieux, permet de positionner de façon optimale les détecteurs de gaz.

À titre d'exemples sont présentés en intégralité 5 rapports d'accident issus de l'interrogation adressée au Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI) sur la défaillance des capteurs de gaz (cf. chapitre 3.). Ces 5 rapports mettent en avant (explicitement ou implicitement) un problème de positionnement des détecteurs de gaz.

ARIA 15295 - 16/11/1986 - 76 – NOTRE-DAME-DE-GRAVENCHON

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base .

Une explosion et un incendie dans une usine chimique endommagent gravement une unité de production de butanol-2 par hydratation du n-butène en milieu sulfurique. À la suite de l'intervention des secours, plusieurs tonnes d'alcool et d'acide sulfurique se déversent dans la SEINE. L'accident a pour origine la rupture d'un soufflet d'aspiration sur une pompe véhiculant dans une boucle de recyclage un mélange sous pression de butène, de butanol et d'acide sulfurique. La nappe de gaz inflammables et corrosifs résultante a conduit à un UVCE allumé, soit par l'arc électrique produit lors de la rupture du carter de pompe et de l'arrachement de son moteur électrique, soit au contact d'une ligne haute-tension de 90 kV du réseau de distribution public d'électricité alimentant la zone industrielle et surplombant la clôture de l'usine. **Cet accident a mis en lumière la faiblesse du réseau de détection du n-butène**, l'impossibilité d'utiliser les lances canon

fixes implantées dans l'unité et trop proches de l'incendie, ainsi que la vulnérabilité de la salle de contrôle sérieusement endommagée par l'UVCE. Le préfet subordonne le redémarrage de l'unité à une nouvelle procédure d'autorisation.

ARIA 14163 - 24/09/1998 - 28 – PIERRES

25.1E - Fabrication d'autres articles en caoutchouc.

Dans le hall d'enduction d'une usine de rubans adhésifs, des vapeurs d'hexane explosent au niveau d'un sécheur, durant l'arrêt de la chaîne 2 et le changement de rubans de la chaîne 1. Des sprinklers se déclenchent et l'incendie est rapidement maîtrisé ; 5 personnes blessées par la surpression sont hospitalisées quelques heures. Le toit du bâtiment en fibrociment est détruit. Les dommages matériels et pertes d'exploitation sont évalués à 40 et 50 MF. **Un défaut de conception (détecteur d'atmosphère explosible mal positionné)** et plusieurs dysfonctionnements sont à l'origine du sinistre. Le CHSCT effectue une enquête. Une expertise est réalisée. Des modifications sont apportées : COV mesurés en continu, débit de la chaîne d'enduction dimensionné pour obtenir une concentration de 20 % de la LIE, alarmes et contrôles supplémentaires (défaillances moteurs, détections gaz), température des échangeurs limitée au 2/3 de celle d'auto inflammation de l'hexane (vapeur 6 bars), programmes de maintenance, etc.

ARIA 19964 - 31/01/2001 - 38 - LE PONT-DE-CLAIX

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base .

Une bouffée de phosgène s'échappe dans l'unité de production de TDI d'une usine chimique. La fuite se produit sur un échangeur solvant / phosgène isolé manuellement à la suite d'une étanchéité douteuse et dont l'isolement total (platinage) devait être réalisé dans les prochains jours. La fuite est due à un perçage par corrosion de l'échangeur. Le vent déplace le nuage toxique sur une zone en chantier de l'unité où 30 employés d'entreprises extérieures sont présents, équipés d'un masque de fuite et d'un badge détecteur de COCl₂ ; 13 de ces badges se colorent. Les personnes concernées évacuées par précaution sur l'infirmerie du site en ressortiront peu après. Les contrôles effectués indiquent 5 ppm/mn de phosgène sur 8 des badges et de 5 à 10 ppm pour les autres. **Les détecteurs fixes implantés dans les installations n'ont pas déclenché d'alarme.** Une analyse de l'accident avec arbre des causes est effectuée. **Des détecteurs fixes supplémentaires avec alarme** et un système d'alerte (bouton avec report en salle de contrôle) **sont installés**, une formation complémentaire des agents est mise en place et des consignes sont modifiées (coordination quotidienne entre le personnel de fabrication et les ouvriers du chantier).

