

Document de synthèse relatif à une Barrière
Technique de Sécurité (B.T.S.)

Détecteur fixe de gaz chlore (Cl₂)

Version 2 – Décembre 2016

N° DRA-16-156884-08823A

Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.)

Nom du dispositif : Détecteur fixe de gaz chlore (Cl₂)

Document élaboré par : l'INERIS

Personnes ayant participé à l'étude : Véronique Debuy, Ahmed Adjadj

PRÉAMBULE

Les documents de synthèse relatifs à une barrière de sécurité sont la propriété de l'INERIS. Il n'est accordé aux utilisateurs qu'un droit d'utilisation n'impliquant aucun transfert de propriété.

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, ainsi que des pratiques et méthodologies développées par l'INERIS. Bien que l'INERIS s'efforce de fournir un contenu fiable, il ne garantit pas l'absence d'erreurs ou d'omissions.

Ce rapport est destiné à des utilisateurs disposant de compétences professionnelles spécifiques dans le domaine des risques accidentels. Les informations qu'il contient n'ont aucune valeur légale ou réglementaire. Ce sont des informations générales. Elles ne peuvent, en aucun cas, répondre aux besoins spécifiques de chaque utilisateur. Ces derniers seront donc seuls responsables de l'utilisation et de l'interprétation qu'ils feront des rapports. De même, toute modification et tout transfert de ces documents se feront sous leur seule responsabilité.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra, en aucun cas, être engagée à ce titre.

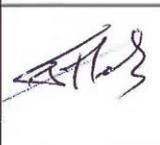
	Rédaction	Relecture	Vérification		Approbation
NOM	Véronique DEBUY	Ahmed ADJADJ	Valérie DE DIANOUS	Frédéric MERLIER	Stéphane DUPLANTIER
Qualité	Responsable du laboratoire Capteurs Direction des Risques Accidentels	Responsable programme Direction des Risques Accidentels	Responsable d'unité Direction des Risques Accidentels	Délégué appui à l'administration Direction des Risques Accidentels	Responsable de pôle Direction des Risques Accidentels
Date	16/12/16	16/12/16	16/12/16	23/12/16	16/12/16
Visa					

TABLE DES MATIÈRES

1. GLOSSAIRE	4
2. FONCTION DE SÉCURITÉ ASSURÉE	7
3. RÉGLEMENTATION ET NORMES APPLICABLES	7
4. DESCRIPTION GÉNÉRALE	8
4.1 Généralités.....	8
4.2 Les composants de l'appareil.....	8
4.3 Propriétés du chlore.....	9
4.4 Technologie de détection des détecteurs de chlore.....	11
4.4.1 Technologie électrochimique.....	11
4.4.2 Autre technologie possible.....	12
4.4.2.1 Technologie colorimétrique.....	12
4.4.2.2 Spectroscopie d'absorption par diode laser accordable.....	12
4.4.3 Les gammes de mesure.....	13
5. PARAMÉTRAGE DES DÉTECTEURS	14
5.1 Séquence de diagnostic non modifiable.....	14
5.2 Paramètres modifiables par l'utilisateur.....	14
5.2.1 Les seuils d'alarme/de déclenchement.....	14
5.2.2 Temporisation.....	15
5.2.3 Délai de désactivation.....	15
5.2.4 Intervalle d'étalonnage.....	15
6. MAINTENANCE, TEST ET CALIBRAGE	16
6.1 Maintenance.....	16
6.2 Test et calibrage : vérification avec calibrage si nécessaire.....	18
7. CRITÈRES D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES	22
7.1 Efficacité.....	22
7.2 Temps de réponse.....	22
7.3 Niveau de confiance.....	25
8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	26
9. LISTE DES ANNEXES	27

1. GLOSSAIRE

Barrière technique de sécurité (ou mesure technique de sécurité ou mesure de maîtrise des risques) : ensemble d'éléments techniques nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité.

Calibrage (ou étalonnage) : réglage ou caractérisation de la réponse d'un détecteur à partir d'un gaz étalon.

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.

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 : aptitude à remplir la fonction de sécurité pour laquelle elle a été choisie, dans son contexte d'utilisation et pendant une durée de fonctionnement.

Étalonnage : vérification et/ou ajustement de la réponse du détecteur (exactitude de la lecture, dérive du zéro, linéarité de la lecture, du temps de réponse) en utilisant un étalon certifié selon les recommandations du fabricant et des règles élémentaires de base.

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 de sécurité, de barrières organisationnelles (activités humaines), ou plus généralement par la combinaison des deux. Une même fonction peut être assurée par plusieurs barrières de sécurité.

Gaz étalon : gaz dont on connaît la concentration avec une grande exactitude pour réaliser la vérification des détecteurs de gaz. Une bouteille de gaz étalon est fournie avec son certificat d'étalonnage.

Gaz de référence : gaz à détecter.

Gaz de substitution : utilisation d'un autre gaz que le gaz de référence pour réaliser la vérification et le calibrage.

Interférent : gaz parasite qui réagit sur le détecteur de gaz en engendrant une sous-estimation ou une surestimation de la concentration du gaz à détecter. Ils peuvent provoquer des déclenchements intempestifs.

Partie par million (ppm) : concentration de gaz exprimée en volume telle que $1 \text{ ppm} = 10^{-4} \% \text{ v/v}$. Un taux de 1 ppm de gaz signifie qu'un cm^3 de gaz (ou de vapeur) est présent dans 1 million de cm^3 de mélange de gaz. Le ppm est utilisé pour caractériser des taux volumiques faibles.

Poison : produit ou substance (solvants, lubrifiants, etc.) qui contamine et endommage provisoirement, voire définitivement, les détecteurs de gaz.

Safety Integrity Level (SIL) : Niveau quantifié (de 1 à 4) permettant de définir les exigences d'intégrité de sécurité des fonctions instrumentées de sécurité à allouer aux systèmes instrumentés de sécurité. Le niveau 4 d'intégrité de sécurité correspond au plus haut degré d'intégrité, le niveau 1 au plus bas. Les SIL sont définis dans les normes NF EN 61508 et 61511 pour les systèmes instrumentés de sécurité.

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.

Sensibilisation : exposition au gaz de référence.

