



**HAL**  
open science

## Fiabilité des données et sûreté de fonctionnement fournies par des capteurs atmosphériques en cas de situation accidentelle sur un site pétrochimique

Antoinette Accorsi, Didier Gaston, Jean-Philippe Pineau, Philippe Villeneuve  
de Janti

### ► To cite this version:

Antoinette Accorsi, Didier Gaston, Jean-Philippe Pineau, Philippe Villeneuve de Janti. Fiabilité des données et sûreté de fonctionnement fournies par des capteurs atmosphériques en cas de situation accidentelle sur un site pétrochimique. Oslo Conference on International Aspects of Emergency Management and Environmental Technology, Jun 1995, Oslo, Norway. pp.359-368. ineris-00971930

**HAL Id: ineris-00971930**

**<https://ineris.hal.science/ineris-00971930>**

Submitted on 3 Apr 2014

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

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

Fiabilité des données et sûreté de fonctionnement fournies par des capteurs atmosphériques en cas de situation accidentelle sur un site pétrochimique

**A. ACCORSI, D.GASTON, J.P. PINEAU, P. VILLENEUVE DE JANTI  
INERIS, Parc Technologique Alata, B.P. 2, Verneuil en Halatte**

## **Abstract**

*During accidental scenarios such as explosions, emissions and fires, data from atmospheric sensors must remain reliable and not influenced by the rapidly changing environmental conditions. Relevant conditions have been defined referring to the situation of a refinery in which processing, storage and transfers of flammable and toxic materials are located. The effects could be accidental (thermal fluxes, pressure waves, fire fumes, ...) or chronic (pollutants, rains, high temperatures, ...)*

*Two types of sensors in this industrial area : a catalytic explosimeter and a semi-conductor hydrogen sulphide sensor were chosen for further examination.*

*For each type of adverse conditions, the evaluation includes three different aspects :*

- *a theoretical study to make prevision of the possible effects on the sensor, such as sensitivity, malfunction,*
- *a definition of thresholds for effects on site,*
- *a definition of criteria for performing off-site tests.*

*The final step will be issuing a specification document for the examined sensors.*

## **1 - Introduction.**

Lors du fonctionnement des installations industrielles, des rejets de gaz et vapeurs inflammables et toxiques peuvent se produire accidentellement. Lorsque ces rejets sont massifs, il se forme des nuages de volumes importants. Dans certains cas, ces nuages peuvent s'enflammer et les effets de l'explosion affectent la population. Des plans d'intervention en situation d'urgence sont alors appliqués soit par les responsables de l'usine, soit par les autorités compétentes.

Le retour d'expérience sur l'analyse d'accidents industriels, où des mélanges inflammables se sont formés dans l'atmosphère, montre qu'entre le début de la fuite et l'inflammation un délai de plusieurs dizaines de minutes existe souvent et permet donc de prendre des dispositions pour tenter de diminuer les conséquences.

Le suivi de l'évolution de rejets inflammables et toxiques nécessite de disposer en permanence sur un site concerné de capteurs atmosphériques qui doivent constamment fournir des mesures fiables. Ces capteurs atmosphériques (toximètres, explosimètres...) sont donc des éléments essentiels de la gestion des risques.

La technologie des capteurs est en pleine évolution. Des nouvelles techniques telles que les semi-conducteurs, les dépôts en couches minces, la spectrométrie infrarouge, ... permettent de diminuer le coût et la taille des capteurs tout en augmentant les performances. Ces capteurs, comme les capteurs plus anciens (détecteurs électrochimiques, explosimètres à éléments catalytiques chauffés, ...) sont sensibles à l'environnement dans lequel ils sont placés. Or, la normalisation actuelle sur les capteurs de gaz ne permet absolument pas de prévoir leur comportement dans des conditions d'environnement anormales consécutives à une situation accidentelle (température élevée, fortes pressions, gaz interférents, ...) ou simplement suite à des agressions quotidiennes particulières ( pluies violentes, gaz interférents, ...).

