

# Nettoyage et désinfection dans l'industrie agroalimentaire : évaluation des expositions aux polluants chimiques

*Listériose, toxi-infections alimentaires collectives, traçabilité alimentaire... Autant de termes qui reviennent régulièrement et de plus en plus souvent dans les médias, ce qui traduit bien l'importance grandissante que revêtent les problèmes de sécurité alimentaire dans la société contemporaine. Pour répondre à ces exigences accrues, les entreprises de l'agroalimentaire sont obligées de développer des politiques de nettoyage et de désinfection des locaux et des matériels de plus en plus sûres, afin de fournir des produits de bonne qualité microbiologique. Ces nouvelles pratiques se traduisent par une évolution des risques encourus par les opérateurs. Ces dernières années, l'INRS a réalisé une série d'études et recherches afin d'évaluer ces risques.*

**T**out accident (voire dans certains cas, tout incident) dans le domaine de la sûreté alimentaire est immédiatement médiatisé et se traduit dans le « meilleur des cas » par une crise de confiance, de graves difficultés économiques, et peut même parfois mettre en péril la survie de l'entreprise. Dans le même temps, la concurrence et les contraintes économiques sont de plus en plus vives. Les entreprises sont obligées de réduire leurs coûts. Ces contraintes ont pu inciter certaines d'entre elles à recourir à une externalisation des opérations de nettoyage et de désinfection et à faire appel à des entreprises de nettoyage spécialisées. Les raisons économiques ne sont cependant pas les seules qui peuvent conduire une entreprise à recourir à cette solution. Au moins deux autres peuvent être citées :

→ La volonté de l'industriel de se recentrer sur son métier de base, c'est-à-dire la production proprement dite, en confiant les tâches périphériques à des entreprises spécialisées (gardiennage, maintenance, nettoyage, etc.) : cette tendance est largement répandue dans l'industrie en général.

→ Le besoin de disposer d'un volume de main-d'œuvre spécialisée à des horaires atypiques (souvent la nuit, pendant les périodes d'arrêt de la production) et pour une durée parfois inférieure à la durée d'un poste de travail.

Des solutions mixtes, associant équipes de nettoyage internes et renfort de salariés d'entreprises exté-

rieures sont également fréquemment utilisées par les industriels.

En résumé, l'industriel doit résoudre un double problème : obtenir un excellent état de propreté de ses installations tout en maîtrisant les coûts. Les deux principaux paramètres sur lesquels il peut agir sont le nombre d'heures consacrées à ces opérations et les produits chimiques (détergents et désinfectants) utilisés. S'agissant de produits irritants, notamment au niveau oculaire, cutané et respiratoire, il est important en termes d'hygiène du travail de s'assurer que les prescriptions d'utilisation de ces produits soient respectées. Certains utilisateurs peuvent en effet avoir la tentation d'augmenter le volume de produits utilisés afin de réaliser des économies sur la main-d'œuvre. Cet emploi en quantités excessives peut avoir des conséquences néfastes sur la santé des opérateurs.

## Les opérations de nettoyage, de désinfection et les produits utilisés [1]

Les opérations de nettoyage et de désinfection ont pour objectif d'éliminer les salissures (déchets des produits traités ou salissures apportées par les outils ou

M. HÉRY \*  
S. BINET \*\*  
F. GAGNAIRE \*\*  
F. GERARDIN \*\*\*  
G. HECHT \*\*\*  
N. MASSIN \*\*\*\*

\* Direction scientifique, INRS, Centre de Lorraine

\*\* Département Polluants et santé, INRS, Centre de Lorraine

\*\*\* Département Ingénierie des procédés, INRS, Centre de Lorraine

\*\*\*\* Département Epidémiologie en entreprise, INRS, Centre de Lorraine

 inrs

Documents pour le Médecin du Travail  
N° 95  
3<sup>e</sup> trimestre 2003

machines employés dans le procédé industriel) ainsi que les contaminations d'origine microbiologique et chimique. Ces dernières peuvent, par exemple, provenir des détergents ou des désinfectants eux-mêmes utilisés dans le processus d'élimination de la pollution microbiologique, d'où l'importance donnée aux rinçages sur laquelle un accent particulier sera mis à plusieurs reprises dans ce texte. Parmi les autres contaminations potentielles peuvent également être cités les déchets provenant de la maintenance des machines (graisses, huiles, etc.).