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

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 (d'une barrière de sécurité) : intervalle de temps entre la sollicitation et l'exécution de la mission/fonction de sécurité. Ce temps de réponse est inclus dans la cinétique 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.

Temps de réponse (d'un détecteur de gaz) : intervalle de temps entre le moment où une augmentation instantanée du titre volumique se produit à l'entrée du capteur et le moment où la réponse atteint une valeur définie de x % de l'indication finale.

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.

Temps de déclenchement des alarmes : intervalle de temps entre le moment où le détecteur est soumis à une variation de concentration de gaz et le moment où les alarmes réglées à des seuils déterminés se déclenchent (allumage d'une DEL et/ou l'activation d'un relais).

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 Professionnelle (VLEP) : concentration de polluant dans l'air à ne pas dépasser dans l'atmosphère des lieux de travail. Cette valeur peut être soit une valeur limite admise (VL) à caractère indicatif, soit une valeur réglementaire contraignante (VRC) ou indicative (VRI) [1]. Les VLCT et VME sont des VLEP.

Valeur limite d'exposition à court terme (VLCT) : concentration dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé sans risque d'altération de sa santé (valeurs mesurées sur une durée de référence de 15 minutes, sauf indication contraire, et exprimées en ppm ou mg/m³). Les valeurs sont publiées par le Ministère chargé du Travail [1].

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. Les valeurs sont publiées par le Ministère chargé du Travail [1].

2. FONCTION DE SÉCURITÉ ASSURÉE

Les détecteurs fixes de gaz chlore sont utilisés comme premiers maillons d'une barrière instrumentée de sécurité pour détecter les fuites de chlore en mesurant la concentration de gaz en un point donné. Ces appareils assurent la sous-fonction de sécurité « *détection de gaz* ».

3. RÉGLEMENTATION ET NORMES APPLICABLES

En matière de certification et de normalisation, les détecteurs de gaz sont conformes aux directives européennes Compatibilité électromagnétique (2004/108/CE) et Basse Tension (2006/95/CE), ainsi qu'aux normes harmonisées correspondantes. La plupart ont également fait l'objet d'une évaluation de conformité SIL, par un organisme tierce partie, aux exigences de sécurité fonctionnelle de la norme CEI 61508 [2].

En Europe, les détecteurs de gaz peuvent également être couverts par la Directive ATEX (94/9/CE) s'ils sont destinés à être utilisés dans une zone ATEX. Dans ce cas, ils doivent satisfaire la série des normes EN 45544-1 à 4 : « *Atmosphères des lieux de travail - Appareillage électrique utilisé pour la détection directe des vapeurs et gaz toxiques et le mesurage direct de leur concentration* ».

Ces quatre normes spécifient les exigences, les méthodes d'essais, les critères de performances et les critères de maîtrise sur site pour les détecteurs de vapeurs et gaz toxiques :

- EN 45544-1 : exigences générales et méthodes d'essai ;
- EN 45544-2 : exigences de performance pour les appareillages utilisés pour le mesurage des concentrations de l'ordre des valeurs limites ;
- EN 45544-3 : exigences de performance pour les appareillages utilisés pour le mesurage des concentrations très supérieures aux valeurs limites ;
- EN 45544-4 : guide de sélection, d'installation, d'utilisation et d'entretien.

4. DESCRIPTION GÉNÉRALE

4.1 GÉNÉRALITÉS

Un détecteur de gaz est un appareil qui fournit en temps réel une indication de la concentration d'un gaz en un point donné de l'atmosphère d'un local (ou dans une zone, pour certains d'entre eux) ; il peut également ne fournir qu'un signal de dépassement de seuil pour la concentration de ce gaz dans l'air. Chaque appareil est spécifique du ou des gaz indiqués par le fabricant et doit être étalonné périodiquement.

4.2 LES COMPOSANTS DE L'APPAREIL

Tout détecteur de gaz fixe comporte un capteur et un circuit électronique, plus ou moins complexe, qui transforme le signal délivré par l'élément sensible (le capteur) en un signal électrique utilisable. Ce signal permet de déclencher une alarme, visuelle et/ou sonore, et peut également dans certains cas générer une action, comme l'arrêt d'un procédé, la fermeture d'une vanne par l'intermédiaire ou non d'un système de traitement. Le circuit électronique peut comporter des microprocesseurs qui traitent le signal de façon à donner les alarmes correspondantes sur les détecteurs de gaz toxiques.

De plus, les appareils peuvent comporter un afficheur et des signaux visuels qui indiquent le bon fonctionnement, un défaut de l'appareil et l'alarme.

Le fonctionnement des détecteurs fixes est continu.

Les détecteurs fixes peuvent fonctionner sur le secteur ou sur une alimentation continue de 24 volts par exemple.

L'échantillonnage de l'atmosphère par l'appareil se fait soit par diffusion, soit par pompage électrique. Il est réalisé directement autour du capteur ou de l'appareil ou par l'intermédiaire d'une canne souple, rigide ou télescopique. Un appareil peut fournir des indications différentes en fonction des options choisies :

- une alarme uniquement : celle-ci se déclenche lorsque la concentration passe au-dessus d'un seuil fixé,
- une indication de concentration sur un afficheur avec un ou plusieurs niveaux pré-réglés d'alarme,
- une sortie analogique 4-20 mA qui permet de transmettre les valeurs de la concentration de gaz mesurée et des informations sur des défauts potentiels du détecteur,
- une autre interface communicante éventuelle permettant la maintenance de l'appareil...

Les détecteurs fixes sont munis d'une tête de détection. Ils sont installés à demeure dans des locaux ou sur des équipements et reliés à l'unité centrale de traitement.

4.3 PROPRIÉTÉS DU CHLORE

Le chlore présente la caractéristique d'être un gaz toxique à la pression atmosphérique et à température ambiante. Il est souvent stocké sous forme liquide à sa pression de vapeur saturante.

Les principales propriétés et seuils de toxicité du chlore sont reportés dans le Tableau 1.

