



Solvants organiques dans l'atmosphère des lieux de travail

Les détecteurs portables à lecture directe

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

Dans le domaine de la prévention des risques professionnels, l'INRS est un organisme scientifique et technique qui travaille, au plan institutionnel, avec la CNAMTS, les CRAM-CGSS et plus ponctuellement pour les services de l'État ainsi que pour tout autre organisme s'occupant de prévention des risques professionnels.

Il développe un ensemble de savoir-faire pluridisciplinaires qu'il met à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, médecin du travail, CHSCT, salariés. Face à la complexité des problèmes, l'Institut dispose de compétences scientifiques, techniques et médicales couvrant une très grande variété de disciplines, toutes au service de la maîtrise des risques professionnels.

Ainsi, l'INRS élabore et diffuse des documents intéressant l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, site Internet... Les publications de l'INRS sont distribuées par les CRAM. Pour les obtenir, adressez-vous au service prévention de la Caisse régionale ou de la Caisse générale de votre circonscription, dont l'adresse est mentionnée en fin de brochure.

L'INRS est une association sans but lucratif (loi 1901) constituée sous l'égide de la CNAMTS et soumise au contrôle financier de l'État. Géré par un conseil d'administration constitué à parité d'un collège représentant les employeurs et d'un collège représentant les salariés, il est présidé alternativement par un représentant de chacun des deux collèges. Son financement est assuré en quasi-totalité par le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Les Caisses régionales d'assurance maladie (CRAM) et Caisses générales de sécurité sociale (CGSS)

Les Caisses régionales d'assurance maladie et les Caisses générales de sécurité sociale disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service prévention composé d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ils sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, CHSCT, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Ils assurent la mise à disposition de tous les documents édités par l'INRS.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite.

Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle).

La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de deux ans et d'une amende de 150 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2005. Conception et réalisation : Page Impact. Illustrations : Atelier Causse. Photos : Figure 2, Drager ; figures 4, 6 et 9, INRS, J. P. Dalens ; figures 10 et 12, Autochim.

Solvants organiques dans l'atmosphère des lieux de travail

Les détecteurs portables à lecture directe

Bruno Galland
INRS, département ingénierie des procédés

avec la participation de
Bruno Courtois
INRS, département risques chimiques et biologiques

Le développement de l'instrumentation pour la détection ou la mesure de substances chimiques dans l'atmosphère des lieux de travail trouve son origine dans les limitations du premier des capteurs portables à lecture directe, à savoir le nez humain. De plus, le seuil olfactif et la toxicité d'un gaz sont indépendants ; il existe ainsi des produits très toxiques indécé-
lables par le nez humain, l'oxyde de carbone par exemple.

De manière simplifiée, la détection d'une substance par le nez humain suit les étapes suivantes :

- ▶ beaucoup de substances, dont notamment la plupart des solvants organiques, se volatilisent à température ambiante et sont donc présentes dans l'atmosphère,
- ▶ les molécules volatilisées pénètrent dans les voies nasales et viennent exciter les récepteurs olfactifs contenus dans les cellules nasales,
- ▶ il s'ensuit la transmission d'une information au cerveau dont la tâche est le décodage et l'interprétation de cette information nerveuse.

Le système olfactif humain reste cependant un détecteur imparfait. La nature, le nombre et

la répartition au sein des cellules nasales des récepteurs olfactifs sont différents d'une personne à l'autre. Chaque personne est donc plus ou moins sensible à la détection d'une substance donnée. A titre d'exemple, le tableau 1 présente quelques solvants organiques et leur seuil olfactif moyen. De plus, les récepteurs olfactifs ne sont pas sélectifs et seul le cerveau est capable d'interpréter les diverses informations nerveuses pour aboutir à l'identification d'une substance. Si le cerveau n'a pas en mémoire la signature d'une substance, il sera incapable de l'identifier. Il faut également tenir compte du fait que le nez humain s'accoutume à l'atmosphère respirée : il ne détecte plus une substance si celle-ci est présente de manière continue (perte de sensibilité temporaire du nez).

La nécessité de développer une instrumentation pour la surveillance des atmosphères des lieux de travail s'impose donc, et on observe une forte demande des industriels et des préventeurs pour disposer de détecteurs portables à lecture directe, faciles et rapides d'utilisation. Ce document présente les différentes technologies développées pour la réalisation de tels appareils ainsi que les possibilités et les limites de ces détecteurs.

Solvant organique	Seuil olfactif moyen (ppm ¹)	VME (ppm)
Acétone	100	500
Benzène	5	1
Chloroforme (Trichlorométhane)	200	2
Cyclohexane	0,4	300
Isopropanol	1000	400 (VLE)
Méthanol	5	200

Tableau 1. Seuils olfactifs moyens de 6 solvants organiques. Les valeurs limites d'exposition (VME) de ces substances illustrent les limites de détection du nez humain. Ainsi, le seuil de détection moyen de l'isopropanol par le nez est 2,5 fois supérieur à la VLE correspondante. Il s'agit donc d'un produit peu 'odorant', à l'inverse du cyclohexane dont la VME est environ mille fois supérieure au seuil olfactif moyen.

¹ ppm : partie par million

Avantages et utilités des systèmes de détection portables à lecture directe

Un détecteur sera considéré comme portable s'il est autonome et si ses dimensions et masse permettent son maniement par une personne seule. Ainsi, sa masse sera au maximum de 6 kg et idéalement inférieure au kilogramme, et sa longueur ne devra pas dépasser 30 cm.

