

Étude de cas

APPAREILS DE PROTECTION RESPIRATOIRE (APR) À VENTILATION ASSISTÉE

Protocole d'aide pour déterminer la fréquence de changement des cartouches antigaz

DAMIEN ARNOUX, OLIVIER CULIÉ
Santé Travail Drôme Vercors (STDV)

BRUNO GALLAND
INRS, département Ingénierie des procédés

→ **LA PROBLÉMATIQUE:** Les services de prévention et de santé au travail (SPST) accompagnent au quotidien les entreprises adhérentes dans leur démarche de prévention des risques professionnels. Cet accompagnement général peut s'illustrer, par exemple, par un conseil personnalisé sur le choix et l'utilisation d'équipements de protection individuelle (EPI) comme les appareils de protection respiratoire (APR). Une des questions récurrentes à laquelle sont confrontés les SPST est celle de la fréquence de changement des cartouches antigaz des APR.

→ LA RÉPONSE DU SPST SANTÉ TRAVAIL DRÔME VERCORS (STDV)

Accompagné par l'INRS, le SPST STDV a développé un protocole dénommé « Petesaf » (pour « *Protocole expérimental de test de la saturation d'un filtre gaz* »), qui vient étoffer et compléter l'ensemble des outils dédiés au choix et au bon usage des APR antigaz. Articulé autour de l'utilisation d'un détecteur de gaz à lecture directe et dédié à la catégorie des APR à ventilation assistée (ou à pression positive), ce protocole a été expérimenté avec succès au sein de deux entreprises et a ainsi permis de proposer une fréquence de changement des cartouches des APR propre aux postes de travail étudiés.

Contexte

En application des principes généraux de prévention, les équipements de protection individuelle

(EPI), dont les appareils de protection respiratoire (APR) font partie, représentent la dernière barrière à envisager afin de réduire l'exposition à un danger. En dépit de ce positionnement, les APR sont rencontrés dans de très nombreuses situations de travail où ils représentent régulièrement, pour les salariés et les employeurs, le principal moyen de réduction de l'exposition aux agents chimiques dangereux. Il est donc essentiel de disposer de données quant à l'efficacité de ces dispositifs, au cours du temps et en situations réelles de travail. Les APR filtrants à pression positive, dénommés par la suite appareils à ventilation assistée, sont de plus en plus rencontrés en entreprise. La mise en surpression de la pièce faciale permet notamment de limiter l'entrée de polluants au niveau de l'interface visage-appareil. Ces entrées de polluants peuvent avoir pour origine une inadaptation de la pièce faciale au visage du porteur, la présence d'une barbe, même de quelques heures, la présence de cicatrices, le port simultané de lunettes... Le port d'un appareil à ventilation assistée est par ailleurs régulièrement associé à une hausse du niveau de confort perçu par le porteur par rapport à un appareil à pression négative. L'épuration des substances gazeuses dangereuses de l'atmosphère de travail par un APR repose sur l'adsorption de ces polluants par des cartouches antigaz, qui ont une capacité finie de piégeage. La durée d'utilisation (ou fréquence de changement) d'une cartouche est corrélée au temps de claquage (t_c) de la cartouche, à savoir le temps