Caractéristiques		Cl ₂
Masse molaire en g/mol		70,91
Pression de vapeur à 20°C (kPa)[5]		670
Seuils de toxicité aiguë par inhalation(ICPE) [7][8]		
Seuils à 10 min (en ppm)	SELS ¹	324
	SEL ²	280
	SEI ³	41
Seuils à 30 min (en ppm)	SELS	183
	SEL	160
	SEI	25
Toxicité (exposition travailleur) [10]		
VLEP ⁴ France (en ppm)	VME	-
	VLCT	0,5
Explosivité [10]		
LIE (en %)		-
LSE (en %)		-

Tableau 1 : Principales propriétés et seuils toxiques du gaz chlore

¹ SELS : Seuil des Effets Létaux Significatifs.

² SEL : Seuil des Premiers Effets Létaux

³ SEI : Seuil des Effets Irréversibles

⁴ VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle.

Réf. INERIS - DRA-16-156884-08823A

Substances toxiques Détecteur fixe de gaz chlore_V2

A ce jour, des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP) contraignantes dans l'air des locaux de travail ont été établies en France pour le chlore [10] :

- 0,5 ppm soit 1,5 mg/m³ (VLCT).

À titre d'information, voici quelques valeurs limites d'exposition indicatives [10]:

- Union européenne : 0,5 ppm soit 1,5 mg/m³ (VLCT)
- États-Unis (ACGIH) : 0,5 ppm (TLV-TWA)
1 ppm (TLV-STEL)
- Allemagne (MAK) : 0,5 ppm soit 1,5 mg/m³

Les Seuils des premiers Effets Létaux (SEL correspondant à une létalité de 1 %) et les Seuils des Effets Irréversibles (SEI) ont été développés dans le cadre d'une méthodologie française [6][7]. Ces seuils sont utilisés comme valeurs de référence pour le calcul des zones d'effets d'une émission accidentelle de substances dangereuses dans les études de dangers des installations classées. Les seuils pour les Effets Létaux Significatifs (SELS correspondant à une létalité de 5 %) sont également disponibles [8].

4.4 TECHNOLOGIE DE DÉTECTION DES DÉTECTEURS DE CHLORE

La principale technologie de détection pour ce gaz toxique est la technologie électrochimique (Cf. 4.4.1), évaluée lors d'une campagne d'essai qui s'est déroulée en 2006 et dont l'objectif était de déterminer les facteurs d'influence sur les performances (l'efficacité et le temps de réponse) des détecteurs de chlore [9].

Les paragraphes suivants présentent les différentes technologies que l'on peut rencontrer pour la détection de chlore. Le principe de fonctionnement et les conditions d'utilisation de ces technologies sont détaillés dans l'Oméga 22 [3].

4.4.1 TECHNOLOGIE ÉLECTROCHIMIQUE

La détection électrochimique repose sur le principe de la pile électrochimique : il se produit une réaction d'oxydo-réduction dans une cellule comportant 2 à 3 électrodes dans une solution liquide conductrice (électrolyte).

La cellule à 3 électrodes est la plus répandue, elle équipe 80% des appareils testés.

Le schéma de principe est présenté sur la Figure 1.

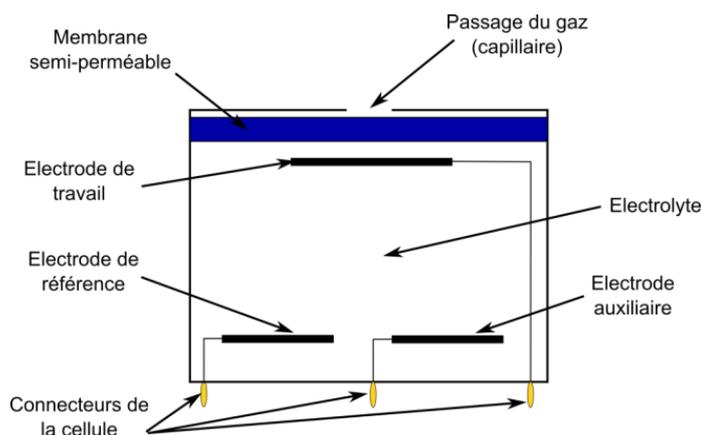


Figure 1 : Schéma de principe d'une cellule électrochimique à 3 électrodes

Les cellules se composent généralement des éléments suivants :

- **Les électrodes** : elles sont au nombre de deux ou trois électrodes (auxiliaires, de travail et éventuellement de référence) et sont généralement composées de métaux nobles permettant d'assurer une réaction efficace avec le gaz à détecter.
- **L'électrolyte** : il permet de faciliter la réaction et de transporter la charge ionique entre les électrodes (typiquement une solution acide ou saline).
- **La membrane** : elle permet de couvrir les électrodes et de filtrer l'eau et/ou les particules ainsi que de prévenir des fuites éventuelles de l'électrolyte. De nombreux modèles sont dotés d'un capillaire. La taille du capillaire permet de contrôler la quantité de gaz atteignant les électrodes.

- **Le filtre** : son objectif est de filtrer les interférents en absorbant physiquement ou réagissant chimiquement avec certaines molécules de gaz interférentes.

Une réaction d'oxydo-réduction se produit en présence du gaz à détecter, générant un courant électrique, de l'ordre de 0,1 à 1 μA , aux bornes des deux électrodes. Comme la quantité de gaz entrant dans la cellule est limitée par le capillaire, ce courant est proportionnel à la concentration du composé mesuré.

L'électrode de référence permet d'éviter les dérives dans la mesure, dues à la création de barrières de charges d'espace (défaut de mobilité des ions en particulier). Une tension, appliquée sur l'électrode de référence, oblige l'électrode de travail à garder un potentiel constant par rapport cette électrode de référence.

La taille, la géométrie, les composants et le dimensionnement des cellules électrochimiques varient en fonction des fabricants et des versions de matériel.

4.4.2 AUTRE TECHNOLOGIE POSSIBLE

4.4.2.1 TECHNOLOGIE COLORIMÉTRIQUE

Le principe de fonctionnement repose sur l'adsorption et la réaction du gaz avec un réactif chimique supporté, généralement sous la forme d'une bande de papier, entraînant un changement de couleur du réactif chimique en présence du gaz. Le changement de couleur est détecté électroniquement, généralement à l'aide d'une technique de diffusion de lumière.

Les réactifs sont spécifiques au gaz à détecter. En fonction de la concentration de gaz présente, la coloration est plus ou moins étendue et / ou intense.

