

Notes techniques

CARTOGRAPHIER L'EXPOSITION INDIVIDUELLE AUX SUBSTANCES CHIMIQUES

Dans leur espace de travail, l'exposition des salariés aux produits chimiques est très variable dans le temps et l'espace. Il est donc primordial de cartographier cette exposition individuelle pour aider les professionnels de la prévention à définir des solutions de prévention. C'est ce que permet l'outil Dactari, en cours de développement au sein de l'INRS.

PATRICK MARTIN
INRS,
département,
Ingénierie des
procédés

Les salariés sont souvent amenés à se déplacer dans un espace déterminé qui correspond à leur poste de travail. Lorsqu'ils sont exposés à une source de pollution chimique, les niveaux de cette exposition sont variables dans le temps et dans l'espace, rendant d'autant plus difficile la mise en place de mesures de prévention des risques et d'améliorations du poste de travail adaptées. En effet, l'acquisition des données spatiales et temporelles liées aux expositions est très utile pour identifier les zones dans lesquelles une protection de l'opérateur doit être prioritairement appliquée, car elles correspondent à une durée de présence importante et/ou à des expositions élevées. Les résultats d'une telle cartographie doivent

également permettre le positionnement de détecteurs fixes représentatifs de l'exposition globale du poste de travail. Pour acquérir ces données, il est nécessaire de disposer d'un outil passif permettant une analyse en continu. L'outil Captiv¹ développé par l'INRS permet d'obtenir uniquement la répartition temporelle de l'exposition. Aussi l'INRS a développé Dactari (Dispositif d'acquisition de trajectographie pour l'analyse du risque individuel), un outil de cartographie d'exposition individuelle utilisable sur le terrain.

Dactari permet de réaliser de manière simultanée et synchronisée l'enregistrement des données d'exposition professionnelle d'un opérateur à son poste de travail, de sa position dans l'atelier (géolocalisation) et d'une vidéo de son activité.

RÉSUMÉ

L'exposition moyenne d'un salarié à son poste de travail est souvent le résultat d'une succession d'expositions variables dans le temps et dans l'espace. Si l'on souhaite agir efficacement sur ce risque, il est nécessaire de réaliser une cartographie, la plus précise

possible, en termes de pollution de l'atelier étudié. C'est dans cet objectif que l'INRS a développé l'outil Dactari. L'étude d'un poste comprend une première phase d'enregistrement des données de pollution de l'atelier synchronisées avec la position de l'opérateur dans

l'atelier. La seconde phase permet de dépouiller les enregistrements pour fournir une carte de l'exposition du salarié durant son activité. Ces informations conduisent à des propositions d'amélioration concrètes du poste de travail.

Mapping individual exposure to chemical substances

Mean exposure of an employee at the work station is often the result of a succession of exposures that vary over time and in space. If we want to act effectively on this risk, it is necessary for the pollution of the workshop being studied to be

mapped as accurately as possible. For this purpose, INRS has developed the tool "DACTARI". Studying a station involves a first phase for recording workshop pollution data that are synchronised with the position of the operator in the workshop. A

second phase makes it possible to analyse the recordings to provide a map of the exposure of the employee while he or she is working. That information leads to practical proposals for improving the work station.

Les données ainsi obtenues peuvent être analysées par le professionnel de la prévention de manière à proposer des solutions adaptées au poste étudié. Bien que les exemples présentés ici concernent le suivi de l'exposition d'un opérateur à des solvants organiques, Dactari permet d'étudier l'exposition à d'autres risques si l'on dispose d'un capteur adapté (poussières, vibrations...). Les différents éléments constitutifs de l'outil sont présentés successivement.

Acquisition des données d'exposition

Un ensemble de transmission de données sans fil a été réalisé (Cf. Figure 1). Ce système permet l'acquisition de données sur six voies de mesures analogiques dans trois gammes de tension. La fréquence d'acquisition est fixée à 25 Hz et sa portée est de 300 m en champ libre. Il s'agit, ici, d'un module utilisant des choix techniques éprouvés et qui ont déjà été validés en laboratoire ainsi qu'en environnement industriel.