ARIA 23629 - 03/07/2002 - 13 – ROGNAC

90.0E - Traitements des autres déchets solides

Un feu se déclare sur une installation de broyage de DTQD (déchets en quantité dispersée) dans un centre de traitement des déchets. Des fûts contenant des boues de peinture provenant d'une entreprise avaient été introduits dans le broyeur peu avant l'accident. L'examen du contenu des fûts restants montre qu'il s'agit d'un déchet de type boues polymérisées, à l'aspect caoutchouteux, avec une forte odeur de solvant.

L'hypothèse la plus probable est la présence d'une poche de solvant liquide, piégée dans les boues de l'un des fûts. **Malgré le système de détection mis en place en partie supérieure du broyeur (explosimètres réglés à 10 % de la LIE provoquant l'arrêt des installations et à 40 % de la LIE pour le déclenchement des systèmes d'extinction automatique et la fermeture des portes coupe feu), l'explosimètre du broyeur n'a rien détecté, sans doute en raison d'un effet bouchon généré par les boues. Le solvant se serait libéré dans la vis non équipée d'explosimètre et enflammé.** Les boues enflammées ont été projetées dans le bassin et sur la première porte d'accès au hall abritant le bassin. Le départ de feu dans le bassin est rapidement maîtrisé par les moyens d'extinction automatiques malgré un léger retard constaté par les opérateurs dans l'ouverture de la vanne automatique de type papillon sur le réseau d'injection de mousse (présence manifeste d'un point dur). Le feu sur la porte est maîtrisé par l'équipe d'intervention de l'exploitant. Lorsque les pompiers du complexe chimique proche, sollicités au titre d'une convention d'assistance et les pompiers de ROGNAC arriveront, ils n'auront pas à intervenir. Les dommages matériels se limitent essentiellement à la destruction de la porte et du pont roulant. L'exploitant envisage les mesures suivantes : installation d'un explosimètre sur l'extraction de ventilation de la vis de convoyage, changement à titre préventif de toutes les vannes automatiques d'injection de mousse du site, recherche d'une solution concernant la tenue au feu des portes d'accès au hall. Un compte rendu complet sera adressé à l'inspection des installations classées.

ARIA 29279 - 25/02/2005 - 01 – VIRIAT

15.1E - Préparation industrielle de produits à base de viandes

Lors d'un changement d'équipe vers 5 h dans une usine de plats cuisinés, un cariste détecte une odeur d'ammoniac (NH₃) et donne l'alerte ; 55 personnes sont évacuées dont 4 se plaignent de maux de tête, 2 sont hospitalisées par précaution. Des techniciens mettent en sécurité les installations à 5h30. Les pompiers relèvent des concentrations de 150 mg d'NH₃ et ventilent les ateliers. Seules des traces d'NH₃ seront détectées 4 h plus tard. Aucune conséquence ne sera perçue hors du site. Un frigoriste extérieur dégivre et contrôle les installations de réfrigération, resserre un bouchon qui fuit et redémarre l'unité entre 10 et 11 h. L'accident a 2 origines : le bouchon desserré et une perte d'alimentation électrique quelques heures plus tôt. Selon l'exploitant, des vibrations de la tuyauterie auraient desserré le bouchon, sans perte d'étanchéité cependant tant que les installations fonctionnaient en continu et sous dépression de 0,5 bar. L'arrêt de celles-ci, sans doute entre minuit et 1 h du matin lié au déclenchement d'un disjoncteur, a entraîné la perte de cette dépression au profit d'un rééquilibrage des pressions à 3 ou 4 bar dans les circuits (pression de service 11 bar), puis la fuite. Pourtant non satisfaisant au regard des exigences de sécurité et de maintien des conditions thermiques dans les chambres froides, l'arrêt intempestif n'a pas été détecté en temps réel : historique des défauts et information du déclenchement du disjoncteur non retransmis en salle de contrôle, mais aussi seuil de détection de 500 ppm d'NH₃ non atteint ou **détecteur mal positionné ? Un expert formule plusieurs recommandations : examen du positionnement des 2 détecteurs NH₃ existants, étude d'une configuration pour s'affranchir des circulations d'air dans les combles et éviter de contrarier la détection d'une fuite d'NH₃.** repérage des vannes d'isolement manuelles et automatiques (nomenclature et report sur plan), installation d'un dispositif pour connaître à tout instant l'état (marche / arrêt) de l'installation. Plusieurs procédures sont également préconisées : déglacage périodique pour faciliter les manœuvres de vannes, la lecture du niveau et, plus