Le nettoyage consiste en l'élimination des contaminations au moyen d'un détergent. La désinfection est une « opération au résultat momentané permettant d'éliminer ou de tuer les micro-organismes indésirables portés par des milieux inertes contaminés, en fonction des objectifs fixés ». Les résultats de ces deux opérations ne sont pas exclusifs les uns des autres : en effet, si l'opération de nettoyage permet d'éliminer un certain nombre de déchets, elle va aussi permettre de réaliser un certain niveau d'élimination de micro-organismes. Cette élimi-

nation pourra ensuite être complétée si nécessaire par une opération de désinfection proprement dite mettant en œuvre un produit spécifique. Couramment un détergent (alcalin par exemple) sera utilisé simultanément avec un désinfectant (chlore et dérivé) sous la forme d'alcalin chloré. Certaines formulations comprennent même un ammonium quaternaire ou un autre produit pour augmenter le pouvoir désinfectant en une seule opération de nettoyage/désinfection.

De façon habituelle, une opération complète de nettoyage et de désinfection s'organise de la façon suivante :

- Élimination préalable des déchets, souvent par un simple rinçage mécanique à l'eau ;
- Nettoyage par un agent chimique ;
- Rinçage ;
- Désinfection par un agent chimique ;
- Rinçage ;
- Séchage.

Comme indiqué précédemment les phases de nettoyage et de désinfection peuvent, dans certains cas,

## ENCADRÉ I

### Les travaux de l'INRS

L'INRS a réalisé, au cours de ces dernières années, des études et des recherches destinées à évaluer les risques encourus par les opérateurs lors de ces opérations de nettoyage et de désinfection. Compte tenu de la diversité des produits et des cibles de la désinfection (parfois le produit lui-même, quelquefois les emballages, les locaux de travail et les matériels dans tous les cas), les techniques et les produits utilisés sont très variés. Cette variété se retrouve au niveau des produits et techniques étudiés, ainsi qu'au niveau des solutions de prévention. Synthétiquement, les travaux effectués par l'INRS sont présentés dans cet article selon les thèmes suivants :

- La mise au point de méthodes de prélèvement utilisables dans les atmosphères de travail : pour certains composés, notamment l'acide peracétique, il n'existait pas de méthode de prélèvement, permettant les dosages simultanés du peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) et de l'acide acétique.
- La caractérisation des effets : cette partie concerne principalement les études toxicologiques réalisées sur plusieurs polluants susceptibles de se retrouver dans les atmosphères de travail. Un intérêt tout particulier a été porté aux propriétés irritantes (au niveau des voies respiratoires supérieures) des produits utilisés (eau oxygénée, acide peracétique)

ou générés par les opérations de nettoyage (chloramines). Sur la base de la mise en évidence d'effets clastogènes (atteinte de l'ADN des lymphocytes circulants) chez des salariés exposés aux atmosphères de piscines, une recherche particulière de ces effets a été effectuée pour une chloramine (le trichlorure d'azote). Outre cette partie toxicologique, une étude épidémiologique consacrée à la santé des travailleurs employés aux opérations de nettoyage et de désinfection a été initiée.

- La connaissance de l'exposition : au cours de cette phase d'évaluation de l'exposition aux différents composés utilisés pour le nettoyage et la désinfection, il s'agissait de caractériser qualitativement et quantitativement la pollution au poste de travail. Plusieurs secteurs d'activités ont été étudiés : le nettoyage des surfaces et matériels (utilisation d'alcalins chlorés, d'ammoniums quaternaires, d'aldéhydes, etc.), la désinfection d'aliments (légumes frais prêts à l'emploi) au moyen de chlore ou d'hypochlorite de sodium et la désinfection des emballages (à l'eau oxygénée ou à l'acide peracétique).

- Les réponses de prévention : dans certains cas, il a pu être possible d'effectuer des adaptations du procédé de fabrication ou d'effectuer des substitutions de produits afin d'améliorer les condi-

tions de travail. C'est ce type de travail qui a été réalisé dans l'industrie des légumes frais prêts à l'emploi et qui a permis de réduire les niveaux d'exposition aux produits irritants pour les yeux et la respiration que sont les chloramines.

Compte tenu de la diversité des sujets abordés et des compétences requises (chimistes analystes, hygiénistes industriels, ingénieurs procédés, toxicologues, épidémiologistes), ces travaux se sont inscrits dans une structure souple, de type projet, visant à organiser les collaborations nécessaires. C'est dans ce contexte que de nombreux travaux ont été abordés en commun. En particulier :

- la mise au point de méthodes de prélèvement et de dosage utilisées ensuite pour l'évaluation des expositions aux postes de travail,
  - la génération et la surveillance d'atmosphères contrôlées pour la mise en œuvre des expositions d'animaux requises pour les études toxicologiques,
  - l'utilisation des résultats d'études toxicologiques pour évaluer les risques au poste de travail,
  - des études physico-chimiques de certains composés afin de faire évoluer les procédés utilisés dans l'industrie.
- L'ensemble des résultats de ce projet sont détaillés dans cet article.