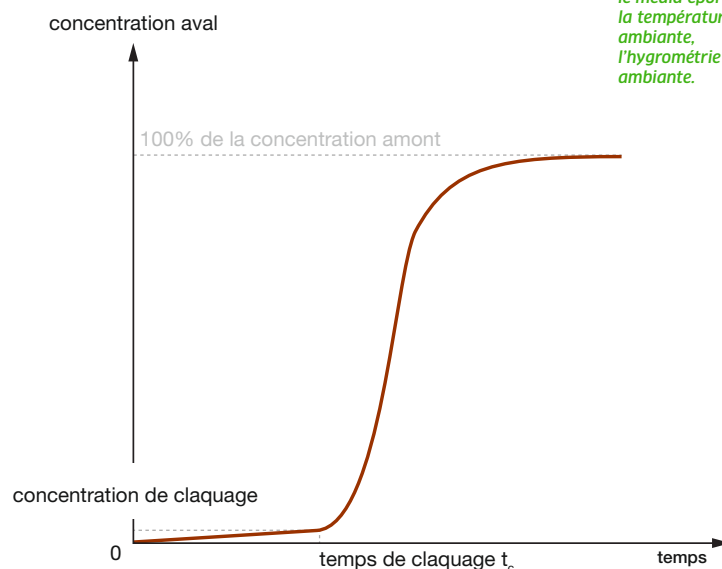
© Patrick Delapierre pour l'INRS / 2023

au bout duquel la concentration en polluants traversant le média filtrant sans y rester piégés, augmente rapidement et de façon sensible. Ce temps est fonction de plusieurs paramètres, comme la nature du ou des polluants, leur concentration dans l'atmosphère de travail, la température et l'humidité ambiantes, les conditions de stockage et le débit respiratoire. Une « courbe de claquage » présente généralement trois phases (Cf. Figure 1) : une première phase durant laquelle le charbon actif de la cartouche adsorbe la quasi-totalité des polluants, une deuxième phase dite « de claquage » où la concentration en aval du filtre augmente très rapidement, et enfin une troisième phase correspondant à un régime stationnaire, durant lequel les concentrations amont et aval sont sensiblement les mêmes.

Des outils de calculs prédictifs intégrant ces paramètres existent et peuvent être utilisés pour estimer une durée de claquage des cartouches antigaz, dans des configurations de travail précises. Il peut s'agir de logiciels développés par des fabricants d'APR ou par des organismes de prévention comme l'INRS et son outil Premedia (Cf. Pour en savoir plus). Pour fournir une estimation de la durée de claquage des filtres antigaz, ces outils prédictifs doivent cependant être alimentés par des données souvent délicates à obtenir pour les entreprises de petite taille, notamment les

substances présentes dans l'air des locaux de travail et leurs concentrations atmosphériques. Pour pallier cette difficulté, le service de prévention et de santé au travail (SPST) de Drôme Vercors (STDV) a défini et expérimenté le protocole Petesaf auprès de deux entreprises. Basée sur l'utilisation d'un détecteur de gaz temps réel, la mise en œuvre de ce protocole permet d'apporter une réponse personnalisée tenant compte des spécificités de chacun des postes de travail.

↓ **FIGURE 1**
Courbe de claquage type d'une cartouche antigaz.
Le temps de claquage est fonction de plusieurs paramètres comme la nature du ou des polluants, leur concentration atmosphérique, le débit d'air traversant le média épurant, la température ambiante, l'hygrométrie ambiante.



Le protocole « Petesaf »

Le protocole de mesure mis en œuvre consiste à mesurer, à intervalles réguliers *via* un détecteur de gaz portable à lecture directe, la concentration en polluants gazeux en sortie du bloc filtrant de la ventilation assistée, appareil en marche. Une augmentation de la concentration en gaz en sortie du filtre peut être associée à un phénomène de claquage de ce dernier ou à une inadéquation du type de cartouche avec une ou plusieurs substances gazeuses présentes dans l'atmosphère de travail. Par exemple, une cartouche de type A piègera les composés organiques volatils (COV) dont la température d'ébullition est supérieure à 65 °C tant que le temps de claquage n'est pas atteint,

mais ne stoppera pas des gaz inorganiques comme l'ammoniac (NH_3) ou le chlore (Cl_2), pour lesquels une cartouche de type B est nécessaire.

Dans les deux exemples qui sont présentés par la suite, les opérateurs sont équipés d'APR auxquels sont associées des cartouches de type A, efficaces pour l'adsorption des COV (Cf. Encadré). Le détecteur de gaz qui est utilisé est du type à photo-ionisation (PID Ion Science CUB), muni d'une lampe à 10,6 eV. En préalable à l'application du protocole Petesaf, le détecteur est calibré en deux points avant chaque journée de mesure en respectant les préconisations du fabricant. Le calibrage du point « zéro » est réalisé en air extérieur, loin de toute source de pollution. Le second point de calibrage est opéré *via* une bouteille étalon d'isobutène (C_4H_{10}) à 100 ppm_v équipée d'un détendeur délivrant un débit de gaz de 0,5 L/min, le détecteur étant alors relié au détendeur *via* une tubulure en téflon et une coiffe de calibrage propre à l'appareil. La limite de 0,5 ppm_v équivalent isobutène, choisie pour qualifier l'état fonctionnel de la cartouche, correspond à cinq fois la limite de détection de l'instrument. Cette valeur seuil n'est pas corrélée à la toxicité des composés gazeux mais dépend uniquement des performances métrologiques du détecteur utilisé. Autrement dit, dès que la lecture du PID en sortie du bloc d'épuration/ventilation de l'APR dépasse 0,5 ppm_v, la cartouche est considérée comme saturée et donc non fonctionnelle.