généralement, limiter les contraintes liées à la masse de glace sur les éléments de l'installation, réalisation de tests périodiques pour vérifier le bon fonctionnement de la chaîne de détection et de sécurité NH₃, suivi de l'accessibilité du matériel (déglaçage), manœuvre périodique des vannes et contrôle d'absence de fuite.

10. CHOIX ET GESTION DES NIVEAUX D'ALARME

Le rôle d'un détecteur de gaz étant de prévenir de la présence d'un gaz le plus rapidement possible, il est toujours dans l'intérêt de l'utilisateur de fixer un seuil d'alarme le plus bas possible en concentration. Le niveau d'alarme minimal dépend des caractéristiques de l'appareil et de l'application pour lequel il est utilisé. Les caractéristiques métrologiques des appareils sont telles que les risques de fausses alarmes deviennent élevés en dessous d'un seuil dépendant de chaque type de détecteur de gaz. De plus, il peut y avoir une présence de gaz normale sur le site (bruit de fond) à surveiller à des concentrations basses pour lesquelles l'appareil ne doit pas donner d'alarme.

La plupart des appareils fixes et portables possèdent 2 niveaux d'alarme. Le choix des seuils dépend uniquement de la politique sécurité de l'entreprise utilisatrice. Cependant, ce choix devra être en adéquation avec les contraintes réglementaires, du site et la cinétique des phénomènes redoutée.

L'exploitation que l'utilisateur va faire des alarmes que lui renvoie un appareil de détection dépend du procédé surveillé et des règles de sécurité qui lui sont rattachés. L'intérêt de pouvoir fixer 2 seuils d'alarme réside dans la possibilité de graduer les mesures de sécurité en fonction du risque engendré par la présence de gaz dangereux.

Lorsque le premier seuil d'alarme se déclenche, il révèle un fonctionnement anormal de l'activité du site qui peut être considéré comme une situation d'alerte qui ne nécessite pas nécessairement un arrêt de l'activité mais la mise en place de mesures correctives, techniques, humaines ou les 2 à la fois. Dans le cas d'une action effectuée par un opérateur, son attention doit être mobilisée de façon à pouvoir recourir à des mesures de mise en sécurité immédiate définies au préalable dans des procédures. Lorsque le second seuil d'alarme est atteint, cela signifie que les mesures correctives prises précédemment n'ont pas été efficaces du fait de la gravité de l'incident. L'installation doit donc être mise en sécurité.

Il est par conséquent primordial de régler les seuils des détecteurs de gaz avant leur première utilisation, ou tout du moins de s'assurer que les réglages effectués en usine correspondent bien aux besoins sur le site.

Par exemple, les niveaux d'alarmes rencontrés dans l'industrie, pour des détecteurs de gaz inflammables et toxiques, sont les suivants :

- inflammables : 25 et 50 % de la LIE, 10 et 20 % de la LIE, 20 et 40 % de la LIE, 15 et 35 % de la LIE, etc, quel que soit le gaz inflammable cible,
- toxiques : en général, les seuils retenus correspondent aux VME et VLE des gaz : 50 et 100 ppm pour le CO ; 25 et 50 ppm pour le NH₃ ; 0,5 et 1 ppm pour le Cl₂ ; 5 et 10 ppm pour l'H₂S...