Par lecture directe, on entend un appareil fournissant instantanément ou de manière quasi-instantanée la concentration du polluant, que ce soit par l'intermédiaire d'un indicateur coloré ou via un affichage digital en ppm ou en mg. m⁻³ par exemple.

Un détecteur portable à lecture directe permet de répondre rapidement aux besoins suivants :

- ▶ **évaluation d'un niveau de pollution**, par exemple pour définir si une zone est accessible à un salarié sans que sa sécurité ou sa santé soient compromises ou encore pour valider l'efficacité d'un système de captage de polluants...
- ▶ **détermination d'un profil d'exposition au poste de travail**, permettant de mettre en évidence des phases, des gestes ou des lieux qui exposent le salarié à des pics de pollution à des moments donnés de sa journée de travail,
- ▶ **recherche de fuites**, pour la vérification d'étanchéité d'un appareil ou d'un local.

Par rapport à des techniques classiques de mesure (prélèvement sur place puis analyse de l'échantillon en laboratoire), un détecteur portable à lecture directe offre en outre les avantages suivants :

- ▶ simplicité d'utilisation et souplesse de mise en œuvre, variable selon le type de détecteur,
- ▶ rapidité des résultats permettant une réactivité maximum,
- ▶ coûts d'achat plus ou moins réduits (de quelques dizaines à plusieurs milliers d'euros).

A noter cependant qu'un détecteur portable à lecture directe, même s'il peut être positionné en poste fixe de manière occasionnelle, ne peut suppléer une installation fixe de détection si celle-ci est requise par la dangerosité ou la toxicité des polluants générés.

Ceci étant, le choix et l'utilisation d'un détecteur portable de solvants à lecture directe doivent répondre à certains impératifs. Le ou les polluants doivent être identifiés et leurs concentrations évaluées afin de permettre de choisir un capteur sensible aux solvants à détecter et insensible aux interférents potentiels. Le détecteur doit être maintenu en état de fonctionnement par le respect des consignes de conservation (température, atmosphère non polluée, durée de vie) et d'entretien (maintenance, vérification et calibrage).

Les paragraphes suivants précisent les avantages et les inconvénients des différents types de détecteurs portables de solvants à lecture directe actuellement disponibles.

Les tubes et plaquettes colorimétriques

Parmi les systèmes de détection de vapeurs de solvants organiques, les tubes et plaquettes colorimétriques figurent à la première place en termes de simplicité de fonctionnement. Leur principe repose sur la présence d'un réactif qui va virer de couleur en présence du solvant à détecter. Le caractère portable et la lisibilité immédiate par l'opérateur du résultat du dosage sont des atouts indéniables.

Les tubes réactifs colorimétriques

Un tube colorimétrique (figure 1) est un tube de verre dont les extrémités sont scellées et qui contient un produit chimique qui réagit par changement de coloration au contact du gaz ou de la vapeur à détecter. Pour effectuer la mesure, il suffit de briser les extrémités du tube et de pomper à travers ce dernier un certain volume d'air, fonction du type du tube. Ce pompage peut être effectué avec une pompe manuelle ou automatique, mais il faut impérativement respecter les spécifications du fabricant quant au volume d'air à faire circuler dans le tube. Ensuite, la concentration estimée du polluant est lue directement sur l'échelle graduée imprimée sur le tube (généralement en ppm). Les tubes sont opérationnels à tout instant dans la mesure où leur étanchéité a été préservée et leur durée maximale de stockage avant utilisation respectée.

Il existe des tubes pour plus d'une centaine de substances gazeuses et, pour un même solvant, il existe plusieurs tubes couvrant des plages de mesure différentes. Le temps moyen de l'opération de dosage (temps de pompage du volume d'air à travers le tube et temps de réaction entre le réactif et le polluant) est de quelques secondes à quelques minutes. L'interprétation du résultat demeure approximative puisqu'il s'agit pour l'opérateur d'estimer visuellement un changement de couleur parfois peu évi-

dent (par exemple, pour un tube Acétone, la coloration passe du jaune clair au jaune en présence d'acétone). A cette approximation s'ajoute l'erreur donnée par le fabricant sur la mesure elle-même comprise, pour la majorité des tubes, entre 5 et 30 %. Du point de vue de la mesure, il faut noter que ces tubes sont plus ou moins sensibles au taux d'humidité, à la température et surtout à la présence de gaz ou vapeurs interférents qui peuvent parfois complètement fausser le dosage du solvant recherché.

Le tableau 2 donne des exemples de tubes commercialisés avec leurs principales caractéristiques.