C'est exactement au moment où la fiabilité de l'information est la plus vitale pour la gestion des risques que celle-ci est susceptible d'être erronée. Comme l'analyse d'accidents récents l'a montré, cette information « douteuse » rend le management de la situation d'urgence moins efficace ou peut entraîner l'aggravation de la situation accidentelle (2).

Dans le cadre du projet EUREKA 904 « MEMbrain : plate-forme d'intégration d'aide à la décision dans la gestion des crises majeures », l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) est responsable d'un sous-programme dont l'objectif est de réaliser un cahier des charges définissant les capteurs atmosphériques et leurs systèmes d'acquisition associés permettant d'obtenir des données fiables et

pertinentes pour la gestion d'un « accident majeur ». Ce travail a été réalisé avec des partenaires industriels et l'appui des Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement dans le but d'appliquer concrètement sur des sites industriels les spécifications émises à l'origine de la définition de ce projet.

## **2 - Méthode de travail utilisée.**

La première étape de la démarche impliquait de prendre en considération un site « pilote ». Il s'agit d'un site pétrochimique sur lequel sont situés différents établissements présentant des possibilités de risques technologiques majeurs). Pour simplifier notre approche nous illustrerons uniquement le cas de la raffinerie qui est le « coeur » de ce complexe pétrochimique.

La méthode de travail utilisée est schématisée sur la figure 1. Il faut préciser que seuls les effets des agressions sur les capteurs sont pris en compte.

Les documents de base pour l'application de notre méthode sont les études de sécurité et les dossiers de spécification des réseaux de détection.

Les premiers documents nous permettent d'évaluer les agressions dues aux scénarios accidentels susceptibles d'affecter la sécurité des personnes ou de dégrader les biens ou l'environnement, et de donner une cartographie des effets selon chaque type d'agressions. Le tableau 1 donne une évaluation sommaire des agressions potentielles que l'on peut rencontrer sur des sites industriels (3).

Des compléments d'étude ont été nécessaires pour appliquer ces résultats aux capteurs. Ces compléments sont déterminés après l'inventaire détaillé des capteurs mis en place sur le site et l'évaluation du comportement prévisionnel de ces capteurs lorsqu'ils sont soumis aux effets de ces diverses agressions. Cette évaluation est réalisée principalement en s'appuyant sur la connaissance des capteurs issue de notre expérience (4), peu de travaux bibliographiques ayant abordé ces problèmes.

Le tableau 2 donne les dysfonctionnements que l'on peut observer sur les capteurs et que nous avons pris en compte.

En fonction des seuils d'effets pouvant induire des perturbations sur les capteurs, il est possible de donner un avis sur le niveau de fiabilité de l'information fournie par les capteurs en situation accidentelle et de proposer éventuellement des modifications ou compléments au réseau de détection.

Enfin, la réalisation de tests de robustesse des capteurs hors site, pour différents types d'effets, fournit des informations importantes sur leur comportement effectif dans des situations sévères et bien définies. Lors de ces essais, les conditions opératoires sont plus dures que celles imposées dans les normes traitant des conditions environnementales mais elles restent à des niveaux « réalistes » simulant des situations accidentelles que l'on peut rencontrer dans l'industrie.

C'est l'illustration de cette méthode qui est présentée dans la suite de cet article.

### **3 - Présentation d'un site pétrochimique.**

Une raffinerie fabrique des produits pétroliers commercialisables à partir de pétrole brut. Pour ce faire, elle comprend des activités de transformation, de stockage et de transfert. Elle est divisée en différentes unités de fabrication.

Le stockage des produits s'effectue dans différents types de réservoirs : sphères pour les gaz liquéfiés, bacs à toit flottant pour les produits volatils, bacs à toit fixe pour les liquides peu volatils, certains étant calorifugés, voire réchauffés pour les produits lourds et visqueux.