11. TEST, CALIBRAGE ET MAINTENANCE

Les appareils de détection de gaz sont des instruments de mesure. A ce titre, comme tous les instruments de mesure, ils dérivent dans le temps et leur fonctionnement peut être altéré par des paramètres extérieurs. Il est donc indispensable de vérifier périodiquement leur bon fonctionnement et le cas échéant, de réaliser les opérations de maintenance adéquates.

Rappelons que chaque année, plusieurs personnes, à leurs postes de travail, sont victimes d'accidents graves voire mortels impliquant du gaz. L'utilisation adéquate de détecteurs de gaz correctement testés et maintenus aurait pu éviter certains de ces accidents³.

Le test consiste, à l'aide d'un gaz étalon, à vérifier que les alarmes se déclenchent et que l'indication finale indique bien la concentration du gaz étalon à plus ou moins 10 % près.

Le calibrage s'effectue après un test non concluant ou autre dysfonctionnement constaté. Il s'agit dans ce cas de régler le zéro et la sensibilité de l'appareil avec un gaz étalon, voire les seuils d'alarme si ceux-ci ont été modifiés.

La maintenance évoquée ici est une maintenance légère, qui consiste à changer les filtres, la batterie, la ou les cellules de l'appareil. Pour toute autre réparation, l'appareil doit être obligatoirement expédié chez le constructeur.

Les fréquences de tests et de maintenance des détecteurs de gaz ne font pas l'objet de réglementation particulière. Elles varient en fonction de la technologie de détection (cf. chapitres 5. 6. 7.), de la nature des appareils (fixes ou portables) et des constructeurs.

La seule et unique façon de savoir si un détecteur de gaz "détecte du gaz" est d'injecter du gaz à une concentration connue sur l'appareil, soit réaliser un test.

Il existe aujourd'hui sur le marché des appareils fixes auto-testés, c'est-à-dire que ces systèmes de détection sont capables de générer une quantité de gaz et de vérifier la réponse du capteur. Ces appareils apportent un gain en termes de sécurité et de niveau confiance, car ils permettent automatiquement un test de fonctionnement. Mais la concentration générée n'est pas connue avec précision, et la réponse n'est pas exploitée de manière précise, aussi, ces appareils doivent également être testés et calibrés. D'autant plus que parfois, le gaz généré n'est pas le gaz détecté mais un interférent. Dans certaines notices d'utilisation, par abus de langage, il est mentionné que l'appareil réalise un calibrage automatique, alors qu'en réalité, il ne s'agit que d'une vérification de fonctionnement avec le gaz généré.

11.1. Cas des détecteurs portables

Ils sont susceptibles de rencontrer différentes atmosphères, de subir des contraintes risquant de modifier leur capacité à détecter le gaz.

Lors de leur mise en fonctionnement, ces appareils effectuent un auto-test (certains l'affichent sur l'écran). Cet auto-test permet de tester de nombreux paramètres "électroniques", en revanche il ne permet pas de s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil en présence de gaz.

3 Source : CRAM 2005

Seule l'injection d'une concentration connue en gaz (gaz de test) permet de vérifier la réponse au gaz et le déclenchement des alarmes, donc le fonctionnement du détecteur de gaz dans sa totalité. La durée d'un test est de quelques minutes.

Il est préconisé un test avant chaque utilisation du détecteur. Si le test est concluant, la personne peut utiliser l'appareil pour sa mission. Dans le cas contraire, cet appareil ne devra plus être utilisé avant d'avoir été maintenu (calibrage, changement des filtres, du capteur...) et testé à nouveau.

Ces tests sont indépendants des interventions de maintenance. Celles-ci sont fonction de l'utilisation de l'appareil, du retour d'expérience constaté lors des tests et des prescriptions constructeurs.