Le choix du capteur est imposé par le type d'exposition que l'on souhaite mesurer. Si l'on désire mesurer l'exposition d'un opérateur à des solvants organiques, il faut utiliser un détecteur à photo-ionisation (PID), comme le MiniRAE 2000. Cet appareil dispose d'une sortie du signal d'exposition sous la forme d'une tension de 0 à 2,5 volts. Ce signal peut donc être enregistré en temps réel dans Dactari par le biais de la télémétrie (Cf. Figure 2). Dans le cas d'expositions à des aérosols, c'est un photomètre qu'il faut utiliser. Dans le cas où le détecteur choisi ne dispose pas d'une sortie analogique, mais possède une mémoire interne pour le stockage des données, il est toujours possible de rapatrier ces données dans le logiciel *a posteriori*.

Système de géolocalisation de l'opérateur

Par pointage laser

L'objectif fixé pour la localisation de l'opérateur est de pouvoir réaliser les mesures dans un atelier de 20 m de côté avec une précision de l'ordre de 30 cm. Le système doit être facile et rapide à installer et à configurer (moins d'une heure) et son coût doit rester acceptable. L'outil étant prévu pour fonctionner à l'intérieur d'un bâtiment, les solutions de positionnement par GPS ou par balises radio ne sont pas envisageables. La technique de localisation par pointage à distance a donc été retenue et il a été décidé de coupler un télémètre laser équipé d'un inclinomètre à un capteur d'angle. Le pointage manuel de cet appareil sur l'opérateur permet alors d'obtenir sa position en temps réel en coordonnées polaires. Le matériel choisi pour la réalisation de l'outil est un télémètre laser Dimetix EDS-C30, couplé à un capteur d'angle ASM de 0 à 180°.

Le couplage mécanique des deux appareils permet de fixer l'ensemble sur un pied photo.



© Patrick Martin/INRS

← FIGURE 1
Transmission de données sans fil pour Dactari.



© Serge Morillon/INRS

← FIGURE 2
Équipement de l'opérateur pour la mesure des solvants organiques.

Compte tenu des précisions annoncées par les fabricants, on obtient une erreur sur la mesure de 16 cm à 20 m de distance. Cette valeur correspond au cahier des charges fixé et semble réaliste compte tenu des erreurs de pointage sur l'opérateur à cette distance. Les informations du télémètre laser sont transmises à un ordinateur portable par l'intermédiaire d'une carte d'acquisition de données (National Instruments NI6008), le capteur d'angle est interfacé avec l'ordinateur portable à l'aide de la même carte d'acquisition que le télémètre laser. Une caméra IP, fixée sous le télémètre laser, permet l'enregistrement vidéo des déplacements de l'opérateur dans l'atelier. Cette caméra dotée d'un système intégré de compression vidéo au format H264 permet d'obtenir des fichiers vidéo en bonne résolution et de taille réduite. Tous ces éléments sont rassemblés dans un boîtier unique (Dactari Box).





↑ FIGURE 3 Suivi du déplacement d'une personne.



↑ FIGURE 4 Positionnement sur le plan de l'opérateur en « mode tablette ».

Durant la phase d'enregistrement, l'utilisateur de Dactari suit les déplacements de l'opérateur en le pointant comme présenté sur la figure 3.

Par pointage de l'écran

Outre le mode de fonctionnement par pointage laser, l'outil Dactari peut également être utilisé en mode tablette. Dans ce cas, l'utilisateur pointe directement la position de l'opérateur qu'il suit sur l'écran de sa tablette (Cf. Figure 4). Il est à noter que, dans ce mode, on ne dispose pas de l'enregistrement vidéo. En revanche, il ne nécessite pas de pointage laser. Il n'y a donc aucune installation de matériel à réaliser avant le début de l'essai. L'utilisation du mode tablette est bien adaptée aux ateliers très encombrés où il n'est pas toujours possible d'obtenir la position de l'opérateur avec le pointeur. L'utilisateur peut, par un simple clic sur le plan, positionner l'opérateur dans l'atelier.

Une utilisation complémentaire du mode tablette est la réalisation rapide d'une cartographie de pollution d'un atelier. Dans ce cas, le préventeur s'équipe lui-même du capteur d'exposition et se déplace dans l'atelier en pointant sur la tablette les différents lieux où il se trouve. Le système associe alors la mesure faite par le capteur au lieu pointé. Cela permet de réaliser rapidement une cartographie de pollution de l'atelier étudié indépendamment de la présence d'un opérateur. Cette approche peut s'avérer intéressante

pour une pré-visite avant une intervention complète ou pour fournir à l'entreprise des informations dans le cadre d'une évaluation des risques.