être réalisées simultanément. La technique de mousage qui assure un temps de contact plus long entre les détergents/désinfectants et les surfaces à traiter est souvent utilisée. Elle peut permettre de diminuer les opérations mécaniques de lavage préalable à l'eau. Ce gain de temps et de main-d'œuvre, qui évite des tâches physiquement exigeantes, peut dans certains cas se traduire par des nuisances accrues en termes d'hygiène du travail en ce sens qu'il peut augmenter les émissions de produits irritants (cf. infra).

Classiquement les détergents (agents dont le mode d'action est physique ou physico-chimique) sont classés dans les catégories suivantes :

- les alcalins (soude, potasse, carbonate, phosphate trisodique, etc.) ;
- les acides (phosphorique, nitrique, acétique, etc.) ;
- les agents chélatants (pyrophosphate de sodium, EDTA, etc.) ;
- les agents de surface (anioniques, cationiques, amphotères).

Parmi les produits désinfectants, on peut citer :

- Les halogènes, en particulier le chlore et ses dérivés particulièrement faciles d'emploi et peu coûteux, notamment l'eau de Javel (hypochlorite de sodium) et les chlorocyanurates de sodium. Les dérivés iodés sont moins largement utilisés ;
- les oxydes et peroxydes (eau oxygénée, ozone, acide peracétique) sont très actifs ;
- les aldéhydes (formol et glutaraldéhyde) ont un large spectre mais il s'agit de composés toxiques dont on verra que l'utilisation peut être synonyme de difficultés pour les opérateurs ;
- les agents tensio-actifs, et en particulier les ammoniums quaternaires ;
- les acides souvent utilisés pour les détartrages ;
- les bases (plus souvent associées au chlore sous forme d'alcalins chlorés) ;
- les alcools ;
- les agents physiques (rayonnements ionisants, rayons UV, etc.).

Les travaux effectués par l'INRS dans le domaine sont présentés de manière synthétique dans l'*encadré I*.

## Les méthodes de prélèvement et de dosage

Pour de nombreux produits chimiques employés au cours des opérations de nettoyage et de désinfection, les hygiénistes du travail disposent de méthodes simples et validées qui s'appliquent sans difficulté pour la mesure de la pollution des atmosphères de travail et

des expositions professionnelles dans les industries agroalimentaires. C'est en particulier le cas des aldéhydes (formol et glutaraldéhyde), des composés basiques et acides, de l'ozone et des alcools. Il a fallu en revanche développer des méthodes spécifiques pour des configurations particulières :

→ La réaction du chlore ou de l'hypochlorite sur les molécules azotées conduit à la formation de chloramines complexes. Ces réactions, en présence d'un excès de chlore, se poursuivent jusqu'à produire, par dégradations successives, des chloramines simples : la monochloramine ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), la dichloramine ( $\text{NHCl}_2$ ) et la trichloramine ou trichlorure d'azote ( $\text{NCl}_3$ ). La particularité de ce dernier composé est d'être insoluble dans l'eau. Il est donc susceptible de se dégager dans les atmosphères de travail et de constituer une nuisance oculaire et respiratoire pour les travailleurs. Il partage avec les autres chloramines, notamment les deux autres chloramines minérales simples, de fortes propriétés irritantes. Dans le cas particulier des industries agroalimentaires, l'azote, nécessaire à la formation des chloramines, est largement présent en particulier sous forme de protéines dans les déchets animaux (viande, sang, etc.) ou végétaux (sève, tissus, etc.) que les opérations de nettoyage et de désinfection ont pour objectif d'éliminer. De même, les opérations de conditionnement des légumes frais prêts à l'emploi consistent en un trempage dans des solutions diluées d'hypochlorite ou d'eau chlorée, produisant la même réaction entre chlore et azote. L'INRS a donc développé une méthode de prélèvement et de dosage spécifique de ces composés.

→ Le peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) est souvent utilisé pour la stérilisation des matériaux souples d'emballage, en particulier de ceux utilisés pour le conditionnement du lait UHT ou de certains jus de fruits. La littérature décrit plusieurs méthodes de prélèvement et de dosage dans les atmosphères, mais elles sont peu utilisables en milieu de travail. L'objectif du travail entrepris à l'INRS était de disposer d'une méthode de prélèvement simple pour l'hygiéniste du travail. Cette méthode devait éviter en particulier au préleveur l'utilisation des barboteurs, toujours délicate en hygiène du travail (risque de renversement et de casse), lors des prélèvements ambulatoires qui impliquent un port du matériel par les opérateurs eux-mêmes.