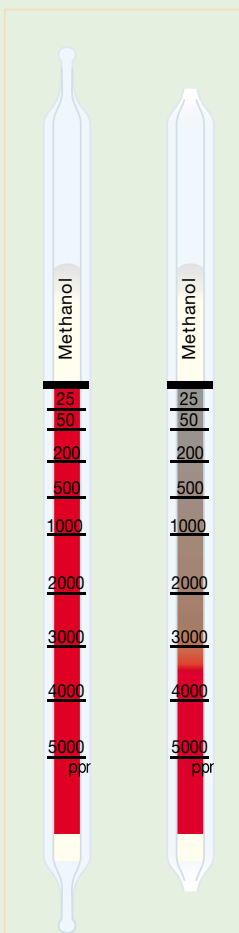
Alcool 25/a		Référence B1 01631
		Domaine de mesure standard : 25 à 5000 ppm méthanol 50 à 4000 ppm i-propanol 100 à 5000 ppm n-butanol 25 à 2000 ppm éthanol [échelle méthanol] [échelle méthanol]
		Nombre de coups de pompe n : 10 Durée de la mesure : env. 5min Déviat° standard relative : 25 % Virage de la coloration : brun → brun-noir
		Conditions environnantes admissibles Température : 15 ... 30 C Humidité : max. 15 mg H ₂ O/L
		Principe de réaction $\text{CH}_2\text{OH} + \text{Cr}^{VI+} \longrightarrow \text{produit réactionnel brun-noir}$
		Interférences 500 ppm de n-octane colorent l'ensemble du tube, 400 ppm d'acétate d'éthyle correspondent à une indication d'environ 60 ppm de méthanol, 200 ppm de tétrahydrofurane correspondent à une indication d'environ 900 ppm à l'échelle i-propanol n = 20 1000 ppm d'acétone correspondent à une indication d'environ 200 ppm de méthanol 400 ppm de diéthyléther correspondent à une indication d'environ 1000 ppm de méthanol.

Figure 1. Exemple de tube colorimétrique pour la détection d'alcool. Les spécifications de mise en œuvre du tube ainsi que les interférents potentiels sont précisés par le fabricant.

Nom	Plage de mesure (ppm)	Durée moyenne de la mesure (s)	Erreur (%)	Exemples d'interférents connus
Acétone	100 à 12000	240	15-20	Cétones, aldéhydes
Cyclohexane	100 à 1500	300	15-20	Alcools, composés aromatiques, esters...
Toluène	50 à 300	60	10-15	Acétone, phénol
Alcool	25 à 5000	300	25	n-Octane, acétate d'éthyle, acétone
Trichloroéthylène	50 à 500	60	10-15	Halogénures d'hydrogène

Tableau 2. Exemples de tubes colorimétriques existants.

En résumé, la diversité des solvants détectables, la facilité de mise en œuvre, la rapidité d'obtention du résultat et le coût réduit sont à mettre en regard d'une mesure peu précise et sensible aux conditions de la détection (humidité, température, gaz ou vapeurs interférents).

Les plaquettes colorimétriques

Les plaquettes colorimétriques, tout en fonctionnant sur le même principe que les tubes réactifs, apportent une automatisation de la détection et facilitent d'autant la tâche de l'opérateur. Elles sont associées à un analyseur CMS ou Chip Measurement System (figure 2) dont le principe de fonctionnement est explicité figure 3.

Chaque plaquette, dédiée à la détection d'un solvant donné, est constituée :

- ▶ d'un code barre reprenant les informations nécessaires à l'analyseur pour la mise en œuvre de la plaquette (dénomination, volume de pompage, domaine de mesure...),
- ▶ de 10 capillaires de mesure, étanches et contenant le réactif colorimétrique approprié.

Figure 2. Analyseur CMS Draeger.

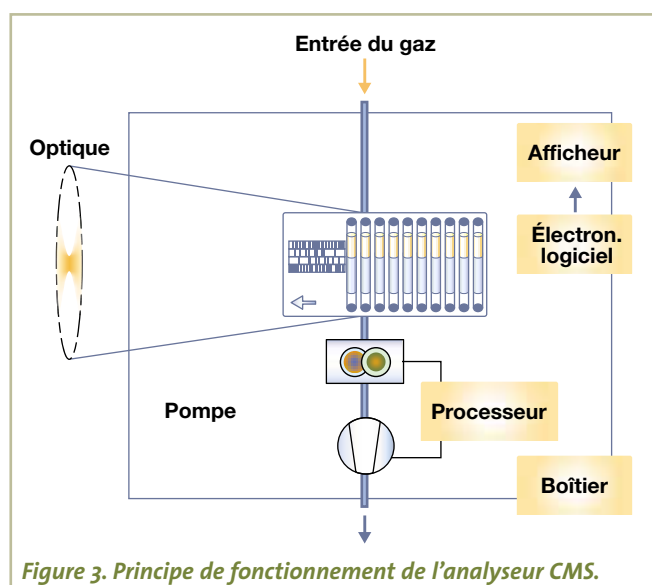


Figure 3. Principe de fonctionnement de l'analyseur CMS.

Chaque plaquette permet donc 10 mesures distinctes.

En fonctionnement, l'analyseur procède à l'ouverture des extrémités d'un capillaire (après avoir vérifié son étanchéité), pompe un certain volume d'air ambiant à travers ce capillaire et affiche un résultat après une lecture optique de la réaction. L'analyseur est équipé d'un enregistreur permettant de conserver un historique des mesures réalisées (solvant mesuré et sa concentration, date et heure...). Les avantages de ce système par rapport au tube traditionnel sont une mise en œuvre encore plus facile (toutes les informations sont contenues sur le code barre de la plaquette), une sensibilité et une précision accrues (l'œil humain n'intervient plus pour la détermination du résultat et le pompage est automatique). Contrairement aux tubes, le fabricant fournit, pour chaque plaquette, les corrections à apporter au résultat en fonction de la température, de l'humidité et de la pression ambiante. La précision annoncée est de l'ordre de 10-15 % du domaine de mesure. Malheureusement, le problème de sélectivité demeure s'il y a présence de gaz ou de vapeurs interférents au moment de l'opération de détection.