ENCADRÉ

PROTOCOLE PETESAF APPLIQUÉ À DES APR PROTÉGÉANT CONTRE LES COV

1. Allumer le détecteur à photo-ionisation (PID), préalablement calibré, en air *a priori* propre (extérieur en absence de polluants organiques) et vérifier que la concentration affichée n'est pas supérieure à 0,1 ppm_v.
 2. Vérifier que le PID est sensible aux polluants volatils présents dans le ou les produits utilisés. Pour cela, maintenir le PID à proximité du produit (typiquement à une distance de l'ordre de 10 cm) pendant au minimum une minute. L'absence de réponse du détecteur lors de cette phase révèle que l'appareil de mesure n'est pas sensible aux éventuels polluants présents et signifie par conséquent l'arrêt du protocole.
 3. Sortir l'appareil à ventilation assistée et le PID en extérieur ou dans un local sans pollution. Rendre accessible la sortie d'air du bloc filtrant en désaccouplant le tuyau d'arrivée à la pièce faciale et positionner le PID à proximité immédiate de cette sortie. Lancer la mesure au PID. Démarrer la ventilation assistée. Mesurer pendant au moins une minute. Une concentration dépassant durablement 0,5 ppm_v (au-delà d'un éventuel pic ponctuel au début de la mesure) indique un claquage de la cartouche. Si la concentration reste inférieure à 0,5 ppm_v, passer à l'étape suivante.
 4. Cas de mesures en entreprise : rentrer dans le local de travail avec la ventilation assistée en marche et le PID en sortie du bloc filtrant. Positionner l'ensemble à proximité du ou des produits habituellement utilisés (contenant ouvert). Mesurer pendant au minimum une minute. Comme précédemment, une concentration au PID > 0,5 ppm_v indique un claquage de la cartouche ou une inadéquation du filtre gaz.
 5. Cas de mesure au sein du SPST : même protocole que ci-dessus avec apport du ou des produits utilisés au poste de travail, au sein des locaux du SPST (mesure en extérieur ou au niveau d'un captage localisé type sorbonne ou dosseret aspirant).
 6. Appliquer le protocole ci-dessus à intervalles réguliers (quotidien, hebdomadaire, bimensuel...).
- L'intervalle sera choisi en fonction de la durée de claquage estimée (outil de simulation numérique, retour des opérateurs, expérience de postes similaires...).

Exemple n° 1 : poste de peinture dans le secteur de la construction métallique

Une entreprise du secteur de la construction métallique a fait l'objet d'un accompagnement à l'évaluation et la réduction du risque chimique par le service STDV. Ainsi, en complément de la mise en place de protections collectives (cabine ventilée à flux vertical, local de préparation avec captage localisé), la mise en place d'un appareil à ventilation assistée (3M TR600 avec cartouche A2P) au poste de peintre s'est avérée nécessaire pour la mise en peinture de certaines pièces. La question de la fréquence de changement des filtres antigaz s'est alors posée.

Le choix d'une cartouche de type A2P permet de protéger l'opérateur contre les vapeurs organiques et notamment les vapeurs de xylène, principal composé volatil de la peinture, et contre les gouttelettes issues de la pulvérisation.

Le protocole Petesaf a alors été décliné au sein de cette entreprise, avec une fréquence de mesure toutes les semaines au poste de travail du peintre. Une cartouche A2P neuve est mise en place au début de chaque cycle de mesure, et dès lors qu'un claquage est identifié. Quatre séries de mesures, débutant avec une cartouche neuve, ont ainsi été

réalisées, sur une durée totale de 45 semaines. Parallèlement aux mesures sur site, un tableau a été fourni au peintre afin qu'il renseigne la durée hebdomadaire cumulée de temps de port de l'appareil à ventilation assistée, ce dernier étant systématiquement porté lors des tâches exposantes (mélange, pulvérisation, nettoyage...).

La Figure 2 illustre l'étape 2 du protocole Petesaf : le détecteur de gaz, de type PID passif, est placé au-dessus de la source d'émission de COV, à savoir le pot de peinture ouvert. En supposant que le principal composé volatil est du xylène, l'affichage par l'appareil d'une concentration de 13,4 ppm_v en équivalent isobutène correspond en fait à environ 7 ppm_v de xylène.