Le logiciel Dactari

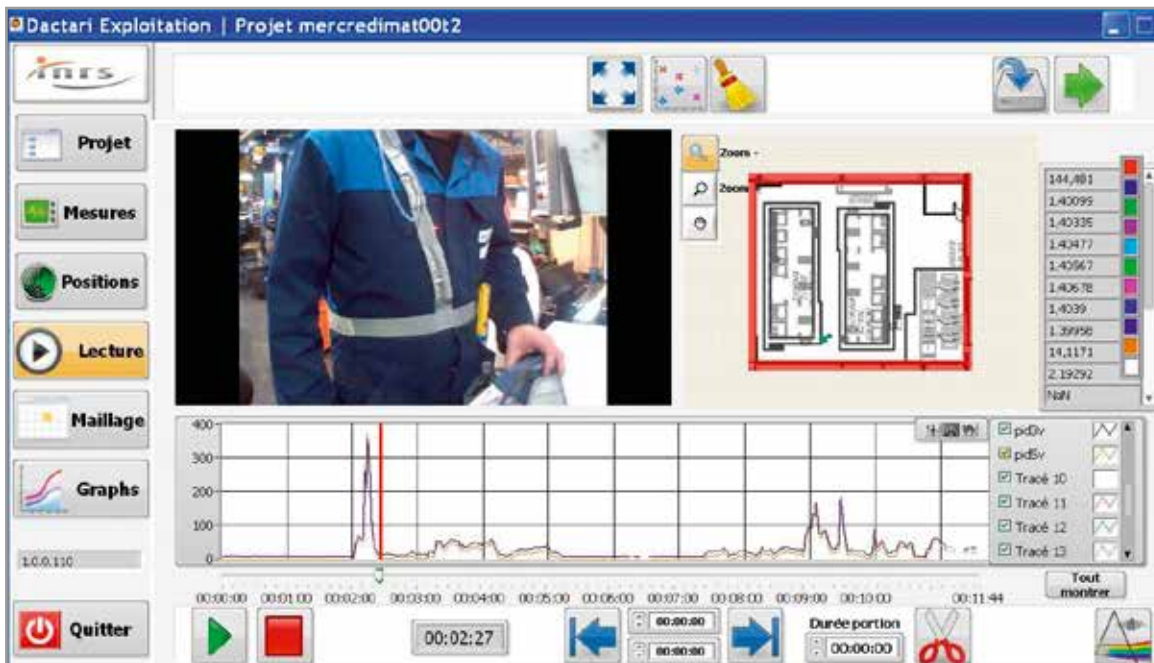
Le logiciel Dactari est composé de deux modules indépendants développés dans l'environnement Labview de National Instruments et fonctionne sous Windows.

Le module d'acquisition des données permet l'enregistrement des données d'exposition, des vidéos, des données de trajectographie et d'informations texte indexées. Durant la phase d'enregistrement, l'expérimentateur dispose d'une visualisation en continu des différentes sources (vidéo, localisation, données d'exposition) pour vérifier que l'enregistrement se produit de manière satisfaisante. Il a également la possibilité d'ajouter un commentaire sous forme de texte durant l'enregistrement. Ce texte sera indexé dans le temps de manière à pouvoir être retrouvé.