Une raffinerie moyenne traite plus de 7 000 000 t/an de pétrole brut et dispose d'aires de stockage de 1 000 000 m<sup>3</sup> de produit brut et une capacité similaire pour les produits finis et semi-finis. Sur le site pilote, environ 750 capteurs sont installés.

### **4 - Scénarios accidentels et leurs effets sur les capteurs.**

Tous les produits utilisés ou fabriqués sont des produits inflammables : certains comme les gaz liquéfiés et les essences sont très facilement inflammables (point éclair inférieur à la température ambiante), d'autres tel que le kérosène sont simplement inflammables (point éclair supérieur à la température ambiante mais inférieur

à 55 °C), enfin les plus « lourds » du type gasoil sont peu inflammables (point éclair supérieur à 55 °C).

Parmi ces produits, certains sont également toxiques : hydrogène sulfuré, benzène, etc...

Les situations accidentelles prises en compte lors de l'étude de sécurité sont :

- fuite sur une canalisation,
- éclatement d'un réacteur,
- perte de confinement d'un stockage ( « ruine d'un réservoir, rupture d'une canalisation, ..).

Les effets à quantifier sont :

- le flux thermique et les fumées provenant d'un incendie,
- l'onde de pression consécutive à une explosion,
- la projection d'éclats consécutive à une explosion,
- l'émission de vapeurs toxiques à la suite de fuite, éclatement ou perte de confinement.

## **5 - Types de capteurs utilisés et essais réalisés.**

### **5 - 1 - Types de capteurs.**

Des capteurs de deux types différents :

- des explosimètres utilisant des perles catalytiques,
- des toximètres à semi-conducteur pour assurer la détection d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) ;

ont été retenus pour être soumis à des effets thermiques.

Pour trois autres types d'effets : ondes de pression, effets de fumées d'incendie et empoisonnement, ces essais sont en cours.

### Explosimètres catalytiques.

Ces capteurs utilisent le principe de la combustion catalytique. Les têtes de mesure sont exposées au même environnement en température, humidité et pression. Cependant, ces têtes sont montées dans des boîtiers de formes variées ce qui peut induire des effets de température, de l'humidité et de la pression différents. Un décalage de zéro peut ainsi apparaître.

### Détecteur de gaz toxique à semi-conducteur pour la détection de l'hydrogène sulfuré.

La mesure consiste à suivre les variations de résistivité du matériau SnO<sub>2</sub> à température constante (150°C), la résistivité évoluant avec la teneur volumique en H<sub>2</sub>S. En effet, H<sub>2</sub>S s'adsorbe sur la surface du matériau et, de par son affinité avec l'oxygène, modifie la résistivité du matériau semi-conducteur. Un tel capteur est prévu pour fonctionner dans une température ambiante comprise entre 20 et 50°C, voire 90°C d'après certains constructeurs. Au delà, la température de la chambre de mesure peut dépasser 150°C par suite d'un refroidissement insuffisant : il s'ensuit une diminution de la résistivité de SnO<sub>2</sub> et une augmentation du zéro pouvant provoquer une alarme gaz.

Le tableau 2 résume les causes possibles de dysfonctionnement en fonction des types de capteurs.

## 5 - 2 - Essais thermiques.

### Principe.

Un calcul préliminaire permet de montrer que pour dépasser une température de 55°C avec les capteurs constitués en matériaux variés et pour des durées d'exposition vraisemblables, il faut les exposer à environ un flux rayonné de 12 kW/m<sup>2</sup>. Ce type de flux peut être émis par des feux susceptibles d'être rencontrés en raffinerie.

### Essais réalisés.

Les essais ont été réalisés dans la galerie Incendie de l'INERIS (figure 2). Pour simuler le flux thermique nous avons utilisé un panneau radiant électrique. Les capteurs sont positionnés à environ 1 m du panneau radiant.