Les détecteurs à cellules électrochimiques et à capteurs semiconducteurs

Toujours basés sur le principe de l'interaction d'un polluant gazeux avec une substance sensible, les capteurs à cellule électrochimique ou à semi-conducteur sont intégrés dans des détecteurs permettant de mesurer en temps réel et en continu les niveaux de pollution en vapeurs de solvants.

Les cellules électrochimiques

Les détecteurs portables qui peuvent être équipés d'une ou plusieurs cellules électrochimiques sont nombreux sur le marché.

Une cellule électrochimique est constituée d'une membrane au travers de laquelle transite le gaz polluant (vapeur de solvant dans le cas qui nous intéresse), d'un électrolyte liquide et de trois électrodes (figure 5). La présence du solvant dans l'électrolyte génère une réaction d'oxydoréduction à l'origine d'un courant électrique mesurable et proportionnel à la quantité de molécules de solvant oxydées. Par exemple, dans le cas de la cellule électrochimique OV (Organic Vapor) distribuée par Draeger Industrie, la réaction chimique, qui a lieu en présence de méthanol, est décrite par l'équation :

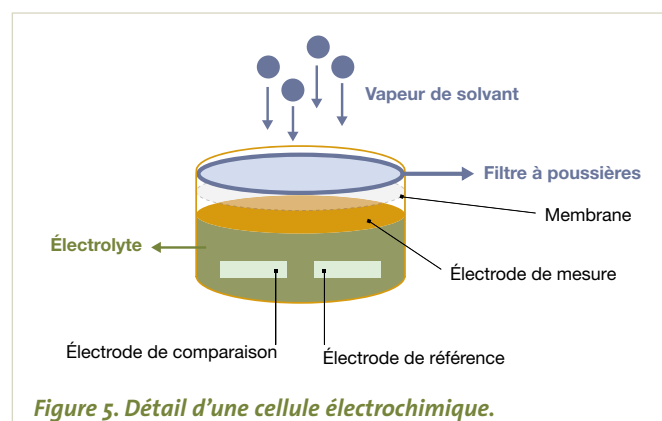
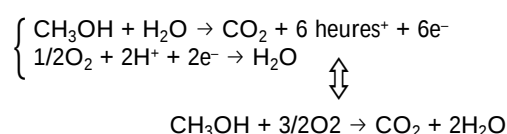


Figure 5. Détail d'une cellule électrochimique.



Figure 4.
Détecteur multi-gaz MiniWARN Draeger :
3 capteurs électrochimiques, 1 capteur catalytique,
1 capteur infra-rouge.

L'offre de capteurs à cellule électrochimique pour la détection des solvants est beaucoup plus réduite que celle des tubes et plaquettes colorimétriques. La sélectivité des capteurs dédiés à la détection des solvants et plus généralement des vapeurs organiques n'est que partielle. En gardant le même exemple que précédemment, la cellule OV est conçue pour détecter une dizaine de composés comme le méthanol, l'oxyde d'éthylène, le formaldéhyde, ou encore le chlorure de vinyle. Par contre, elle sera insensible à l'acétone ou du cyclohexane. La durée de vie de ces cellules est de l'ordre de 1 à 2 ans.

Les capteurs à semiconducteur

De par leur très faible encombrement, ces capteurs peuvent équiper des détecteurs très petits. Le modèle représenté figure 6 est des plus rudimentaires, l'affichage de la teneur en solvants et autres composés organiques volatils se faisant via une série de diodes lumineuses facilement interprétables :

- vert = atmosphère saine,
- orange = atmosphère à contrôler,
- rouge = atmosphère polluée.

Ce détecteur disposant néanmoins d'une sortie analogique, il est possible de lui associer un enregistreur de poche autonome pour avoir un suivi de la pollution. Le capteur équipant ce dispositif (figure 7) est constitué d'une couche sensible, un oxyde métallique. Lors de l'adsorption des molécules de solvant ou d'autres composés organiques volatils, la résistivité électrique de la couche, mesurée par le boîtier, est modifiée.



Figure 6. Détecteur de qualité de l'air ambiant C-21 Ozone équipé d'un capteur à semi-conducteur.

Ce type de capteur a un temps de réaction quasi-instantané en présence d'un polluant (solvant ou autre composé organique volatil) et son coût d'achat est très faible en regard des autres systèmes. En contrepartie, le nombre de polluants détectés est important et le vieillissement du capteur par contamination de la couche sensible est à surveiller.

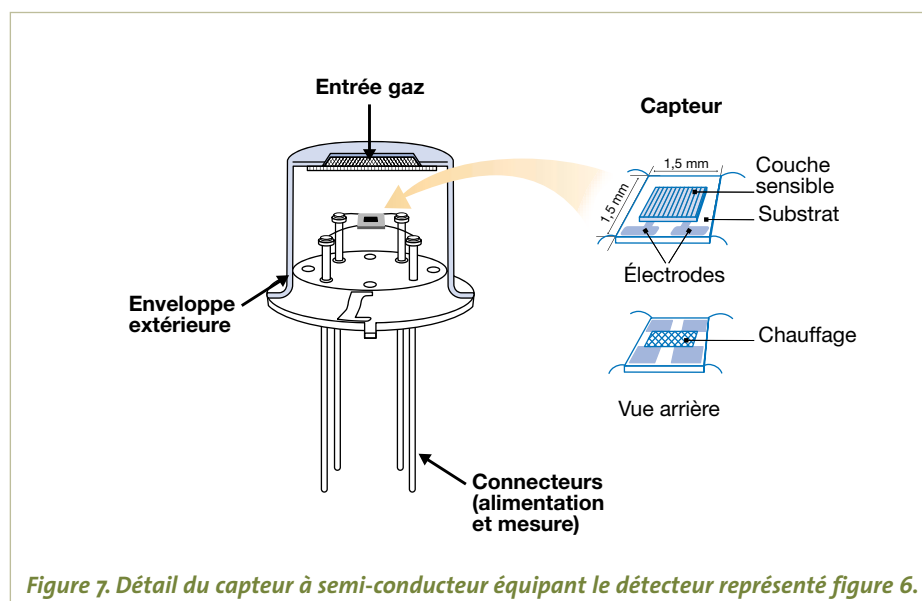


Figure 7. Détail du capteur à semi-conducteur équipant le détecteur représenté figure 6.