4.4.2.2 SPECTROSCOPIE D'ABSORPTION PAR DIODE LASER ACCORDABLE

La Spectroscopie d'Absorption est une technique de mesure non-intrusive des milieux gazeux. Elle est basée sur l'absorption de la radiation émise par une source de lumière bien définie spectralement sur son chemin optique vers le détecteur. La perte d'intensité de lumière est une mesure de la concentration du gaz absorbant. Plus il y a de molécules sur le trajet du faisceau, plus la lumière sera absorbée. L'absorption de la lumière est spécifique à la molécule étudiée et à la longueur d'onde de la lumière. Le choix de la longueur d'onde détermine le type de molécule détectée.

La Spectroscopie d'Absorption par Diode Laser Accordable est très sensible et sélective pour la détection de molécules telles que Cl_2 . Cette technique mesure la concentration des molécules, en utilisant une analyse spectrale sophistiquée des fréquences d'absorption et de ses harmoniques (appelée « empreinte du gaz »).

Cette technologie est intégrée à des détecteurs à chemin optique ouvert (ou barrières linéaires), le chemin optique pouvant varier selon les gaz de quelques mètres à une centaine de mètre. L'unité de mesure est le LIE.m ou le ppm.m.

4.4.3 LES GAMMES DE MESURE

Les gammes de mesure usuelles des détecteurs de gaz chlore sont 0-5 ppm ou 0-10 ppm de Chlore.

5. PARAMÉTRAGE DES DÉTECTEURS

Les détecteurs de gaz (avec électronique embarquée) peuvent être paramétrables par l'utilisateur. De façon générale, les paramètres modifiables par l'utilisateur sont :

- les seuils d'alarme/de déclenchement,
- la temporisation,
- le délai de désactivation,
- l'intervalle (ou périodicité) d'étalonnage.

Certains détecteurs peuvent également être dotés de séquence de diagnostic pour les problèmes d'électronique et/ou de cellules. Ces diagnostics sont normalement non modifiables par l'utilisateur.

5.1 SÉQUENCE DE DIAGNOSTIC NON MODIFIABLE

Les diagnostics embarqués dans les détecteurs de gaz permettent de vérifier si la cellule est présente, sèche, en court-circuit...etc. Ils permettent également de détecter des problèmes d'alimentation, de communication, d'électronique et signalent les valeurs hors-échelle.

Généralement, certains diagnostics sont exécutés automatiquement à la mise en marche ou lorsqu'une cellule est remplacée et d'autres suivant une périodicité fixée dans le détecteur (voir fiche technique).

En cas de détection de défaut, un code d'erreur s'affiche sur le détecteur et un signal en sortie du détecteur est renvoyé (signal qui peut être repris pour un affichage en salle de contrôle ou autre).

Ces séquences de diagnostics ne dispensent pas d'effectuer les vérifications régulières de bon fonctionnement et d'étalonnage.

5.2 PARAMÈTRES MODIFIABLES PAR L'UTILISATEUR

5.2.1 LES SEUILS D'ALARME/DE DÉCLENCHEMENT

Les seuils d'alarmes / de déclenchement correspondent aux seuils de sécurité définis au regard de la fonction de sécurité à assurer. Ils doivent être clairement définis par l'utilisateur du détecteur et seront :

- soit réglés en usine par le fournisseur,
- soit réglés sur site par l'installateur ou par l'utilisateur.

Il est donc important que l'utilisateur vérifie, sur site, la réaction adéquate du détecteur à ces seuils de sécurité.

5.2.2 TEMPORISATION

La temporisation est un paramètre que l'utilisateur peut ajuster afin de laisser un certain temps entre le moment où le détecteur détecte la présence de gaz et le moment où il déclenche les alarmes. Cette fonctionnalité est, en général, utilisée pour prendre en compte des contraintes de conduite de procédé.

Généralement, la temporisation est réglée à zéro par défaut. Vis-à-vis de l'objectif de maîtrise des risques recherché, il est préférable de ne pas ajouter une temporisation dans le fonctionnement d'un détecteur de gaz, car au niveau d'une fonction de sécurité, il est important de pouvoir détecter le plus rapidement possible tout risque de situation dangereuse.

Lorsque l'utilisateur modifie ce paramètre, ce temps supplémentaire de réaction du détecteur est à rajouter au temps de détection.

5.2.3 DÉLAI DE DÉSACTIVATION

Un détecteur de gaz peut être désactivé (sortie désactivée) pendant un certain temps pour permettre de réaliser les opérations de test et de réglage. Pendant ce temps de désactivation, le détecteur n'est plus en mode de surveillance et il ne sera pas capable de détecter la présence de gaz en cas de fuite.

Lorsqu'un délai de désactivation est défini, il est important pour l'industriel, d'une part, de s'assurer que le détecteur est bien revenu en mode de surveillance après ce délai, et d'autre part, de s'assurer que la sécurité est toujours assurée pendant ce temps d'indisponibilité du détecteur (redondance, mesures compensatoires, etc.).

5.2.4 INTERVALLE D'ÉTALONNAGE

L'intervalle d'étalonnage (périodicité de test) peut être réglé dans le détecteur afin d'avertir que l'échéance de vérification a été dépassée. Cette période est, généralement, réglée par défaut par le fabricant (voir fiche technique du détecteur) et peut être modifiée par l'utilisateur.

Généralement, trois options sont disponibles pour indiquer que l'échéance d'étalonnage a été dépassée :

- aucun avertissement,
- avertissement sur l'affichage du détecteur uniquement,
- avertissement sur l'affichage du détecteur et renvoi d'un signal en sortie du détecteur (signal qui peut être repris pour un affichage en salle de contrôle ou autre).

6. MAINTENANCE, TEST ET CALIBRAGE

6.1 MAINTENANCE

Les détecteurs de gaz sont des dispositifs assurant des fonctions de sécurité (par exemple pour la maîtrise des risques) et, à ce titre, ils doivent faire l'objet d'une politique de maintenance.