→ L'acide peracétique est un produit dont l'usage se répand de plus en plus dans l'industrie agroalimentaire (et aussi dans le domaine médical pour la désinfection du matériel) car il est très actif. Il est en particulier très utilisé en laiterie et en brasserie pour le nettoyage en place des installations et pour la désinfection des emballages de jus de fruits (cartons ou verre). Instable, il se décompose en acide acétique et en peroxyde d'hydrogène. Comme ces produits sont eux-mêmes des irritants des yeux et des voies respiratoires, il est impor-

tant d'être en mesure de procéder à l'analyse simultanée et spécifique (et notamment sans interférence des co-polluants sur le dosage de chaque produit) des trois composés puisque leurs pouvoirs irritants sont différents. Les exigences de facilité d'utilisation et de robustesse de la méthode, définies précédemment pour le prélèvement du peroxyde d'hydrogène, sont également requises pour le protocole de mesure développé pour l'acide peracétique et ses co-polluants.

→ La faible tension de vapeur des ammoniums quaternaires ne rend leur présence dans les atmosphères de travail possible que s'ils sont mis en suspension par un moyen physique (en particulier l'aérosolisation au moyen d'un canon à mousse). Cette faible tension de vapeur permet de réaliser leur prélèvement atmosphérique sur un simple filtre sans risque de volatilisation à travers le filtre au moment du prélèvement. Des méthodes de dosage spécifiques ont été mises au point à l'INRS pour quelques uns d'entre eux.

#### CHLORAMINES ET TRICHLORURE D'AZOTE [2]

Un dispositif échantillonné au moyen d'une pompe de prélèvement généralement réglée à un débit d'1 l.min<sup>-1</sup> et se composant de deux éléments a été mis au point :

→ Le premier est constitué d'un tube de polypropylène rempli de gel de silice imprégné d'acide sulfamique. Ce dispositif est destiné au prélèvement des dérivés du chlore solubles dans l'eau : l'acide hypochloreux, l'hypochlorite et les mono- et dichloramines. Compte tenu de leur faible pression de vapeur, les deux premiers ne se retrouvent dans les atmosphères de travail que s'ils y

ont été mis en suspension. Dans le cas de l'industrie agroalimentaire, cette mise en suspension correspondra à l'utilisation du canon à mousse. En revanche, les mono- et dichloramines ont une tension de vapeur significative et suffisante pour qu'une certaine quantité puisse se volatiliser et se retrouver dans les atmosphères de travail. Le trichlorure d'azote lui n'est pas retenu sur le gel de silice imprégné.

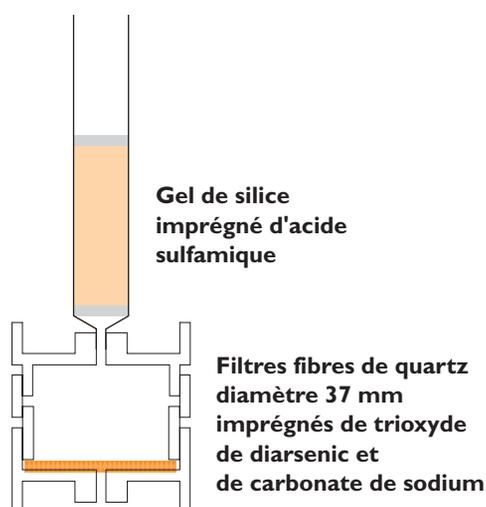
→ Il sera retenu par la deuxième partie du système de prélèvement, constituée de deux filtres de fibres de quartz imprégnés de carbonate de sodium et de trioxyde de diarsenic. Ces filtres sont disposés en série dans une cassette de prélèvement elle-même en série avec le tube décrit précédemment. La réaction avec le carbonate contenu dans les filtres a pour effet de décomposer les chloramines en hypochlorite. Cet hypochlorite est ensuite réduit à l'état de chlorures par le trioxyde de diarsenic. Le dispositif global est décrit dans la *figure 1*.

Après prélèvement du tube, le gel de silice est désorbé dans l'acide sulfamique. La concentration totale des dérivés chlorés qui ont été piégés sur ce tube est déterminée par potentiométrie directe à électrode spécifique « chlore résiduel ».

Les filtres imprégnés en fibres de quartz sont désorbés dans de l'eau ultrapure avant d'être analysés par chromatographie ionique avec un détecteur conductimétrique. Ce sont les chlorures résultant de la réaction avec le carbonate de sodium et le trioxyde de diarsenic qui sont quantifiés. Selon le système d'analyse utilisé (avec ou sans colonne de suppression), cette analyse est précédée ou non d'une percolation sur une résine échangeuse de cations pour débarrasser la solution du carbonate de sodium. Cette analyse des filtres imprégnés permet, en fonction du volume du prélèvement, de déterminer la concentration de trichlorure d'azote au poste de travail. Contrairement à l'analyse du gel de silice imprégné qui doit être conduite dans les quelques jours suivant le prélèvement, la réduction des espèces chlorées à l'état de chlorures permet que le dosage des filtres soit effectué jusqu'à plusieurs semaines après leur échantillonnage.