L' instrumentation mise en place est composée de :

- fluxmètres contrôlant le flux réel reçu par les capteurs,
- thermocouples placés dans et sur les capteurs.

La durée d'exposition est de 30 min.

A titre d'exemple, nous fournissons ci-après les résultats obtenus avec 6 capteurs : 3 explosimètres catalytiques et 3 détecteurs H<sub>2</sub>S semi-conducteurs. Pour chaque famille de capteurs nous avons choisi :

- un capteur conçu avec un boîtier aluminium et une tête de mesure en aluminium,
- un capteur conçu avec un boîtier polyester et une tête de mesure en acier inoxydable,
- un capteur conçu avec un boîtier polyester comportant l'électronique et une tête de mesure en acier inoxydable.

Avant essai les détecteurs sont étalonnés. Pendant l'essai, nous enregistrons en permanence l'évolution du zéro. Après essai, nous vérifions l'étalonnage.

Les résultats obtenus peuvent se résumer ainsi :

- température de surface :

- . La température de surface en fin d'essai est de 90-100° C pour les capteurs avec un boîtier aluminium et une tête de mesure en aluminium,
- . la température de surface en fin d'essai pour les autres capteurs est de 130-150° C ;

- température interne :

- . la température interne en fin d'essai est de 40-45 °C pour les capteurs avec un boîtier polyester comportant l'électronique et une tête de mesure en acier inoxydable,
- . la température interne en fin d'essai est de 80-90°C pour les autres capteurs ;

- sensibilité :

- . pour les explosimètres la variation de sensibilité est de quelques pour-cent de la Limite Inférieure d'Explosibilité- LIE- (baisse maximale de 3%),
- . pour les capteurs semi-conducteurs la valeur lue peut être 70 à 80% de la valeur réelle du mélange étalon ;

- dérive du zéro :

- . pour tous les capteurs examinés, la dérive du zéro est négligeable;

En conclusion, les capteurs explosimétriques permettent de faire des mesures fiables lorsqu'ils sont soumis à un flux thermique de 12 KW/m<sup>2</sup> pendant 30 min. Il n'en va pas de même pour les capteurs semi-conducteurs qui présentent une dérive notable (valeur erronée par défaut) dans ces mêmes conditions d'essai. Ces résultats ne portent que sur quelques capteurs d'un seul fabricant. Ils indiquent des tendances pour des capteurs soumis à un incendie.

### **5 - 3. - Autres effets en cours d'examen.**

Elles sont de trois types :

- les effets des ondes de pression dus, soit à la détonation d'un explosif (onde de choc), soit à la déflagration d'un mélange méthane/air (onde de déflagration),
- les effets de fumées d'incendie ; en fait, ce sont des flux de particules solides qui sont étudiés à un niveau

d'empoussièrément de 2 g/m<sup>3</sup> provenant d'un feu de gasoil de 30 minutes dans la galerie d'essais d'incendie.

- l'effet d'empoisonnement dû au benzène sur les détecteurs explosimétriques.

## **6 - Conclusions.**

Certains types de capteurs utilisés sur un site pétrochimique ont fait l'objet d'une étude hors site pour examiner leur comportement à divers types d'agressions pouvant se produire accidentellement : flux thermique et fumées provenant d'un incendie, ondes de pression consécutives à une explosion, empoisonnement des capteurs explosimétriques du fait de la présence d'interférents.

Par rapport aux situations accidentelles, des seuils réalistes ont été retenus : flux de 12 kW/m<sup>2</sup> par exemple pour les effets thermiques.

Sur l'aspect flux thermique, l'étude a notamment montré que le comportement du capteur était largement influencé par la nature exacte de celui-ci. Soumis à un même flux, certains capteurs pouvaient atteindre 90 à 150° C selon la nature des matériaux utilisés pour le boîtier et la tête du capteur. Dans ces conditions, c'est principalement la conception et la réalisation du capteur qui doivent être examinées avant de réaliser l'installation sur un site. La fonctionnalité des capteurs explosimétriques demeure convenable au cours des essais. Pour deux des trois types de capteur de gaz toxique à semi-conducteur, une dérive notable

apparaît conduisant à une valeur erronée.