11.2. Cas des détecteurs fixes

Ils fonctionnent en continu dans une atmosphère évoluant peu en général. Mais ils peuvent connaître les mêmes dysfonctionnements que ceux rencontrés sur les portables. Il est par conséquent indispensable de réaliser des tests et les opérations de maintenance pour vérifier et maintenir leur état de fonctionnement dans le temps.

La période de tests préconisée est "évolutive", c'est-à-dire qu'elle est faible au départ (tous les mois, voire moins) puis augmentée si aucune dérive de fonctionnement n'est constatée. En aucun cas la période entre 2 tests ne devra être supérieure aux préconisations du constructeur.

Comme pour les détecteurs de gaz portables, la fréquence d'interventions de maintenance est alors fonction du retour d'expérience obtenu avec les tests et des prescriptions des constructeurs.

Les tests et les opérations de maintenance doivent être réalisés par du personnel formé, conformément aux prescriptions des constructeurs indiquées dans les notices des appareils (respect du gaz de calibrage, masque d'injection adapté, débit du gaz,...). Les opérations de maintenance doivent être réalisées par du personnel qualifié par une formation adaptée.

11.3. Matériel nécessaire pour réaliser les tests et le calibrage

11.3.1. Station de test automatique pour détecteurs portables

Les constructeurs peuvent fournir des stations de tests complètement automatiques pour les détecteurs de gaz portables. Cette station est équipée d'une bouteille de gaz étalon. Il suffit de glisser le détecteur à l'intérieur pendant environ 1 minute, puis le système fournit un « ticket » mentionnant l'état opérationnel ou non de l'appareil. Si les utilisateurs ne possèdent pas une telle station, ils doivent dans ce cas utiliser le matériel décrit au paragraphe suivant.

11.3.2. Équipements pour effectuer les tests et les calibrages

L'objectif est de faire passer du gaz sur le détecteur à une concentration connue et dans des conditions qui se rapprochent au maximum de son utilisation sur le terrain. Les éléments suivants doivent être disponibles :

- une bouteille de gaz étalon, dont la concentration permet le déclenchement des alarmes,
- un bloc détenteur débitmètre, permettant d'utiliser le gaz contenu dans la bouteille à un débit connu (en litre / minute), qui est préconisé par le constructeur,

- un flexible permettant de faire la jonction entre la sortie du bloc détenteur débitmètre et la coiffe du détecteur, le matériau du flexible étant compatible avec le gaz manipulé,
- la coiffe de l'appareil fournie par le constructeur.

Dans le cas où un calibrage est effectué, il faut ajouter les éléments suivants :

- La notice de l'appareil, contenant le mode opératoire pour réaliser le calibrage, et le code d'accès le cas échéant,
- le logiciel adéquat le cas échéant (si les opérations de calibrage nécessitent l'utilisation d'un PC),
- tout le petit matériel nécessaire pour effectuer les réglages.

Toutes les opérations de tests doivent être tracées, permettant ainsi de constituer un retour d'expérience fiable sur son matériel, même si elles sont sous-traitées.

12. FORMATION DU PERSONNEL

12.1. Utilisation des détecteurs de gaz portables

Il n'est pas rare que les utilisateurs de détecteurs de gaz portables ne comprennent pas l'obligation de porter en permanence leurs appareils. Et il arrive même parfois qu'ils ne les utilisent plus, les laissant dans le bureau ou le véhicule de service. Ces attitudes s'expliquent dans la majeure partie des cas par l'absence d'une formation expliquant l'objectif de l'utilisation du détecteur de gaz.

Chaque utilisateur de détecteurs de gaz, occasionnel ou permanent, devrait être formé avant d'utiliser l'appareil. La formation doit notamment inclure les sujets suivants :

- quels sont les dangers des gaz (risques encourus en présence de gaz),
- les différents principes de fonctionnement des détecteurs de gaz,
- la réalisation d'un test,
- conduite à tenir en cas de déclenchement d'alarme.

Une telle formation permet à la fois de faire prendre conscience aux utilisateurs des risques auxquels ils peuvent être confrontés, de connaître le fonctionnement du détecteurs et les consignes associées en cas de déclenchement des alarmes.