Pour pouvoir disposer d'une analyse globale des dérivés chlorés susceptibles de causer des phénomènes irritatifs, sans distinguer d'une part l'espèce insoluble (le trichlorure d'azote) et d'autre part les espèces solubles (c'est-à-dire l'hypochlorite et les mono- et dichloramine), il est possible de simplifier le dispositif de prélèvement en n'en conservant que la deuxième partie. Les filtres imprégnés seront alors précédés d'un filtre de Teflon<sup>®</sup>, qui sera éliminé au moment de l'analyse, de façon à ce que des chlorures mis par un moyen quelconque en suspension dans l'atmosphère ne soient pas pris en compte dans le dosage. Le filtre de Teflon<sup>®</sup> est traversé par les chloramines et hypochlorite mais pas par les chlorures particuliers non volatils. En effet, ces

**Fig. 1 : Dispositif retenu de prélèvement et de dosage des chloramines et du trichlorure d'azote.**



chlorures qui n'ont pas, contrairement aux chloramines, de propriétés oxydantes ne sont pas susceptibles, à ces faibles concentrations, d'entraîner une irritation oculaire et/ou respiratoire et ne doivent pas être pris en compte dans l'évaluation de la pollution au poste de travail [3].

Au cours de ces opérations, il est apparu nécessaire de disposer d'une méthode de dosage du trichlorure d'azote dans les eaux chlorées (notamment dans les piscines ou l'industrie du conditionnement des légumes frais prêts à l'emploi). Cette méthode est basée sur une extraction de ce produit à l'air dans une colonne garnie de laboratoire. Le trichlorure d'azote, une fois transféré dans la phase gaz, est piégé, puis analysé par la méthode traditionnelle de mesure des chloramines dans l'air. Par un bilan matière simple, il est possible de déterminer la concentration aqueuse en trichlorure d'azote [4].

#### PEROXYDE D'HYDROGÈNE [5]

La méthode est basée sur la complexation du titane ( $Ti^{IV}$ ) par le peroxyde d'hydrogène. L'échantillonnage du peroxyde d'hydrogène est réalisé sur du gel de silice imprégné d'une solution d'oxysulfate de titane dans l'acide sulfurique contenu dans un tube de polypropylène. Le débit de prélèvement est réglé à environ  $1\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  (un débit nettement inférieur peut conduire à une légère minoration de la concentration mesurée). Les tubes sont ensuite désorbés en faisant percoler de l'acide sulfurique sur le gel de silice. L'analyse est effectuée par spectrométrie d'absorption moléculaire à une longueur d'onde de 410 nm par comparaison avec une gamme d'étalonnage réalisée par addition de quantités connues de peroxyde d'hydrogène sur du gel de silice identique à celui utilisé pour les prélèvements d'atmosphère. La solution de peroxyde d'hydrogène utilisée pour l'échantillonnage aura été elle-même titrée peu de temps auparavant par iodométrie.

Afin d'éviter tout problème de minoration de la concentration réelle au moment de l'analyse des tubes, il est conseillé de les désorber rapidement après leur échantillonnage : la conservation du complexe sur le support est en effet médiocre. En revanche, l'analyse peut être conduite sans problème plusieurs jours après cette désorption rapide qui évite la perte de quantités significatives du complexe formé. De même, des filtres en fibres de quartz imprégnés d'une solution d'oxysulfate de titane dans l'acide sulfurique peuvent être substitués au gel : en effet, dans ce cas particulier, le support a moins d'importance que le produit utilisé pour l'absorption du peroxyde d'hydrogène lors du prélèvement. Placés dans une cassette, échantillonnés au débit de  $1\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  également utilisé pour le prélèvement des tubes, ils seront analysés selon le même protocole.

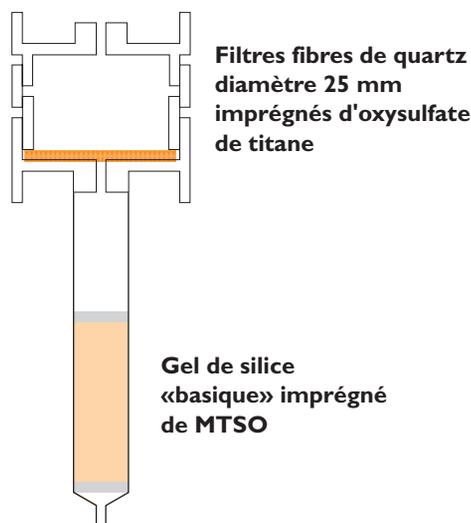
#### ACIDE PERACÉTIQUE [6]

La méthode mise au point à l'INRS permet le dosage simultané du peroxyde d'hydrogène et de l'acide peracétique, dont on a vu précédemment que c'est un produit instable qui coexiste dans les atmosphères de travail avec ses produits de décomposition : le peroxyde d'hydrogène et l'acide acétique. Le dispositif retenu, échantillonné au moyen d'une pompe de prélèvement réglée à un débit d'au moins  $1\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ , se compose de deux parties placées en série (figure 2) :

→ D'abord une cassette destinée au prélèvement du peroxyde d'hydrogène et constituée des filtres de fibres de quartz imprégnés de la solution sulfurique d'oxysulfate de titane comme indiqué précédemment pour l'échantillonnage du peroxyde d'hydrogène.