Pour atteindre l'objectif final qui est de définir un cahier des charges des spécifications à retenir pour éviter des dysfonctionnements des capteurs atmosphériques situés dans des établissements présentant des possibilités de risques technologiques majeurs divers essais sont encore à réaliser.

### **Références :**

1 - Accident analysis : a requirement for safety and for emergency response ?

J. P. PINEAU ; J.F. LECHAUDEL ; F. ABIVEN ; G. MAVROTHALASSITIS  
ER 93, The practical approach to hazardous substances accidents  
Conference september 7-10 (1993)

2 - Safety and fault detection in process control systems and sensors,  
R.K. CHOCHAN, B.R. UPADHYAYA,  
Fire Safety Journal, 14 (1989).

3 - Maîtrise de l'urbanisation :  
La prise en compte des effets  
thermique, mécanique et toxique,  
J. Jarry, SECURITE Revue de  
Préventique N° 15, 1994.

4 - Explosimètres. Détecteurs de gaz,  
A. ACCORSI,  
Les Techniques de l'Ingénieur R 2380,  
1994.



**TABLEAU 1 :** Agressions potentielles sur un site pétrochimique.

Installation	Scénarios	Agressions principales	Repères de seuils/ études de sécurité (effets pour l'homme)
Stockage	feu de nappe	thermique toxique	5 kW/m <sup>2</sup> : début létalité IDLH
	BLEVE	thermique projection d'éclats	dépend de la durée
	UVCE émission	pression pression toxique	50 mbar : début létalité 50 mbar IDLH
Canalisation	UVCE	pression	50 mbar
	émission	pression toxique	50 mbar IDLH
Réacteur	UVCE	pression	50 mbar
	explosion thermique	- toxique - thermique - pression	IDLH dépend de la durée 50 mbar

IDLH (Immediately Dangerous for Life or Health) : concentration maximale dans l'air jusqu'à laquelle une personne exposée pendant au plus 30 minutes peut fuir sans risque d'effets irréversibles pour la santé.

BLEVE ( Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) : vaporisation rapide d'un liquide surchauffé libéré suite à la rupture d'un réservoir soumis à un flux thermique.

UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion) : déflagration d'une nappe de gaz dérivant à l'air libre.