12.2. Calibrage et maintenance des détecteurs de gaz

L'utilisateur est amené à réaliser le calibrage et la maintenance de son parc d'appareils de détection. Ces opérations nécessitent une structure minimale dans laquelle des opérateurs doivent pouvoir stocker des bouteilles de gaz et en assurer la traçabilité.

Lorsque la maintenance des détecteurs est confiée à une entreprise extérieure, celle-ci doit gérer les mêmes contraintes. Il existe des situations où l'exploitant du site n'effectue par lui-même que les contrôles de fonctionnement et il sous-traite le calibrage et la maintenance.

Afin de pérenniser la performance des détecteurs de gaz (efficacité, temps de réponse et niveau de confiance [1&3]), l'appareil doit être calibré et maintenu correctement. Il est nécessaire que les utilisateurs en charge de ces opérations soient formés. La formation doit notamment porter sur :

- les différents principes de fonctionnement des capteurs,
- les performances des appareils,
- le fonctionnement du système complet,
- les limites d'utilisation,
- les règles de maintenance essentielles,
- la manipulation des gaz.

Concernant la traçabilité des détecteurs de gaz, idéalement, il faudrait que l'exploitant ou le sous-traitant puisse tenir à jour une fiche de suivi pour chaque point de mesure dans laquelle se trouveraient les renseignements suivants :

- date des contrôles et indication de l'appareil en présence d'air et du gaz de référence, au départ puis après un calibrage le cas échéant,
- numéro des bouteilles de gaz de référence,

- date des entretiens et nature (remplacement des pièces, nettoyage),
- date d'événements inhabituels (présence de gaz, autres interventions sur le site, incidents divers).

Par ailleurs, un effet « gameboy™ »⁴ est de plus en plus présent dans le domaine de la détection gaz. Les constructeurs améliorent sans cesse l'ergonomie des interfaces d'utilisation et de réglages sur les appareils, de façon à ce qu'elles soient les plus conviviales possible. Ces interfaces peuvent parfois brouiller le message de sécurité fourni par les détecteurs de gaz et laisser penser qu'une formation n'est plus nécessaire. Dans tous les cas, il est indispensable de former à la fois les utilisateurs et les personnes en charge de la maintenance des appareils.

4 Terme utilisé par le rédacteur de ce rapport

13. NORMES ET REGLEMENTATION

13.1. Directives ATEX et CEM

Tous les détecteurs de gaz doivent satisfaire aux exigences de la Directive Européenne 89/336/CEE dite CEM, ce qui se traduit par le marquage CE. Quant aux détecteurs de gaz utilisables en atmosphère explosive, ils doivent satisfaire en plus à la Directive 94/9/CE dite ATEX, ce qui se traduit par le marquage Ex.

13.2. Normes métrologiques françaises et européennes

Il existe des normes dites « métrologiques », qui définissent les essais que doivent subir les détecteurs de gaz et les performances minimales qu'ils doivent obtenir pour être considérés comme aptes à remplir leurs fonctions de détection sur sites industriels. La conformité à ces normes n'est pas obligatoire, mais elles sont prises comme référence par les organismes certificateurs lorsque ces appareils sont destinés à être utilisés comme équipements de sécurité sur les installations industrielles dans le cadre de la Directive ATEX. Tout détecteur de gaz certifié ATEX a donc subi avec succès les essais métrologiques avant sa mise sur le marché.

Concernant les autres détecteurs de gaz qui ne sont pas certifiés ATEX, même s'il existe des normes métrologiques qui leur sont dédiées, elles ne sont pas utilisées, et le matériel est vendu sans aucune certification métrologique. C'est pour cette raison qu'il peut exister sur le marché des détecteurs qui ne remplissent pas leur fonction de sécurité [4&5], notamment parce qu'ils ne sont pas conformes aux spécifications annoncées par le constructeur.