→ Suivie d'un tube de verre (préférable au polypropylène pour des raisons de conservation de l'échantillon) rempli d'un gel de silice « basique » imprégné de MTSO (méthyl p-tolylsulfoxyde). Ce tube est destiné au prélèvement de l'acide peracétique : la réaction du MTSO avec l'acide peracétique produit du MTSOO (méthyl p-tolylsulfone). Pour sa préparation, le gel de silice est d'abord imprégné d'une quantité égale en poids de carbonate de sodium en solution dans l'eau, séché à l'étuve, tamisé pour retenir les grains de diamètre compris entre 0,25 et 0,5 mm, puis imprégné de MTSO en solution méthanolique, et séché sous vide léger. Après prélèvement, le tube est désorbé par percolation d'acétonitrile pure. La solution obtenue est diluée à l'eau et le MTSOO est analysé par chromatographie liquide haute performance avec détection UV à une longueur

Fig. 2 : Dispositif retenu de prélèvement et de dosage de l'acide peracétique.



d'onde de 224 nm et étalonnage externe réalisé à partir de MTSOO. L'éluant utilisé en mode isocratique est un mélange d'acétonitrile et d'eau. La colonne de chromatographie liquide est une C<sub>18</sub> Kromasil.

En tant que peroxyde, l'acide peracétique est susceptible de réagir avec l'oxysulfate de titane destiné au prélèvement du peroxyde d'hydrogène et de produire ainsi une interférence positive dans le dosage de ce dernier. Cette surévaluation du peroxyde d'hydrogène se traduirait évidemment par une minoration de la mesure de l'acide peracétique puisque une partie du produit serait retenue sur la cassette et ne parviendrait pas au tube spécifique de son dosage. En fait, la cinétique de réaction de l'acide peracétique avec l'oxysulfate de titane est lente et le fait d'effectuer le prélèvement à un débit au moins égal à 1 l.min<sup>-1</sup> permet d'éviter la réaction et cette interférence.

L'interférence de l'acide acétique dans la détermination de ses deux copolluants est nulle. Compte tenu des quantités présentes dans les atmosphères de travail et de son caractère irritant nettement inférieur à celui de l'acide peracétique ou du peroxyde d'hydrogène, l'évaluation de sa concentration est moins importante que celle des deux autres polluants, en termes de prévention des risques professionnels (cf. infra). En outre, il n'existe pas actuellement de méthode de prélèvement de l'acide acétique non interférée par ses co-polluants qui réponde aux exigences formulées par les auteurs pour un prélèvement individuel en ambulatoire : il faut avoir recours à un barbotage avec les risques de renversement de solution et de bris de matériel correspondants.

#### AMMONIUMS QUATERNAIRES

Le support de prélèvement retenu pour les ammoniums quaternaires (aliphatiques ou aromatiques) est le gel de silice. Il est conditionné dans des tubes de polyéthylène qui sont prélevés à un débit de 1 l.min<sup>-1</sup>. Après désorption, la solution résultante est analysée par chromatographie liquide haute performance sur colonne Nucleosil avec détection dans l'UV. Pour les composés aromatiques, la longueur d'onde retenue est 214 nm. En revanche pour les composés aliphatiques, il faut avoir recours à une technique indirecte qui consiste à introduire dans l'éluant un contre-ion fortement absorbant. Ainsi, le passage de l'ammonium quaternaire aliphatique dans le détecteur se traduira par une baisse de l'absorbance. La longueur d'onde du détecteur est donc choisie en fonction du contre-ion. L'utilisation de cette technique indirecte a pour conséquence une forte baisse de la sensibilité analytique. Ainsi, si pour un prélèvement de 100 litres d'air la limite de détection dans l'atmosphère des lieux de travail est d'environ 10 µg.m<sup>-3</sup> pour les ammoniums qua-

ternaires aromatiques, elle sera 100 fois plus grande (1 mg.m<sup>-3</sup>) pour les ammoniums quaternaires aliphatiques. Les campagnes de mesurage de la pollution réalisées pour les aromatiques ont, en règle générale, mis en évidence des teneurs très faibles (au maximum de l'ordre de la limite de détection). Ces résultats sont d'ailleurs logiques dans la mesure où il s'agit de composés à très faible tension de vapeur, dont la présence est due à une aérosolisation (utilisation de canons à mousse) plutôt qu'à une vaporisation. Il est donc vraisemblable que les concentrations atmosphériques des ammoniums quaternaires aliphatiques, pour lesquels la technique de mesurage manque nettement de sensibilité, soient du même ordre de grandeur.