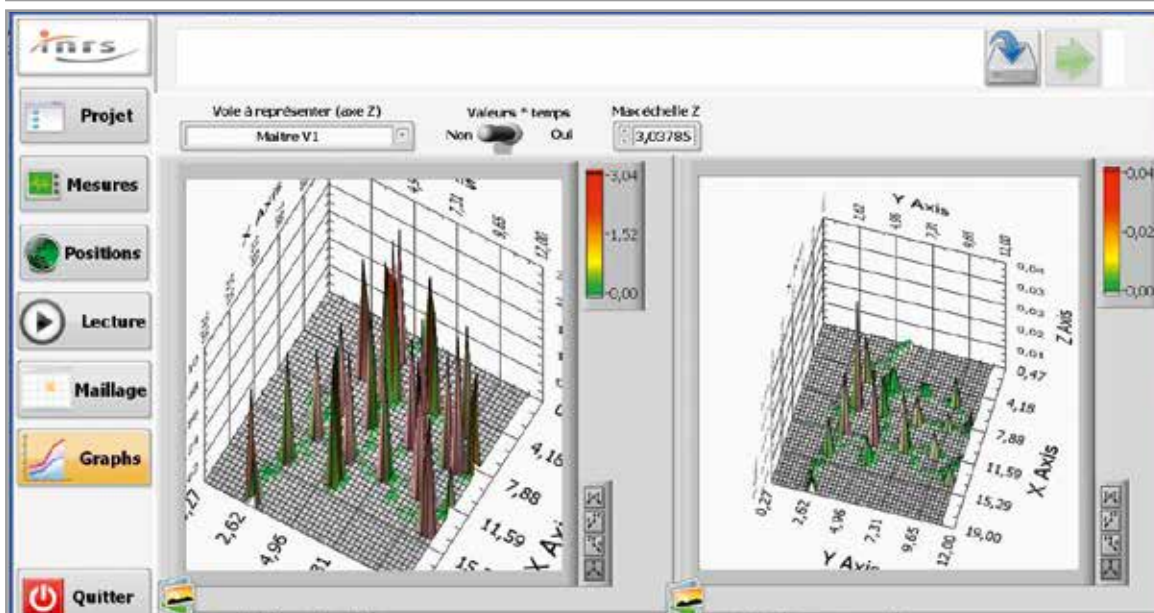
Le module de dépouillement permet de recalibrer les données dans le temps (prise en compte du temps de réponse du capteur d'exposition), d'appliquer au capteur un coefficient d'étalonnage, d'intégrer des voies de données virtuelles et de traiter les erreurs de localisation. Les voies de données virtuelles sont des fichiers de données issues de capteurs d'exposition disposant de mémoire interne. Ces données sont généralement récupérées après les essais sous forme d'un tableau de valeurs numériques qui peut ensuite être réintégré dans Dactari. Les erreurs de trajectographie sont des erreurs de pointage du télémètre laser liées, par exemple, à la présence d'un obstacle entre le télémètre et le sujet d'essai. Elles se traduisent, en général, par des pics ponctuels sur la valeur enregistrée de la distance. La visualisation de l'enregistrement vidéo permet de vérifier qu'il s'agit bien d'artéfacts. Un outil d'aide à la suppression des artéfacts permet de repérer ces points et de les supprimer. Enfin, un écran de visualisation de l'ensemble des données traitées donne accès simultanément aux données d'exposition, aux vidéos ainsi qu'à la position de l'opérateur sur le plan (Cf. Figure 5).

Le module de dépouillement permet également d'extraire et de présenter les informations utiles au préventeur (recherche d'événements, extraction de phases particulières, exportation de graphes). Pour traiter les informations de localisation, on effectue un maillage du plan de l'atelier.

Les données calculées sont présentées sous la forme de deux graphiques 3D (Cf. Figure 6). Le premier représente la répartition de l'exposition dans l'espace de travail (moyenne des concentrations mesurées sur chaque maille) et le second la répartition spatiale des temps de présence (calcul des temps cumulés de présence de l'opérateur



← FIGURE 5
Visualisation de la position de l'opérateur sur le plan (points bleus sur le plan en haut à droite) et graphique d'exposition de l'opérateur aux solvants organiques.



← FIGURE 6
Représentation des résultats sous forme 3D. Les axes X et Y correspondent au plan de l'atelier. L'axe Z représente la concentration moyenne d'exposition de l'opérateur aux solvants (à gauche) et sa durée de présence dans la zone (à droite).

sur chaque maille). Ces données peuvent également être présentées sous forme de graphes 2D en couleurs pour représenter les intensités ou les durées (Cf. Figure 7). Ces représentations peuvent être sauvegardées sous la forme de fichiers images pour l'intégration dans un rapport d'intervention. L'outil permet également de réaliser, sur chaque maille, le produit de la durée par la concentration, qui donne une valeur correspondant à une dose de pollution reçue par l'opérateur aux différents points de l'atelier.