La définition de cette politique de maintenance peut reposer sur :

- des exigences normatives,
- des standards internes,
- des exigences du fournisseur,
- un retour d'expérience interne ou externe,

Il est donc important d'avoir une gestion adaptée pour maintenir la performance de ces détecteurs dans le temps. Cette gestion (via par exemple une GMAO, SGS, etc.) doit prendre en compte les aspects suivants :

- procédures,
- ressources techniques (moyens et outils adaptés et étalonnés),
- compétence,
- pièces de rechanges (cellule, détecteur, ...),
- traçabilité des vérifications et des tests réalisés,
- enregistrements des résultats ; les fausses alarmes, les défaillances et les dérives doivent être enregistrées et analysées pour améliorer la détection de gaz (optimisation du maillage, optimisation de la fréquence des tests, définition de la fiabilité, ...),
- vérifications ou évaluations;
- gestion des modifications (réalisation d'une analyse d'impact, circuit d'autorisation, mise en place d'un moyen compensatoire, ...),

Ces opérations de maintenance, en plus des opérations de tests et de calibrages (cf. paragraphe 6.2 suivant), doivent comprendre :

- la vérification de l'intégrité physique des détecteurs (examen visuel),
- la vérification du bon état des câblages et des connectiques,
- toutes les vérifications et actions de maintenance préventive préconisées par le constructeur des détecteurs (par exemple : vérification des systèmes de prélèvement s'il y en a, nettoyage de certaines parties, changement des batteries, des filtres dans les cellules, des cellules, ...).

La maintenance évoquée ici est une maintenance légère. Pour toute autre réparation, l'appareil doit être obligatoirement expédié chez le constructeur.

Toutes les opérations de test et de maintenance doivent être réalisées en respectant le ou les modes opératoires spécifiques prévus par le constructeur.

Les opérations de vérification et d'entretien des détecteurs nécessitent une structure minimale dans laquelle les opérateurs doivent avoir les compétences nécessaires. L'industriel doit donc s'assurer de la compétence des personnes assurant ces activités. Elles doivent être réalisées par du personnel qualifié par des formations adaptées et conformément aux prescriptions des constructeurs indiquées dans les notices des appareils.

La compétence doit comprendre la connaissance :

- des différents principes de fonctionnement des capteurs,
- des performances des appareils,
- du fonctionnement du système complet,
- des limites d'utilisation,
- des règles essentielles de maintenance,
- des règles essentielles de calibrages (respect du gaz de calibrage, masque d'injection adapté, débit du gaz, etc.),
- de la manipulation des gaz.

Lorsque ces activités de vérification et de maintenance des détecteurs sont confiées à une entreprise extérieure (le fournisseur ou autre), celle-ci doit gérer les mêmes contraintes. L'industriel doit fixer des exigences sur la compétence dans son contrat de maintenance.

Toutes les opérations de test et de maintenance doivent être tracées, permettant ainsi de constituer un retour d'expérience sur les détecteurs, même si elles sont sous-traitées. Il est recommandé que l'exploitant ou le sous-traitant tienne à jour une fiche de suivi pour chaque détecteur permettant de tracer l'ensemble des opérations et des événements (vérifications, calibrages, maintenances, incidents, etc.). Dans ces fiches doivent figurer notamment les renseignements suivants :

- indication de l'appareil,
- date et nature des contrôles réalisés (remplacement des pièces, nettoyage, vérification, ...),
- résultat du contrôle (déclenchement des alarmes, temps de réaction, ...), au départ puis après un calibrage le cas échéant,
- numéro des bouteilles de gaz étalon,
- date et nature d'événements inhabituels (présence de gaz, autres interventions sur le site, incidents divers).

6.2 TEST ET CALIBRAGE : VÉRIFICATION AVEC CALIBRAGE SI NÉCESSAIRE

Les détecteurs de gaz peuvent intégrer des fonctions d'auto-tests. Ces auto-tests permettent de tester de nombreux paramètres "électroniques" (certains l'affichent sur l'écran). En revanche, ils ne permettent pas de s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil en présence de gaz.

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.

Les détecteurs de gaz dérivent dans le temps et leur fonctionnement peut être altéré par des paramètres extérieurs (interférents, poisons, humidité, température, poussière, ...). Il est donc indispensable de vérifier périodiquement leur bon fonctionnement, et le cas échéant, de réaliser les opérations de calibrage et/ou maintenance adéquates.

La vérification consiste, via la coiffe d'étalonnage et à l'aide d'une bouteille de gaz étalon, à vérifier :

- Que les alarmes se déclenchent aux seuils définis ;
- Que le temps de réaction est en adéquation avec le temps de réponse défini ;
- Que l'indication finale indique bien la concentration du gaz étalon avec une certaine incertitude (par exemple, à plus ou moins 10% près).

La bouteille de gaz étalon doit couvrir tous les seuils de déclenchement des alarmes.

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

Il existe sur le marché, pour certains gaz, des appareils fixes « auto-testés avec gaz cible », 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 de 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.

Les périodicités de tests et de maintenance des détecteurs de gaz ne font généralement pas l'objet d'une réglementation particulière. Elles varient en fonction de la technologie de détection, de la nature des appareils (fixes ou portables), des constructeurs, du contexte d'utilisation.... Elle est donc "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.

La fréquence de tests et de maintenance des détecteurs de gaz est alors fonction du retour d'expérience obtenu avec les tests et des prescriptions des constructeurs.

Un détecteur de chlore doit être vérifié très régulièrement (de l'ordre à 3 mois) si l'utilisateur veut maintenir une réponse adaptée en cas de fuite.

Une vérification plus fréquente est recommandée, pour des installations pour lesquelles les conditions de mesure sont difficiles (conditions ambiantes sévères par exemple).

Pour les détecteurs électrochimiques, la durée de vie des cellules est limitée et il faudra prendre en compte les prescriptions des fabricants

Lors de la vérification d'un détecteur à l'aide d'un gaz étalon, plusieurs situations peuvent être constatées. Les situations liées aux problèmes d'endormissement et de dérive des détecteurs sont présentées dans le tableau suivant. Ce tableau ne présente pas toutes les autres situations liées aux défaillances de l'électronique, de l'alimentation, du câblage...