### La caractérisation des effets : études toxicologiques

Les méthodes de prélèvement nécessaires à l'évaluation des expositions aux postes de travail au cours des opérations de nettoyage et de désinfection dans l'industrie agroalimentaire existent déjà (cf. supra) et seuls quelques polluants particuliers ont nécessité un travail spécifique de mise au point. Il en est globalement de même pour les aspects toxicologiques : un nombre limité d'études a été conduit visant à fournir les éléments nécessaires à une meilleure prévention des risques professionnels.

Concernant les chloramines et particulièrement le trichlorure d'azote, composé très répandu dans toutes les atmosphères des lieux de travail où des composés chlorés sont utilisés, un travail préliminaire important avait été effectué à l'occasion d'une série d'études consacrées aux personnels de surveillance des piscines. Sur la base d'une étude toxicologique effectuée dans ses laboratoires (test d'Alarie destiné à estimer le caractère irritant d'un produit) et d'une étude épidémiologique consacrée à la fonction respiratoire de ces personnels, l'INRS préconise actuellement une valeur limite de 0,5 mg.m<sup>-3</sup> (une concentration qui classe le trichlorure d'azote parmi les irritants puissants, au même titre par exemple que le chlore lui-même) [7-9]. Bien que n'ayant pas de caractère officiel, cette valeur est actuellement largement reprise par les hygiénistes du travail, y compris au niveau international. Il y sera largement fait référence dans les campagnes d'évaluation des expositions aux postes de travail décrites plus loin dans cet article.

Deux autres études ont plus particulièrement été menées dans le cadre du projet :

→ La première a été consacrée à l'évaluation des propriétés irritantes de l'acide peracétique. Aucune va-

leur limite d'exposition n'a, jusqu'à présent, été attribuée à ce composé probablement en raison des difficultés rencontrées pour le générer dans des chambres d'exposition. C'est le test d'Alarie, déjà utilisé pour définir la valeur limite du trichlorure d'azote, qui a été retenu.

→ Une étude coordonnée par l'INSERM et consacrée aux nageurs a montré une augmentation des casures de l'ADN des lymphocytes sanguins (effet clastogène) lors d'exposition au trichlorure d'azote de 0,3 à 0,5 mg.m<sup>-3</sup> pendant 1 h 30 à 2 h par jour pendant 4 jours successifs. Ce polluant étant largement présent dans l'industrie agroalimentaire en raison du large usage du chlore et de ses dérivés (hypochlorites), il a été jugé souhaitable de compléter ces travaux en laboratoire par la recherche des éventuels effets clastogènes sur le rat et la souris.

#### POUVOIR IRRITANT DE L'ACIDE ACÉTIQUE, DU PEROXYDE D'HYDROGÈNE, DE L'ACIDE PERACÉTIQUE ET DE LEUR MÉLANGE CHEZ LA SOURIS [10]

La méthode est basée sur des observations montrant que les irritants respiratoires stimulent les terminaisons nerveuses trigéminées dans la muqueuse nasale des souris exposées. Cela se traduit par une diminution de la fréquence respiratoire due à une pause respiratoire réflexe en début d'expiration. Chez la souris, cette diminution de la fréquence respiratoire (bradypnée) est fonction de la concentration de l'agent irritant auquel l'animal est exposé. Il est donc possible d'obtenir des courbes effets-concentrations qui permettent de définir la concentration d'agent irritant res-

pensable d'une diminution de 50 % de la fréquence respiratoire (RD<sub>50</sub>). Cette valeur de RD<sub>50</sub> obtenue dans des conditions identiques permet de comparer les pouvoirs irritants de différents produits sur le tractus respiratoire supérieur. Cette méthode normalisée permet aussi de définir des valeurs limites d'exposition.

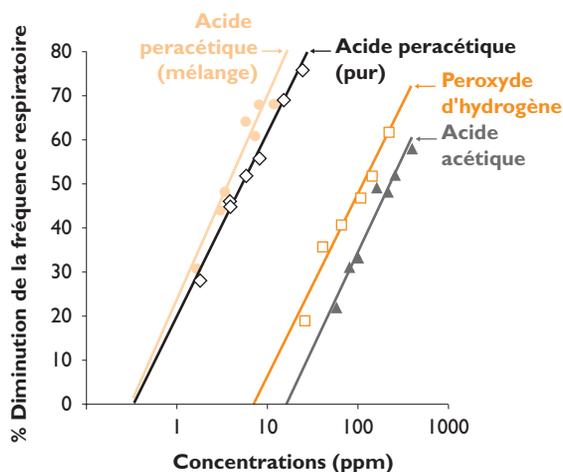
Elle consiste à exposer pendant une heure les animaux à six ou sept concentrations différentes pour chaque produit étudié, la mesure de la fréquence respiratoire étant effectuée par pléthysmographie (enregistrement des variations de pression). Pour chaque concentration l'enregistrement est réalisé sur un lot de 8 animaux pendant les 60 minutes d'exposition et la période de récupération de 15 minutes.