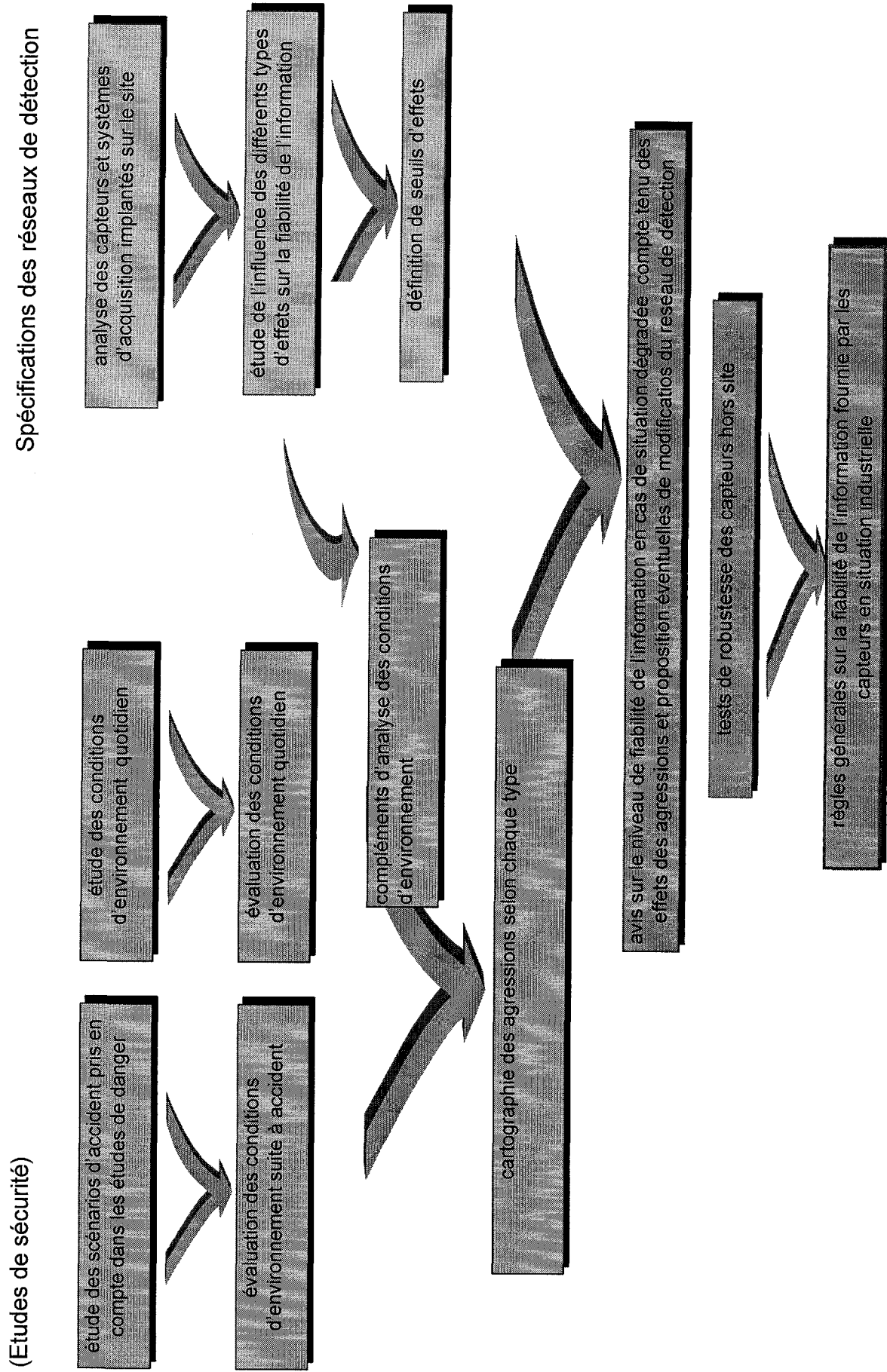
**TABLEAU 2 :** Types de dysfonctionnement pris en compte.