Les détecteurs à photo-ionisation (PID) et à ionisation de flamme (FID)

La dernière catégorie d'appareils utilisables pour la détection des solvants repose sur l'ionisation de ces molécules dans l'air ambiant. Les détecteurs à photo-ionisation (PID) et ceux à ionisation de flamme (FID) sont technologiquement les plus élaborés mais ils sont également les plus encombrants et les plus onéreux des détecteurs portables à lecture directe.

Les détecteurs à photo-ionisation (PID)

La figure 8 illustre le principe de fonctionnement d'un PID. Les différentes étapes du processus sont les suivantes :

- **Etape 1** : prélèvement des vapeurs de solvant à analyser. Dans la majorité des cas, les PID sont équipés d'une pompe de prélèvement interne (débit type de $0,5 \text{ l. min}^{-1}$) permettant de capturer les molécules de solvant présentes dans l'air ambiant et de les conduire jusqu'à la cellule de détection de l'appareil.
- **Etape 2** : ionisation des molécules. La lampe UV, générant un rayonnement UV d'une certaine énergie

(par exemple $11,7 \text{ eV}$), entraîne l'ionisation des molécules. Seules les molécules de solvants ayant un potentiel d'ionisation inférieur à l'énergie du rayonnement UV (fixée par la nature de la lampe) seront ionisées et donc détectables.

- **Etape 3** : détection et quantification. Les molécules ionisées sont ensuite collectées sur les électrodes polarisées du détecteur et créent un courant électrique proportionnel à la quantité de molécules de solvant "aspirées" par le PID. Un traitement du signal permet de donner une correspondance en concentration du solvant détecté (ppm ou mg. m^{-3}).
- **Etape 4** : recombinaison. Après détection, les molécules ionisées se recombinent. Ainsi, les molécules aspirées par le PID en ressortent intactes, ce qui permet de qualifier de non-destructrice la détection par un PID.

L'offre commerciale en PID se développe et plusieurs appareils reposent sur cette technologie (figures 9 et 10 pour quelques exemples) tout en se différenciant par leurs caractéristiques ou options.

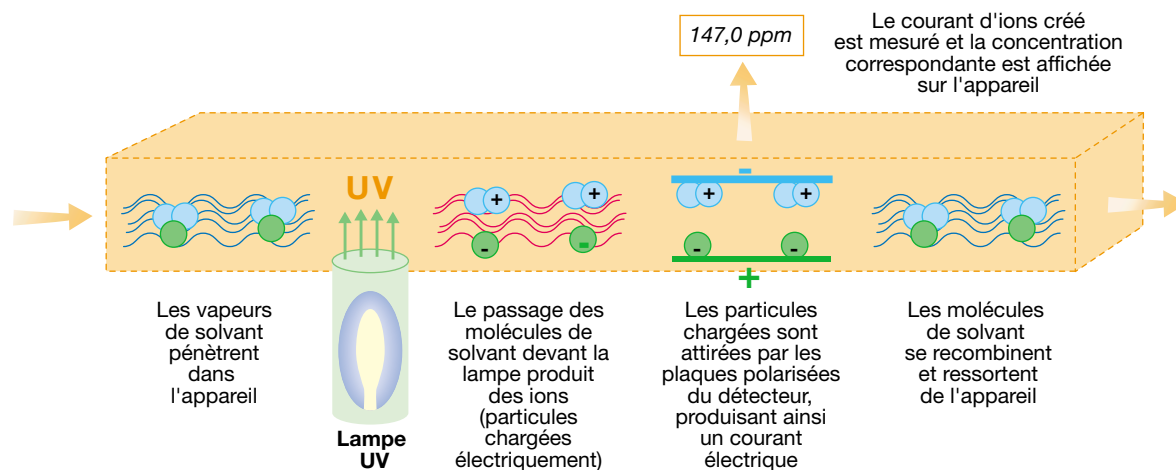


Figure 8. Principe de fonctionnement d'un détecteur à photo-ionisation.

De manière générale, chaque PID est équipé d'une pompe (débit de l'ordre de 0,3 à 0,6 l. min⁻¹) sauf un appareil particulier, le ToxiRAE, qui fonctionne en mode passif (un petit ventilateur assurant un brassage de la cellule de détection). Les gammes de mesure types vont de 0 à 2000 (voire 10 000) ppm avec une sensibilité pouvant atteindre quelques centaines de ppb². La précision est de $\pm 10\%$ de la mesure ou ± 2 ppm selon le pire des cas (concrètement, si le PID affiche une concentration de 45 ppm, l'erreur donnée par le constructeur est au plus de $\pm 4,5$ ppm. Mais si l'appareil affiche 1,5 ppm, l'erreur est alors de ± 2 ppm). Le temps de réponse est de l'ordre de la seconde. Les capacités des enregistreurs sont variables et peuvent atteindre 15 000 points. La masse des PID est inférieure au kilogramme et leur encombrement de l'ordre de 30 cm avec la sonde.