	Résultats du test de vérification	Conclusion	Actions à entreprendre
1	La mesure est identique à la concentration de gaz appliquée et le temps de réaction du détecteur est identique au T90 annoncé par le fabriquant.	Détecteur opérationnel (courbe bleue)	-
2	La mesure est identique à la concentration de gaz appliquée et le temps de réaction du détecteur dépasse les limites acceptables du T90 annoncé par le fabriquant.	Endormissement du détecteur (courbe rouge)	Repasser du gaz ou changer le capteur
3	La mesure dépasse les limites acceptables de la concentration de gaz appliquée et le temps de réaction du détecteur est identique au T90 annoncé par le fabriquant.	Dérive du détecteur	Procéder à l'étalonnage
4	La mesure dépasse les limites acceptables de la concentration de gaz appliquée et le temps de réaction du détecteur dépasse les limites acceptables du T90 annoncé par le fabriquant.	Dérive et Endormissement du détecteur (courbe verte)	Repasser du gaz et procéder à l'étalonnage

Tableau 1 : Situations rencontrées après vérification du détecteur et actions à entreprendre.

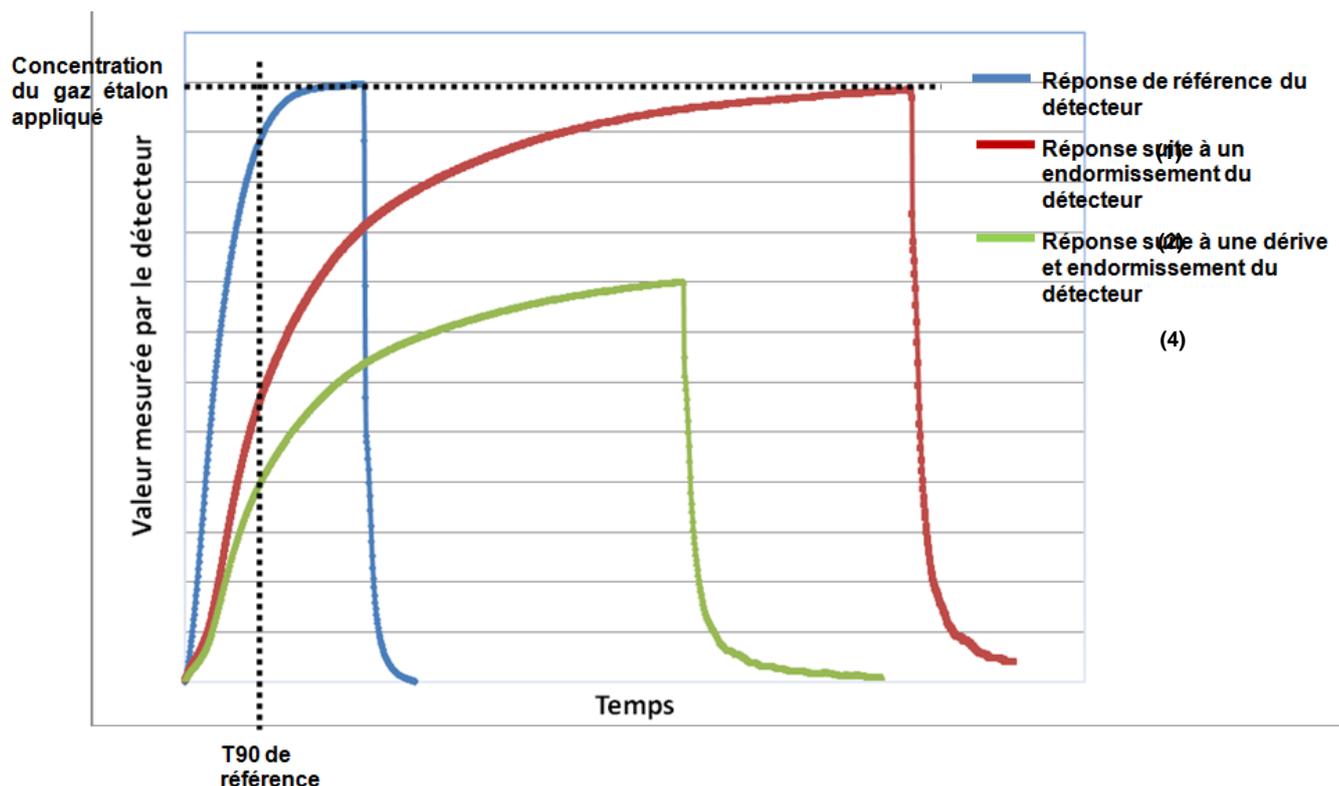


Figure 2 : Illustration des réponses d'un détecteur de gaz.

Après l'étalonnage, si la mesure est toujours inexacte et, après analyse, il faudra remplacer la cellule du détecteur, voire le détecteur.

Par ailleurs, il convient de distinguer deux types d'opérations de maintenance. Le premier type concerne les aspects électriques et mécaniques du détecteur, c'est-à-dire la vérification du bon fonctionnement sous tension, de la transmission correcte des données, le remplacement de pièces, le nettoyage. Ces opérations peuvent être réalisées par l'utilisateur au même titre que celles concernant d'autres appareils de contrôle ou organes de sécurité. La périodicité sera définie grâce aux manuels et documents d'utilisation du détecteur de gaz.

Les autres opérations de maintenance sont spécifiques aux détecteurs de gaz. Il s'agit essentiellement de vérifier que la mesure donnée par le détecteur est conforme aux spécifications initiales. Si l'appareil n'est pas conforme (décalage du zéro, dérive de la sensibilité) il faut alors procéder au calibrage et, périodiquement, remplacer les éléments sensibles s'il y a lieu. Cependant, cette vérification périodique des détecteurs nécessite au minimum un gaz étalon ce qui implique de gérer et d'entretenir des bouteilles de gaz.

7. CRITÈRES D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES

7.1 EFFICACITÉ

L'efficacité d'une fonction de détection de fuite de gaz chlore par des détecteurs fixes sera appréciée en fonction de son contexte d'utilisation et des éléments suivants :

- la spécificité et le calibrage du détecteur au gaz détecté (Cl_2),
- l'implantation des détecteurs (emplacement et nombre),
- la cohérence des seuils de détection et d'alarmes fixés avec l'analyse des risques faite sur l'installation à protéger,
- la spécification des détecteurs vis-à-vis des contraintes spécifiques (la température, l'humidité, les gaz interférents...),
- les gaz interférents.

Les paramètres d'influence sur l'efficacité des détecteurs de gaz chlore relevés lors des essais [9] sont :

- le débit de calibrage,
- la température,
- l'humidité,
- la pression,
- les gaz interférents (H_2S , SO_2 , NO , NO_2).