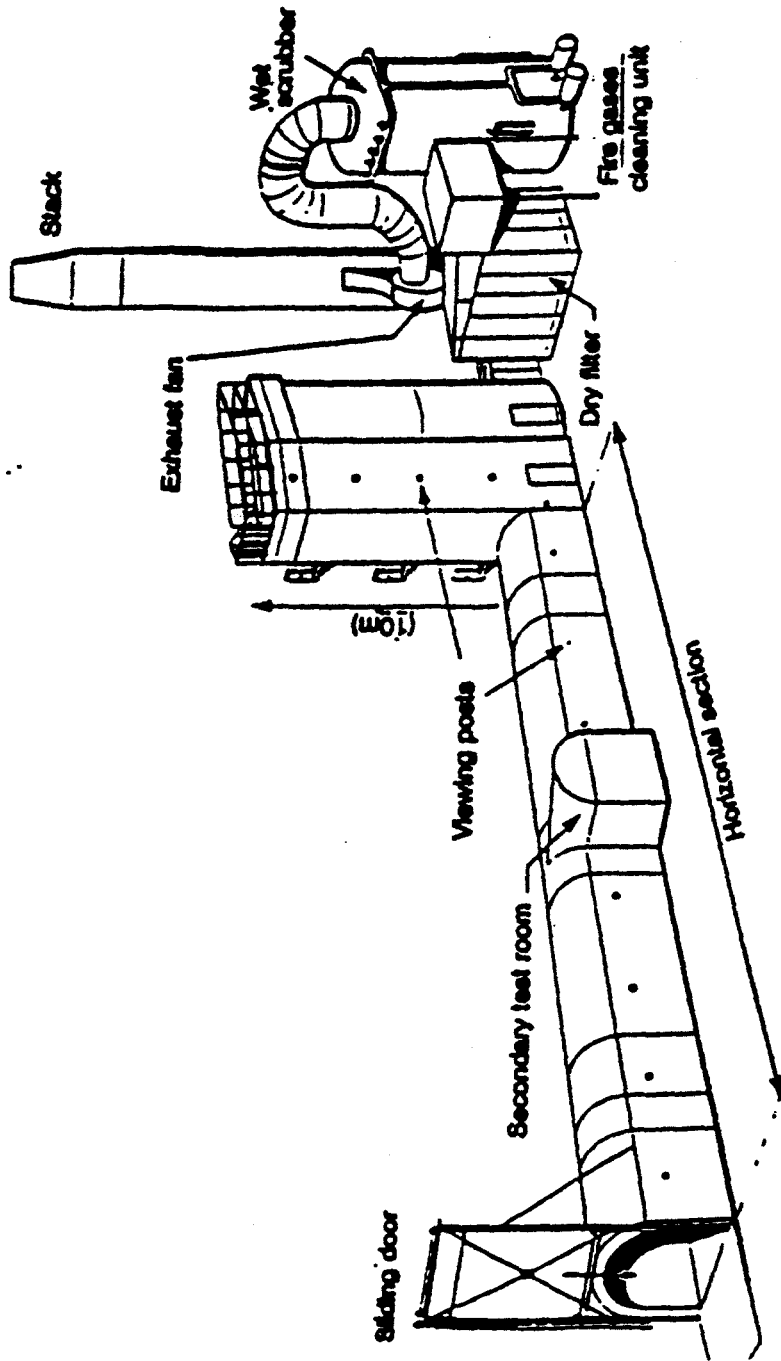
ALARME INTEMPESTIVE	PAS D'ALARME	ALARME DEFAULT
dérive du zéro (+)  augmentation sensibilité  parasitage  interférent  aveuglement	dérive du zéro (-)  diminution sensibilité  empoisonnement  interférent	coupure capteur  dérive trop importante du zéro (-)  problème de liaisons (câbles)  problème électronique

**TABLEAU 3 :** Causes possibles des dysfonctionnements

Types de capteurs	Explosimétrique catalytique	Gaz toxique (H2S) à semi-conducteur
Fausse alarme gaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dépend du point de fonctionnement sur les courbes, sensibilité = f(temp., capteur), du mode de fonctionnement du gaz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>diminution de la résistivité de SnO<sub>2</sub> en surface si l'équilibre thermique de l'élément sensible évolue.</li> </ul>
Manque d'alarme (ou dérive négative de l'alarme)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- décalage éventuel du zéro par dissymétrie des perles catalytiques, dépend du point de fonctionnement, du mode, du gaz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- diminution de l'absorption du gaz à la surface,</li> <li>- désorption des molécules, donc décalage du zéro (temps de réponse plus long)</li> </ul>
Alarme défaut	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rupture des fils de support de la perle catalytique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rupture des fils de liaison de l'élément semi-conducteur (ou dessoudage)</li> </ul>
Défauts non indiqués fragilisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vieillissement prématuré de la perle catalytique,</li> <li>- vieillissement prématuré de l'électronique du transmetteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fragilisation des soudures,</li> <li>- vieillissement prématuré de l'électronique du transmetteur</li> </ul>

**FIGURE 1 :** Méthode de travail.





**FIGURE 2** : Galerie Incendie de l'INERIS