Exemple de mise en œuvre

L'outil Dactari a été testé dans un atelier d'enduction d'encre sur film plastique. Le poste de travail est constitué par une machine de type rotative permettant de réaliser des rouleaux de film enduit d'encre. Ces encres utilisant principalement le toluène comme solvant, il faut donc un détecteur de type PID pour la mesure des expositions de l'opérateur.

L'objectif est de cartographier l'exposition de différents opérateurs qui conduisent les machines en fonction de leur position dans l'atelier et selon les phases de leur travail.

Les résultats des essais ont été présentés à l'entreprise sous la forme de graphes 3D et 2D de concentration (Cf. Figure 8) et de graphes 2D de dose (concentration x temps). En ce qui concerne l'échelle des couleurs, les résultats des différents essais réalisés dans le même atelier peuvent être mis à la même échelle de manière à pouvoir les comparer visuellement.

La figure 9 représente un exemple de graphique obtenu. Il est à noter que les graphiques de concentration et de dose présentés ici ne correspondent pas au même essai.

L'analyse de ces représentations par le professionnel de la prévention lui permettra d'effectuer un diagnostic de l'exposition spatio-temporelle des opérateurs au poste de travail étudié. Il disposera





FIGURE 7 → Représentation des résultats sous forme 2D. Les axes X et Y correspondent au plan de l'atelier. Les couleurs (de la concentration la plus faible en vert à la plus élevée en rouge) représentent les variations de concentration moyenne d'exposition de l'opérateur aux solvants (à gauche) et de durée de présence dans la zone (à droite).



FIGURE 8 → Exemple de graphique 2D et 3D de concentration en solvant, de la concentration la plus faible (en vert) à la plus élevée (en rouge) (graphique de gauche) et son équivalent en représentation 3D (graphique de droite).

éventuellement en complément de l'enregistrement vidéo. Sur ces bases, le préventeur pourra ensuite proposer des pistes d'améliorations à l'entreprise. Sur la figure 8, on constate qu'il est nécessaire d'installer une extraction localisée en un point du process (zones orange et rouge). Sur la figure 9, le point rouge correspond à un laboratoire d'analyse de la qualité des fabrications. L'exposition y est relativement importante ainsi que le temps passé par l'opérateur dans cette zone. La présence d'une sorbonne peu efficace a été mise en évidence.

Conclusion

Cet outil n'a pas pour vocation de se substituer aux mesures réglementaires que doivent faire les

entreprises dans leurs ateliers. C'est avant tout un système qui permet d'effectuer un diagnostic de manière à trouver des solutions simples et pertinentes pour la diminution de l'exposition des opérateurs. La représentation des résultats sous forme de graphiques en couleurs est suffisamment intuitive pour permettre d'intégrer les opérateurs dans la démarche de prévention. Ce système, au même titre que l'outil Captiv, met également à profit des détecteurs chimiques en temps réels qui, bien que non spécifiques d'un produit, fournissent des informations précieuses à condition de pouvoir être mis en relation avec des lieux ou des événements qui se produisent dans l'atelier. Il est à noter que le Centre inter-régional de contrôles physiques (Circop) de la Carsat Centre-Val-de-Loire s'est doté de cet outil et a participé activement à sa validation en situation industrielle réelle. ●

1. Captiv est un outil développé par l'INRS qui permet, entre autres, d'étudier la relation entre le geste professionnel d'un opérateur et son exposition à des risques très variés en fonction du capteur utilisé. Il est commercialisé par la société TEA à Vandœuvre-lès-Nancy.

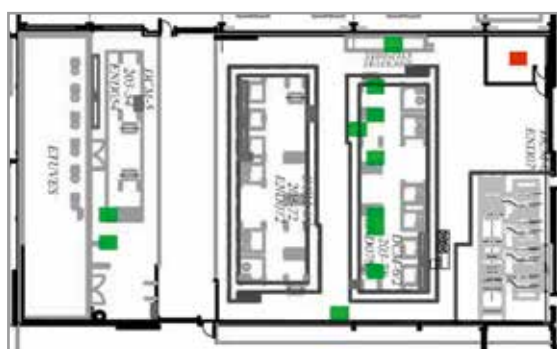


FIGURE 9 → Exemple de graphique de dose.

Une vidéo présentant le fonctionnement de Dactari sera prochainement disponible sur www.inrs.fr