L'influence du débit de calibrage montre l'importance de respecter les consignes du constructeur lors du calibrage, en particulier pour la méthode à appliquer : il est indispensable d'utiliser la coiffe du constructeur ainsi que le débit de gaz recommandé. Toutefois les consignes ne sont pas toujours indiquées explicitement.

Les principaux résultats issus des essais réalisés par l'INERIS [9] [11] sont reportés dans le tableau en ANNEXE de cette fiche.

7.2 TEMPS DE RÉPONSE

Le temps de réponse d'une barrière de sécurité, constituée par un détecteur de gaz, un système de traitement et des actionneurs, est l'intervalle de temps entre le moment où le détecteur est soumis à une variation de concentration de gaz et le moment où la fonction de sécurité assurée par cette barrière est réalisée dans son intégralité [4]. Ces actions de sécurité dépendent du temps de déclenchement d'alarme du détecteur de gaz et des temps de mise en œuvre des actions de sécurité (fermeture d'une vanne, etc...).

Pour un détecteur de gaz, le temps de réponse est le temps entre le moment où le capteur est mis en présence d'une concentration de gaz et le moment où l'indication de concentration donnée par le détecteur atteint un certain pourcentage de l'indication finale, correspondant à cette concentration. Ce pourcentage est souvent égal à 90% (T90) ou bien 50% (T50).

Les temps de réponse et déclenchement d'alarme d'un détecteur de gaz dépendent :

- de la réactivité de l'élément sensible exposé à l'atmosphère à surveiller à travers différentes membranes de protection (filtres, grille, film anti-condensation) qui génèrent un délai de diffusion des gaz pour des faibles concentrations ;
- de la vitesse avec laquelle le gaz s'établit autour ou à la surface de l'élément sensible qui dépend de l'implantation/maillage des détecteurs ;
- de la concentration du gaz qui s'établit par diffusion autour ou à la surface de l'élément sensible ;
- du phénomène d'endormissement (en particulier pour la technologie électrochimique) ;
- de la temporisation du détecteur (si pertinent).

Le temps de réponse est généralement déterminé par les constructeurs en mode dynamique (à l'aide de la coiffe d'étalonnage). Il peut être très différent en mode statique (par diffusion). Les temps de déclenchement des alarmes ne sont pas des données indiquées par les constructeurs.

Les détecteurs sont calibrés en dynamique, c'est-à-dire en injectant un débit de gaz chlore constant. Les résultats des essais réalisés en 2014 par l'INERIS [11] sur des détecteurs électrochimiques de Cl₂ (gamme de mesure 0-10 ppm ou 0-15 ppm) ont montré que la réponse et le temps de réponse, dans la gamme de mesure de l'appareil, peuvent être très différents, en mode de mesure statique (par diffusion) :

- La réponse des appareils en dynamique (mesures à l'aide de la coiffe de calibrage au débit préconisé par les constructeurs) est conforme à 10% près à la concentration de gaz appliquée, pour tous les appareils. Les temps de réponse sont conformes aux indications des constructeurs pour tous des appareils testés.
- Lors d'une mesure en mode d'exposition statique (par diffusion), la réponse des appareils est diminuée de 40 à 60% pour 60% des appareils, la mesure de temps de réponse n'est pas pertinente dans ce cas.
- Le temps de déclenchement de l'alarme réglée à 1 ppm et avec un gaz d'essai de 50% de la gamme de mesure (soit 5 ou 7,5 ppm Cl₂) est :
 - inférieur à 6 s en mode d'exposition dynamique,
 - inférieur à 9 s en mode d'exposition statique (par diffusion).

En présence de fortes concentrations (supérieures ou égales à la gamme de mesure des détecteurs) en mode d'exposition statique, ces essais ont également montré que les temps de déclenchement d'alarme sont plus rapides en mode d'exposition statique (par diffusion) :

- < 4 s pour déclencher l'alarme réglée à 1 ppm en présence d'une concentration égale à la gamme de mesure,
- < 3 s pour déclencher l'alarme réglée à 1 ppm en présence d'une concentration égale à 5 à 20 fois la gamme de mesure,
- après 3 mois sous air, ce temps est inférieur à 5 s pour déclencher l'alarme réglée à 1 ppm en présence d'une concentration égale à 5 fois la gamme de mesure.

Le temps de réponse d'un détecteur fixe de gaz chlore peut varier de quelques secondes à plus d'une minute (70 s mesuré au maximum).

Dans le cas d'une fuite majeure, avec des concentrations très importantes (supérieures à la gamme de mesure du détecteur), le temps de réponse et le temps de déclenchement des alarmes seront plus rapides.

Les principaux résultats issus des essais réalisés par l'INERIS [9] [11] sont reportés dans le tableau en ANNEXE de cette fiche.

7.3 NIVEAU DE CONFIANCE

En règle générale, les détecteurs fixes de gaz industriels rencontrés sur le marché sont certifiés SIL2 selon la norme CEI 61508 [1] et le niveau de confiance qu'on leur accorde est donc NC2 si les exigences d'efficacité et de temps de réponse sont remplies et s'ils font l'objet d'une politique de tests et de maintenance adaptée (Cf. Paragraphe 6).

En revanche, lorsque qu'ils ne sont pas certifiés selon la norme CEI 61508 [2], une évaluation conformément au référentiel Oméga 10 [4] permettra de préciser le NC. Un niveau de confiance entre 1 et 2 peut être retenu lorsque les exigences d'efficacité, de temps de réponse et de tests/maintenance sont remplies.

Par défaut un NC de 1 est retenu en l'absence de justification, si les exigences d'efficacité et de temps de réponse sont remplies et si les détecteurs font l'objet d'une politique de tests et de maintenance adaptée (Cf. Paragraphe 6).