Du point de vue de la mise en œuvre, les PID sont d'une utilisation relativement simple mais nécessitent cependant un contrôle régulier car ils présentent une dérive dans le temps non négligeable. Cette dérive provient essentiellement de l'encrassement progressif de la

lampe UV. En effet, une lampe dont la fenêtre est sale sera moins transparente au rayonnement UV et la quantité de molécules potentiellement ionisées à un instant donné sera moindre.

Le principal défaut d'un PID reste sa non-sélectivité et une sensibilité variable selon les composés à analyser. En effet, tous les solvants et autres composés organiques volatils ayant un potentiel d'ionisation inférieur



Figure 10. Photovac 2020 PRO.

² ppb : partie par billion



Figure 9. ToxiRAE (à droite) et MiniRAE 2000 (à gauche).

au potentiel de la lampe UV seront détectés. Ainsi, à moins d'être en mono-pollution ou de connaître précisément tous les polluants et leur proportion dans l'air ambiant, il est impossible, avec un PID, de déterminer une concentration précise et encore moins d'identifier un polluant.

Prenons par exemple le cas d'un PID équipé d'une lampe à 10,6 eV. Considérons une atmosphère polluée contenant 1 ppm de benzène et 99 ppm d'isopropanol. Si le PID est calibré avec de l'isobutylène, la réponse de l'appareil sera en théorie de 18,4 ppm (résultat obtenu en tenant compte de la sensibilité de l'appareil vis-à-vis des deux solvants et en connaissant leurs proportions dans l'air ambiant). Ainsi, pour 100 ppm d'un mélange de solvants bien différents sur les plans de leurs structures chimiques et de leurs effets sur la santé, l'appareil va afficher 18 ppm en équivalent isobutylène, sans autre précision.

L'interprétation d'un résultat en l'absence de connaissances précises sur la nature des solvants présents reste ainsi très délicate.

Les détecteurs à ionisation de flamme (FID)



Figure 12. Photovac MicroFID.

La principale différence entre un PID et un FID est la source d'ionisation : pour un détecteur à ionisation de flamme et comme son nom l'indique, c'est une flamme qui ionise les molécules de solvants. Ce type d'appareil est donc équipé d'un brûleur alimenté en air et en hydrogène. Toutes les molécules comportant une liaison carbone-hydrogène (solvants organiques et autres composés organiques volatils) vont être ionisées à leur passage dans la flamme. Les particules chargées sont alors collectées et le courant électrique résultant est mesuré, comme pour un PID. Comme l'ionisation de flamme est un procédé destructif, les molécules qui sortent du FID ne sont pas de la même nature que celles qui y sont entrées.

Le nombre de modèles de FID portables est réduit. La masse d'un tel appareil est de l'ordre de 5 à 6 kg, soit à la limite de la portabilité. Un autre inconvénient est la nécessité de disposer d'une réserve d'hydrogène pour alimenter la flamme. Dans le cas de l'appareil présenté figure 12, il s'agit d'un réservoir interne qui permet une autonomie de l'ordre de la journée de travail. Un FID portable présente une plage de mesure de quelques ppm à 50 000 ppm et une sensibilité de l'ordre du ppm, voire quelques centaines de ppb pour le méthane.

Comme leurs cousins PID, les FID ont l'inconvénient majeur de ne pas être sélectifs. De plus, la sensibilité d'un tel détecteur dépend du type de la liaison carbonée, bien qu'il soit usuel de considérer, en première approche, que la réponse d'un FID est proportionnelle au nombre d'atomes de carbone de la molécule.

Cependant, le FID détectant la totalité des composés organiques volatils mis à part le formaldéhyde, l'acide formique et le sulfure de carbone, il est utilisé par les professionnels de l'environnement pour le contrôle des rejets dans l'atmosphère.

Synthèse

L'offre actuelle de détecteurs portables à lecture directe de solvants dans les atmosphères des lieux de travail est relativement large en termes de choix des techniques, comme en termes d'efficacité et de coût. Le tableau 3 résume les principaux avantages et inconvénients de ces différents appareils. Il est également important de noter qu'un grand nombre de ces détecteurs ne se limite pas aux solvants organiques mais détecte également d'autres composés organiques volatils n'ayant pas la fonction de solvants.

Appareils analytiques transportables

Il existe également quelques dispositifs de détection de solvants non pas portables mais uniquement transportables étant donné leur poids et leur encombrement. Il s'agit essentiellement :

- ▶ d'analyseurs à infra-rouge,
- ▶ de chromatographes de terrain,
- ▶ de chromatographes de terrain couplés à un spectromètre de masse.

Ces analyseurs sont des évolutions transportables d'appareils de laboratoire et permettent des mesures in situ. Leurs performances ne sont pas comparables aux détecteurs portables présentés précédemment : sensibilité de l'ordre du ppb ou inférieure et sélectivité (identification et quantification des solvants détectés). Cependant, leur complexité de mise en œuvre, leur fragilité et leur entretien nécessitent un personnel qualifié. De plus, leur coût (de l'ordre de 30 000-40 000 euros pour un chromatographe de terrain) est élevé. Ils sont donc réservés à des applications spécifiques.

Prospective

Comme nous venons de le souligner, la sélectivité demeure le principal défaut des détecteurs portables de solvants organiques dans l'atmosphère des lieux de travail.