Les principales normes métrologiques aujourd'hui en vigueur sont récapitulées dans le tableau suivant.

Référence	Titre	Date
NF EN 61779 – 1 à 5	Appareils électriques de détection et de mesure des gaz combustibles	Janvier 2005
NF EN 50104	Appareils électriques de détection et de mesure de l'oxygène	Novembre 2002
NF EN 45544 -1 à 4	Appareillage électrique utilisé pour la détection directe des vapeurs et gaz toxiques et le mesurage direct de leur concentration	Mai 2000
NF EN 50241-1 à 2	Spécification pour les matériels de détection de gaz et de vapeurs toxiques à chemins ouverts	Janvier 2005

Tableau 4 : normes métrologiques en vigueur à la date de publication de ce rapport pour les détecteurs de gaz

Quant bien même un appareil a été certifié suivant les normes métrologiques, il faut garder à l'esprit que les tests réalisés sont bornés, que ce soit en température, en humidité, en pression, en termes de concentration et de durée : par conséquent, un détecteur même certifié n'est pas toujours capable de fonctionner dans n'importe quel contexte d'utilisation.

Par exemple, les détecteurs fixes de gaz combustibles sont testés (NF 61779-1 & 4), en température, entre -25 et +55°C. Il n'est pas rare sur site industriel de constater qu'ils sont soumis à des températures bien supérieures, de l'ordre de centaines de degrés, notamment dans des enceintes chauffées. Dans ce cas, seuls des essais complémentaires peuvent attester, de façon fiable, leur performance à ces températures.

13.3. Réglementation française

De façon générale, la détection gaz est abordée dans la réglementation française à différents degrés suivant les substances et les activités concernées. Une recherche à l'aide de l'outil AIDA (<http://aida.ineris.fr>) a permis de dénombrier une trentaine de textes relatifs au sujet : arrêtés, arrêtés types et circulaires qui s'appliquent dans différents domaines tels que le chlore, l'ammoniac, le GPL, les chaudières, les liquides inflammables... L'objectif n'est pas ici de tous les citer mais de reprendre les principales impositions. Il importe que l'utilisateur réalise une recherche pour connaître le contexte réglementaire qui encadre l'utilisation, pour son application, des détecteurs de gaz.

Les impositions sont parfois succinctes, et concernent l'obligation de mettre en place un détecteur (ex : l'article 6 de l'arrêté du 10 mai 1993 relatif au stockage de gaz inflammables liquéfiés sous pression ; l'article 40 de l'arrêté du 23 juillet 1997 relatif aux stockages de chlore gazeux liquéfié sous pression lorsque la quantité totale susceptible d'être présente est supérieure ou égale à 18 tonnes). Cette obligation peut s'accompagner de la justification du choix quant au positionnement du ou des détecteurs (ex : l'article 7 de l'arrêté du 10 mai 1993 relatif au stockage de gaz inflammables liquéfiés sous pression ; l'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 relatif aux installations de réfrigération employant de l'ammoniac comme fluide frigorigène ; AT n°1134 et/ou 1413 : liquides inflammables). Et certains textes imposent les seuils retenus pour déclencher les mesures de maîtrise des risques (ex : AT n°1136 : emploi ou stockage de l'ammoniac) ainsi que les tests et la maintenance régulière (ex : l'arrêté du 16 juillet 1997 relatif aux installations de réfrigération employant de l'ammoniac comme fluide frigorigène). D'autres textes mentionnent plus de détails, notamment sur les reports d'alarme et les systèmes de transmission et de traitement de l'information (ex : l'article 25 de l'arrêté du 23 juillet 1997 relatif aux stockages de chlore gazeux liquéfié sous pression lorsque la quantité totale susceptible d'être présente est supérieure ou égale à 18 tonnes).

14. CONCLUSION

Ce rapport présente les différentes technologies de détection des gaz dangereux pour l'homme et l'environnement actuellement sur le marché. Il identifie les avantages et les inconvénients de ces différentes technologies pour permettre à l'utilisateur de faire un choix en fonction de son contexte d'utilisation.