La Figure 3 illustre l'étape 3 du protocole. Le détecteur de gaz est placé en sortie du bloc d'épuration/ventilation de l'appareil de protection respiratoire à ventilation assistée équipé d'une cartouche neuve. La mesure du détecteur, ventilateur en fonctionnement, indique l'absence de COV en sortie de cartouche ; la protection est fonctionnelle.

La Figure 4 illustre toujours l'étape 3 du protocole, le PID détectant la présence de vapeurs organiques en sortie du bloc d'épuration/ventilation de l'APR. Dans ce cas, la cartouche est considérée comme non fonctionnelle, des polluants traversant le média épurant sans être piégés.

Une première phase de test a permis de mettre en lumière le claquage de la cartouche A2P à partir de la neuvième semaine, correspondant environ à 122 heures de port de l'APR par le peintre. En appliquant un facteur de sécurité, l'hypothèse d'une durée d'utilisation de la cartouche A2P d'environ 100 heures de port, soit huit semaines, a été retenue. Cette hypothèse a été testée à trois reprises (Cf. Figure 5).

Seuls deux des trois tests de validation réalisés ont pu être exploités. Le premier test de validation n'a



← FIGURE 2
Vérification de la réponse du PID aux polluants volatils en plaçant l'appareil juste au-dessus de la source (seau de peinture). Étape 2 du protocole Petesaf.



← FIGURE 3
Mesure en sortie du bloc de ventilation de l'APR équipée d'une cartouche A2P neuve. Le PID indique 0,0 ppm_v, preuve qu'aucune vapeur organique n'est relarguée par la cartouche. Étape 3 du protocole Petesaf, cas d'une cartouche fonctionnelle, non saturée.



← FIGURE 4
Mesure en sortie de bloc de ventilation de l'APR. Le PID indique la détection de vapeurs organiques en sortie de cartouche. Étape 3 du protocole Petesaf, cas d'une cartouche non fonctionnelle, saturée.

↓ FIGURE 5 Déroulement du protocole Petesaf sur environ neuf mois d'activité de l'entreprise. Le test initial a permis de poser l'hypothèse d'une fréquence de changement de la cartouche A2P toutes les huit semaines. Le premier test de validation consécutif au test initial n'a pu être conduit à son terme pour des raisons matérielles et d'organisation et ne peut donc être exploité. Les deuxième et troisième tests confirment que la cartouche A2P protège toujours le peintre à l'issue de chaque période de huit semaines d'utilisation préconisée.

Cartouche neuve
Cartouche non saturée
Cartouche saturée



pu être conduit à son terme pour des raisons techniques et organisationnelles :

- panne du détecteur à l'issue de la cinquième semaine de mesure (cartouche non saturée durant les cinq premières semaines d'utilisation) ;
- congés estivaux du peintre ;
- manque de cartouches neuves du fait d'une tension accrue sur le marché des APR à l'époque.

Le test initial et les deux tests de validation exploitables ont montré que la cartouche A2P ne claquait pas au bout de huit semaines d'activités. Ces tests, couvrant neuf mois d'activité du peintre, dont une période hivernale et une période estivale, ont montré que la cartouche mixte A2P demeurait dans un état « non saturé » pendant au moins huit semaines d'une activité habituelle, correspondant à environ 100 heures de port cumulées.

Au final, la fréquence de changement de la cartouche a été vérifiée sur trois périodes distinctes de l'année.

Lors des mesures hebdomadaires réalisées dans le cadre de ce protocole, le même PID a été utilisé pour estimer les niveaux ambiants de COV lors des phases de travail du peintre. Les niveaux mesurés sont de l'ordre d'une quarantaine de ppm_v de COV en équivalent isobutène soit, en se basant sur l'hypothèse du xylène comme solvant volatil majoritaire, une concentration atmosphérique de l'ordre d'une vingtaine de ppm_v de xylène. Cette donnée est alors utilisée pour alimenter le modèle prédictif du fabricant de l'APR¹. Deux simulations sont alors réalisées afin d'estimer la durée de claquage de la cartouche A2P dans les conditions les plus favorables et les plus défavorables susceptibles d'être

rencontrées au poste de peintre, pour les trois paramètres connus pour influencer la durée de claquage d'une cartouche antigaz que sont la température, l'humidité relative et le débit d'air :

- configuration la plus favorable: température de 0 °C, humidité relative inférieure à 65 % et débit d'air minimal (185 L/min) ;
- configuration la plus défavorable: température de 40 °C, humidité relative de 65 % et débit d'air maximal (225 L/min).