Cependant, la miniaturisation de certains capteurs permet d'ores et déjà la conception de matrices de détection, matrices comportant plusieurs capteurs différents ayant des réponses différentes à des vapeurs données.

Type de détecteur	Facilité de mise en oeuvre	Facilité d'entretien	Coût d'investissement	Sélectivité	Sensibilité	Temps de réponse	Précision
Tube réactifs colorimétriques	+	+	+	+	+	+	+
Plaquettes colorimétriques	+	+	+	+	+	+	+
Détecteur à cellule électrochimique	+	+	+	+	+	+	+
Détecteur à semi-conducteur	+	+	+	+	+	+	+
PID	+	+	+	+	+	+	+
FID	+	+	+	+	+	+	+

Tableau 3. Comparaison des différents détecteurs. Pour chaque point, un nombre de un à quatre '+' est accordé à chaque appareil.

Un traitement adéquat du signal permet d'obtenir une "empreinte" chimique ; la difficulté réside ensuite dans l'identification de cette empreinte chimique, étape qui n'est possible qu'en connaissant la réponse de chacun des capteurs au solvant recherché. La comparaison à une base de données peut également permettre cette identification. Plusieurs projets de ce type sont en phase de développement en France.

L'autre possibilité, pour améliorer la sélectivité, est de parvenir à synthétiser des matériaux nouveaux sensibles à un solvant ou à une famille de solvants. De tels dispositifs, détectant spécifiquement les vapeurs de composés nitro-aromatiques, ont été récemment développés avec succès.

Il faut enfin remarquer la sortie de nouveaux types d'appareils d'analyse sélectifs, les spectromètres à mobilité ionique (ou IMS) portables. A l'heure actuelle, ces appareils sont dédiés à la détection, l'identification et la quantification d'agents innervants ou biologiques (gaz de combat), mais un développement ultérieur pour l'hygiène industrielle est envisageable.

Ainsi, il est raisonnable d'envisager favorablement le développement, d'ici quelques années, de nouvelles générations de détecteurs portables à lecture directe de solvants organiques.

Bibliographie

La détection des gaz et des vapeurs dans l'atmosphère des locaux de travail. ED 894, INRS, Paris, 2002, 12 p.

La réduction des émissions de composés organiques volatils dans l'industrie. ADEME, ministère de l'Environnement, 1997, 180 p.

Haag W.R., Wrenn C. - *Theory and applications of direct-reading photoinization detectors (PIDs).* 1st Edition, RAE Systems Inc., Sunnyvale (CA), 2002.

Monitoring VOC emissions: choosing the best option. GG203 Guide, Envirowise (www.envirowise.gov.uk), GB, 2004.

Measuring solvent vapour concentrations in the work environment. Best Practice Guidelines 1. European Solvents Industry Group, Bruxelles, 2003, 11 p.

Practical guidelines for measuring solvent vapour concentrations using chemical indicator tubes. Best Practice Guidelines 3. European Solvents Industry Group, Bruxelles, 2003, 24 p.

Rochel O., Martinez D., Hugues E. and Sarry F. - *Stereo-olfaction with a sniffing neuromorphic robot using spiking neurons.* Actes du congrès Eurosensors XVI, 2002.

Montmeat P., Théry-Merland F., Hairault L. - *Capteurs chimiques pour la détection d'explosifs. Techniques de l'Ingénieur. Analyse et caractérisation.* Recherche et Innovation, 2003, IN 14, 8 p.

Pour commander les films (en prêt), les brochures et les affiches de l'INRS, adressez-vous au service prévention de votre CRAM ou CGSS.

Services prévention des CRAM

ALSACE-MOSELLE

(67 Bas-Rhin)
14 rue Adolphe-Seyboth
BP 10392
67010 Strasbourg cedex
tél. 03 88 14 33 00
fax 03 88 23 54 13
www.cram-alsace-moselle.fr

(57 Moselle)
3 place du Roi-George
BP 31062
57036 Metz cedex 1
tél. 03 87 66 86 22
fax 03 87 55 98 65
www.cram-alsace-moselle.fr

(68 Haut-Rhin)
11 avenue De-Lattre-de-Tassigny
BP 70488
68018 Colmar cedex
tél. 03 89 21 62 20
fax 03 89 21 62 21
www.cram-alsace-moselle.fr

AQUITAINE

(24 Dordogne, 33 Gironde,
40 Landes, 47 Lot-et-Garonne,
64 Pyrénées-Atlantiques)
80 avenue de la Jallère
33053 Bordeaux cedex
tél. 05 56 11 64 00
fax 05 56 39 55 93
documentation.prevention@cramaquitaine.fr

AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal, 43 Haute-Loire,
63 Puy-de-Dôme)
48-50 boulevard Lafayette
63058 Clermont-Ferrand cedex 1
tél. 04 73 42 70 22
fax 04 73 42 70 15
preven.cram@wanadoo.fr

BOURGOGNE et FRANCHE-COMTÉ

(21 Côte-d'Or, 25 Doubs, 39 Jura,
58 Nièvre, 70 Haute-Saône,
71 Saône-et-Loire, 89 Yonne,
90 Territoire de Belfort)
ZAE Cap-Nord
38 rue de Cracovie
21044 Dijon cedex
tél. 03 80 70 51 22
fax 03 80 70 51 73
prevention@cram-bfc.fr