8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. INRS - Aide mémoire technique ED 984 - Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France - 2012.
- [2]. CEI 61508 - Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques / électroniques / électroniques programmables relatifs à la sécurité
- [3]. S. BOUCHET - RAPPORT D'ÉTUDE N° INERIS-DRA-08-86244-13727B Ω 22 - Principes et techniques pour la détection des gaz - 2009.
- [4]. N.LE et V. DE DIANOUS - RAPPORT D'ÉTUDE INERIS N° DRA-08-95403-01561B – Ω 10 – Evaluation des barrières techniques de sécurité - 2008.
- [5]. NIST – Webbook de chimie - Base de données standard de référence NIST numéro 69 - Chlorine
- [6]. A. BAULIG, G. VINCENT - RAPPORT D'ÉTUDE INERIS N°DRC-07-82347-07520A - Méthodologie de détermination des valeurs seuils de toxicité aiguë françaises en cas d'émission accidentelle de substances chimiques dans l'atmosphère - 2007
- [7]. S. TISSOT, A. PICHARD – RAPPORT D'ETUDE N°INERIS-DRC-00-25425-ETSC- STi - 00DR027_vers1 – Seuils de Toxicité Aiguë Chlore (CL₂), 2000.
- [8]. S. TISSOT – RAPPORT D'ETUDE N°INERIS-DRC-04-4702-ETSC-STi-04DR114 – Détermination des seuils d'effets létaux 5% dans le cadre des réflexions sur les PPRT, 2004.
- [9]. S. BOUCHET, N. LÉPINE, A. WATTIER – Synthèse des résultats de la campagne d'évaluation sur les détecteurs fixes de gaz chlore, 2006.
- [10]. INRS – Fiche Toxicologique FT 51 – Chlore – Édition 2008.
- [11]. V. DEBUY, N. LEPINE. Synthèse des résultats de l'étude sur les détecteurs de gaz toxiques à poste fixe en situation accidentelle – Rapport N° DRA-14-142054-06654A, 2015.

9. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nb pages
Annexe A	Facteurs d'influence sur l'efficacité et le temps de réponse des détecteurs fixes de chlore	2 pages

ANNEXE A : FACTEURS D'INFLUENCE SUR L'EFFICACITÉ ET LE TEMPS DE RÉPONSE DES DÉTECTEURS FIXES DE CHLORE

INFLUENCE SUR LA PERFORMANCE		
DANS LA GAMME DE MESURE DES APPAREILS		
FACTEURS D'INFLUENCE	Sur l'efficacité	Sur le temps de réponse
Entreposage hors tension	Aucune influence	
Mesure en dynamique (coiffe de calibrage, débit préconisé par le constructeur)	Réponse à $\pm 10\%$ [11]	T90 [20 s ; 70 s], 80% sont conforme aux données constructeurs [9] T90 [8 s ; 22 s], conformes aux données des constructeurs [11]
Mesure par diffusion[11]	Pas d'influence pour 20% des appareil. Réponse de : -30% pour 20%des appareils -40% à -60% pour 60% des appareils	T90 conforme aux données constructeurs pour 40% des appareils, non pertinent pour 60% des appareils Temps de déclenchement des alarmes largement augmenté pour 20% des appareils
Débit de calibrage [9]	80% des appareils sont influencés par la variation du débit de calibrage	
Tension d'alimentation [9]	Aucune influence	
Température [9] [-10°C ; +50°C]	Chaque test a montré une influence de la variation de la température : - A -10°C, forte dérive pour tous les appareils. - Aux températures positives, seul 1 appareil a montré une performance équivalente de celle obtenue à +20°C.	
Humidité [9] [0 ; 70% HR] à 20°C	Influence de l'humidité relative pour 80% des appareils	
Faible hygrométrie < 30% HR à 20°C	Tous les appareils sont influencés par une exposition prolongée dans une ambiance à faible hygrométrie.	
Pression (80 kPa) [9]	Tous les détecteurs testés sont influencés	
Présence prolongée de 2,5 ppm Cl ₂ (8h/j pendant 3 jours)	Pas d'influence (sur le zéro pour 80% des appareils, sensibilité identique ou augmentée)	

Présence de gaz interférents (test à 25 ppm) [9]: - H ₂ S - SO ₂ - NO _x - NO	<ul style="list-style-type: none"> - H₂S provoque une réponse négative pour 60 % des détecteurs. - Hormis pour 1 appareil, NO n'interfère pas. - NO₂ influence 40 % des détecteurs. - SO₂ influence 60 % des détecteurs. 	
Non présentation fréquente de gaz chlore au détecteur (1 mesure/mois pendant 3 mois) [9]	<p>1 appareil sur 5 a fortement dérivé et présente un phénomène d'endormissement sur une période de 1 mois (répété 3 fois).</p> <p>4 appareils sur 5 ne présentent pas d'endormissement, la variation de réponse est inférieure à 20 % pour ces appareils.</p>	
AU DELA DE LA GAMME DE MESURE (MESURE PAR DIFFUSION)[11]		
FACTEURS D'INFLUENCE	Sur l'efficacité	Sur le temps de réponse
Concentration du gaz d'essai égal à la gamme de mesure	Réponse de -32% à -60%	Seuil d'alarme 1 ppm < 4 secondes Seuil T90 < 11 secondes
Concentration du gaz d'essai égale à 5 à 20 fois la gamme de mesure	Indication de dépassement d'échelle Tous les détecteurs "gagnent" en sensibilité après 2 min d'exposition à 100 ppm[9].	Seuil d'alarme 1 ppm < 3 secondes Seuil T90 < 4 secondes
Non présentation du gaz chlore au détecteur pendant 3 mois	Pas d'influence pour un gaz d'essai égal à 5 fois la gamme de mesure	Influence pour un gaz d'essai égal à 5 fois la gamme de mesure : Seuil d'alarme 1 ppm < 5 secondes Seuil T90 < 6 secondes

Remarques :

- Un des détecteurs testés en 2006, déjà présent sur le marché, n'était pas opérationnel et ne remplissait donc pas sa fonction de sécurité.
- 60% des détecteurs évalués en 2006 [9] sont identiques à ceux évalués en 2014 [11]. Toutefois certaines cellules ont évolué, car les temps de réponse mesurés en 2014 sont plus faibles pour 2/3 de ces appareils, et identiques pour 1/3 de ces appareils.
- Les notices fournies ne sont pas toujours complètes pour couvrir l'ensemble des utilisations potentielles : elles sont parfois trop génériques (communes à plusieurs gaz toxiques). Des limites identifiées dans les essais n'étaient pas prises en compte dans certaines notices.



INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

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

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

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