La durée de claquage dans la configuration la plus favorable est de 138 heures (durée maximale), celle de la configuration la plus défavorable de 61 heures (durée minimale). La durée de claquage de 100 heures, déterminée en conditions réelles à l'aide du protocole Petesaf, est comprise dans l'intervalle prédit par l'outil de calcul du fabricant.

Exemple n° 2: réparation de tenues de plongée

Le protocole Petesaf a également été déployé au sein d'un établissement spécialisé en réparations de tenues de plongée. Ces activités impliquent l'utilisation de divers produits solvantés, notamment des solvants de nettoyage et des colles néoprène et polyuréthane. Une multitude de substances organiques volatiles sont présentes dans ces produits, notamment du toluène, de l'éthylbenzène, des alcanes, de l'acétate d'éthyle et du cyclohexane. En complément de l'amélioration des moyens de protection collective existants (enclassement, captages dans les locaux), un appareil à ventilation assistée (3M TR600 avec cartouche A2P) est également recommandé par le STDV. Les mesures effectuées à l'aide d'un PID au poste d'encollage

FIGURE 6 →
Opération d'encollage au pinceau. L'appareil au premier plan est un PID affichant une concentration de COV en équivalent isobutène supérieure à 50 ppm_v.



© Damien Arnoux / STDV

confirment la nécessité de la protection respiratoire en supplément du captage (Cf. Figure 6).

La nature et la concentration de chacun des solvants présents dans l'atmosphère de travail étant inconnues, le recours à des outils numériques prédictifs est impossible. Afin d'estimer la durée de claquage de la cartouche antigaz, il a été convenu que la cheffe d'entreprise se rende une fois par semaine dans les locaux de STDV pour réaliser les tests décrits dans le protocole, en apportant la protection respiratoire à ventilation assistée et la colle la plus utilisée.

La durée de chaque mesure est d'environ dix minutes. Le claquage du filtre a été identifié après dix semaines d'utilisation.

Synthèse

Le déploiement du « protocole Petesaf » a permis de fournir aux deux entreprises concernées une information claire et personnalisée sur la fréquence de remplacement des cartouches antigaz en tenant compte de la réalité des activités réalisées. Cette estimation est obtenue sans requérir de données précises concernant les substances présentes dans l'air et leurs concentrations respectives. Ceci représente un vrai plus en termes de déploiement en entreprise car ces données sont souvent délicates à obtenir. Le cas d'étude de l'exemple n° 1, où seul un polluant majoritaire de concentration connue est présent, permet de constater que la recommandation résultant du déploiement de Petesaf est en accord avec les modèles numériques prédictifs, tout en étant plus représentative des conditions réelles d'utilisation de l'APR.

La mise en œuvre de ce protocole nécessite :

- de disposer des matériels de métrologie temps réel correspondant à la problématique, maintenus en état de fonctionnement selon les règles de l'art ;
- le recours à du personnel formé à l'utilisation des détecteurs temps réel et des appareils de protection respiratoire.

Son déploiement en entreprise contribue à améliorer la prévention du risque chimique et permet à l'entreprise de planifier l'approvisionnement en cartouches en fonction de ses activités réelles. Le protocole Petesaf doit être à nouveau mené dès lors qu'un changement susceptible d'affecter la durée de claquage des cartouches antigaz se produit, comme un changement de produits, une modification de procédé et une augmentation ou diminution de l'activité... En ce sens, un accompagnement des entreprises par les SPST peut leur permettre de s'approprier en interne le protocole, sous réserve



© Fabrice Dimier pour l'INRS / 2023

d'une formation à l'utilisation des détecteurs de gaz temps réel, et ainsi de vérifier régulièrement que la fréquence de changement des cartouches initialement définie reste pertinente. ●

1. Voir : <https://sls.3m.com/selectresultstype>

Appareil de protection respiratoire équipé de deux cartouches filtrantes.

POUR EN SAVOIR +

- COATES L. ET AL. – Appareils de protection respiratoire : évaluer la compatibilité avec l'état de santé du travailleur. *Références en santé au travail*, 2025, 182, TC 183, pp. 17-35. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TC%20183>
- GUIMON M. – *Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation*. INRS, ED 6106, 2020, 64 p. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206106>
- INRS – *Prémédia : logiciel pour la prédiction de la durée d'utilisation d'une cartouche d'APR*. Accessible sur : <https://premedia.inrs.fr/Premedia/jsp/Accueil.jsp>