BRETAGNE

(22 Côtes-d'Armor, 29 Finistère,
35 Ille-et-Vilaine, 56 Morbihan)
236 rue de Châteaugiron
35030 Rennes cedex
tél. 02 99 26 74 63
fax 02 99 26 70 48
www.cram-bretagne.fr

CENTRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre,
37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)
36 rue Xaintrilles
45033 Orléans cedex 1
tél. 02 38 79 70 00
fax 02 38 79 70 30
prev@cram-centre.fr

CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime,
19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres,
86 Vienne, 87 Haute-Vienne)
4 rue de la Reynie
87048 Limoges cedex
tél. 05 55 45 39 04
fax 05 55 79 00 64
doc.tapr@cram-centreouest.fr

ÎLE-DE-FRANCE

(75 Paris, 77 Seine-et-Marne,
78 Yvelines, 91 Essonne,
92 Hauts-de-Seine, 93 Seine-Saint-Denis,
94 Val-de-Marne, 95 Val-d'Oise)
17-19 place de l'Argonne
75019 Paris
tél. 01 40 05 32 64
fax 01 40 05 38 84
prevention.atmp@cramif.cnamts.fr

LANGUEDOC-ROUSSILLON

(11 Aude, 30 Gard, 34 Hérault,
48 Lozère, 66 Pyrénées-Orientales)
29 cours Gambetta
34068 Montpellier cedex 2
tél. 04 67 12 95 55
fax 04 67 12 95 56
prevdoc@cram-lr.fr

MIDI-PYRÉNÉES

(09 Ariège, 12 Aveyron, 31 Haute-Garonne,
32 Gers, 46 Lot, 65 Hautes-Pyrénées,
81 Tarn, 82 Tarn-et-Garonne)
2 rue Georges-Vivent
31065 Toulouse cedex 9
tél. 05 62 14 29 30
fax 05 62 14 26 92
doc.prev@cram-mp.fr

NORD-EST

(08 Ardennes, 10 Aube, 51 Marne,
52 Haute-Marne, 54 Meurthe-et-Moselle,
55 Meuse, 88 Vosges)
81 à 85 rue de Metz
54073 Nancy cedex
tél. 03 83 34 49 02
fax 03 83 34 48 70
service.prevention@cram-nordest.fr

NORD-PICARDIE

(02 Aisne, 59 Nord, 60 Oise,
62 Pas-de-Calais, 80 Somme)
11 allée Vauban
59662 Villeneuve-d'Ascq cedex
tél. 03 20 05 60 28
fax 03 20 05 63 40
www.cram-nordpicardie.fr

NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche,
61 Orne, 76 Seine-Maritime)
Avenue du Grand-Cours, 2022 X
76028 Rouen cedex
tél. 02 35 03 58 21
fax 02 35 03 58 29
catherine.lefebvre@cram-normandie.fr
dominique.morice@cram-normandie.fr

PAYS DE LA LOIRE

(44 Loire-Atlantique, 49 Maine-et-Loire,
53 Mayenne, 72 Sarthe, 85 Vendée)
2 place de Bretagne
BP 93405, 44034 Nantes cedex 1
tél. 02 51 72 84 00
fax 02 51 82 31 62
prevention@cram-pl.fr

RHÔNE-ALPES

(01 Ain, 07 Ardèche, 26 Drôme,
38 Isère, 42 Loire, 69 Rhône,
73 Savoie, 74 Haute-Savoie)
26 rue d'Aubigny
69436 Lyon cedex 3
tél. 04 72 91 96 96
fax 04 72 91 97 09
preventionrp@cramra.fr

SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence,
05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes,
13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse Sud,
2B Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)
35 rue George
13386 Marseille cedex 5
tél. 04 91 85 85 36
fax 04 91 85 75 66
documentation.prevention@cram-sudest.fr

Services prévention des CGSS

GUADELOUPE

Immeuble CGRR
Rue Paul-Lacavé
97110 Pointe-à-Pitre
tél. 05 90 21 46 00
fax 05 90 21 46 13
lina.palmont@cgss-guadeloupe.fr

GUYANE

Espace Turenne Radamonthe
Route de Raban, BP 7015
97307 Cayenne cedex
tél. 05 94 29 83 04
fax 05 94 29 83 01

LA RÉUNION

4 boulevard Doret
97405 Saint-Denis cedex
tél. 02 62 90 47 00
fax 02 62 90 47 01
prevention@cgss-reunion.fr

MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes
97210 Le Lamentin cedex 2
tél. 05 96 66 51 31
05 96 66 51 32
fax 05 96 51 81 54
prevention@cgss-martinique.fr

Le développement de l'instrumentation pour la détection ou la mesure de substances chimiques dans l'atmosphère des lieux de travail trouve son origine dans les limitations du premier des capteurs portables à lecture directe, à savoir le nez humain.

Le système olfactif humain est un détecteur imparfait. De plus, le seuil olfactif et la toxicité d'un gaz sont indépendants ; il existe ainsi des produits très toxiques indécélables par le nez humain, l'oxyde de carbone par exemple. Il est donc particulièrement intéressant de disposer de détecteurs portables à lecture directe, faciles et rapides d'utilisation pour la surveillance des atmosphères des lieux de travail.

Ce document présente les différentes technologies utilisables pour la détection des solvants ainsi que les possibilités et les limites de ces détecteurs.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00
Fax 01 40 44 30 99 • Internet : www.inrs.fr • e-mail : info@inrs.fr

Édition INRS ED 952

1^{re} édition. avril 2005. 5000 ex. ISBN 2-7389-1308-3