Pour que ce choix soit le plus pertinent possible, dans certains cas, il est nécessaire de réaliser des essais pour justifier l'efficacité et le temps de réponse des détecteurs de gaz envisagés. Ces performances initiales doivent être conservées dans le temps, en mettant en place une politique de tests et de maintenance adaptée à chaque contexte d'utilisation.

Un détecteur de gaz portable étant utilisé par un opérateur, ce dernier doit être informé des dangers qui nécessitent l'utilisation du détecteur et formé à son utilisation. Cet aspect de la détection gaz est très souvent oublié aujourd'hui. Concernant les tests et la maintenance des détecteurs fixes et portables, le personnel qui en a la responsabilité doit être qualifié. Cette qualification s'obtient en suivant une formation spécifique dédiée.

Si certains détecteurs de gaz sont couverts par les normes européennes et françaises, et doivent satisfaire leurs exigences pour être sur le marché, celles-là étant un gage en termes de performance, d'autres ne le sont pas. Dans ce dernier cas, des essais sont indispensables pour s'assurer que les performances du détecteur dans son contexte d'utilisation correspondent bien aux attentes.

15. LISTE DES REFERENCES

15.1. Références citées

- [1] N. Ayrault, Évaluation des barrières techniques de sécurité, Oméga 10, DRA35 – Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs, février 2005, 34 pages
- [2] S. Bouchet, Efficacité et temps de réponse des confinements dynamiques lors de fuite de gaz et de fuites diphasiques d'ammoniac, DCE-DRA73 – Évaluation des performances des barrières techniques de sécurité, septembre 2007, 25 pages
- [3] E. Miché, F. Prats, S. Chaumette, Démarche d'évaluation des barrières humaines de sécurité, Oméga 20, DRA35 – Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs, décembre 2006, 45 pages
- [4] A. Wattier, S. Bouchet, Synthèse des résultats de la campagne d'évaluation des détecteurs de gaz ammoniac, DRA39 – Évaluation des dispositifs de prévention et de protection utilisés pour réduire les risques d'accidents majeurs, août 2004, 31 pages
- [5] N. Lépine, A. Wattier, S. Bouchet, Synthèse des résultats de la campagne d'évaluation sur les détecteurs de gaz chlore fixes, DRA-61 – Évaluation semi-quantitative et tests des dispositifs de prévention et de protection utilisés pour réduire les risques d'accidents majeurs, octobre 2006, 25 pages

15.2. Autres documents de référence utiles

- S. Bouchet, Détecteur de chlore : précaution d'emploi, Mesure, Juin 2007, pp 60-63
- M. Molière, P. Cozzarin, S. Bouchet, P. Rech, Catalytic detection of fuel leaks in gas turbine units : Gas fuels containing hydrogen, carbone monoxide and inert, ASME Turbo Expo 2006, May 9-11, Barcelona, Spain, 10 pages
- S. Bouchet, Le besoin d'étalonnage périodique des détecteurs de gaz, ATEX Info, janvier 2006, p 4
- M. Molière, P. Cozzarin, S. Bouchet, P. Rech, Catalytic detection of fuel leaks in gas turbine units : Gaseous and volatile hydrocarbon gas fuels, ASME Turbo Expo 2005, June 6-9, Reno Hilton, Reno-Tahoe, Nevada, USA, 11 pages
- S. Bouchet, Explosimètres, détecteurs de gaz, Techniques de l'ingénieur, doc. R 2 380, 2005, 2 pages
- V. Debuy, S. Bouchet, Des détecteurs de gaz à l'essai (à long chemin optique), Travail et Sécurité, n°646, décembre 2004, pp12-14
- V. Debuy, S. Bouchet, Les détecteurs d'oxygène à l'essai, Travail et Sécurité, n°635, décembre 2003, pp 12-14
- T. Hübert, P. Castello, S. Bouchet, Gas detection experiments, Sub-task IP1.2, D54, HySafe, octobre 2007, 57 pages