L'originalité de l'expérimentation consistait dans la possibilité de générer l'acide peracétique seul et de le tester sans interférence du peroxyde d'hydrogène et de l'acide acétique. Le principe retenu a été de tamponner une solution d'acide peracétique à pH 7 au moyen d'un tampon phosphate. L'objectif étant d'alimenter de façon régulière et à concentration constante la cellule d'exposition des animaux, une chambre de mélange a été alimentée de façon constante par deux pompes péristaltiques, délivrant l'une la solution d'acide peracétique, l'autre le tampon phosphate. L'acide peracétique a ensuite été extrait de cette chambre de mélange par un léger bullage à l'air comprimé, de façon à éviter d'entraîner du peroxyde d'hydrogène ou de l'acide acétique. Les différentes concentrations nécessaires à l'expérimentation ont été obtenues en faisant varier la concentration d'acide peracétique dans le mélange et le débit du bullage d'extraction. En fonction des besoins elles ont ensuite été diluées avant d'être introduites dans la chambre d'exposition. Des analyses conduites sur le flux gazeux ainsi extrait ont montré une teneur en acide peracétique supérieure à 95 %, le complément à 100 % étant constitué de peroxyde d'hydrogène et d'acide acétique [11].

La génération du peroxyde d'hydrogène seul, de l'acide acétique seul et du mélange d'acide peracétique a posé moins de problèmes techniques, une fois résolues les difficultés de compatibilité des matériaux avec les produits générés : seuls des matériaux « inertes » comme le verre et le PVC ont pu être utilisés. Le principe retenu consistait à faire passer un courant d'air chauffé dans la chambre de vaporisation, ce courant étant ensuite dirigé vers la chambre d'exposition où il pouvait être dilué en fonction de la concentration ciblée.

Les résultats de l'expérimentation sur animal sont représentés sur la *figure 3*. Aucune détermination de RD<sub>50</sub> n'a été publiée dans la littérature pour le peroxyde d'hydrogène avant les travaux de l'INRS : la valeur de 123 ppm en fait un irritant assez fort, comparable à des amines comme la propylamine ou la n-butylamine. L'acide peracétique

Fig. 3 : Résultats de l'expérimentation sur animal.



pur avec une RD50 de 5,4 ppm se présente comme un agent irritant puissant, cette valeur se situant au niveau de celles du formol, de la chloropicrine ou, pour rester dans le domaine de l'agroalimentaire, de celles du chlore ou du trichlorure d'azote. L'étude de l'effet irritant du mélange acide peracétique, peroxyde d'hydrogène et acide acétique montre que l'effet irritant global est principalement dû à l'acide peracétique.

Cette expérimentation a permis à l'INRS de proposer des valeurs limites d'exposition pour l'acide peracétique en fonction des RD<sub>50</sub> calculées. Une VME pourrait être fixée à 0,2 ppm (approximativement 0,6 mg.m<sup>-3</sup>), et une VLE à 0,5 ppm (soit environ 1,5 mg.m<sup>-3</sup>). Il convient d'insister sur le fait que ces valeurs limites auront pour objectif d'assurer une prévention des effets irritants sur les voies respiratoires supérieures à l'exclusion de tous autres. Pour le peroxyde d'hydrogène, une VME de 3 ppm (environ 4 mg.m<sup>-3</sup>), assez nettement supérieure à la valeur actuelle de 1 mg.m<sup>-3</sup>, établie selon la littérature pour protéger contre la décoloration des cheveux et d'éventuelles atteintes respiratoires, découlerait d'une application des résultats du test d'Alarie.

En conclusion, il apparaît clairement que l'acide peracétique est un irritant majeur. Son utilisation semble se répandre actuellement pour les opérations de désinfection tant dans l'industrie agroalimentaire que dans d'autres secteurs d'activité (notamment pour la désinfection du matériel médical dans les hôpitaux, en substitution du glutaraldéhyde). Il importe d'attirer l'attention des futurs utilisateurs sur la nécessité d'adapter préalablement les installations de travail à la volatilité et au caractère irritant de ce produit.

#### EFFET CLASTOGÈNE DU TRICHLORURE D'AZOTE [12]

L'effet clastogène d'un produit, c'est-à-dire sa capacité à produire des cassures de l'ADN de certaines cellules peut se mesurer par un test de génotoxicité appelé test des comètes. Il s'effectue sur des cellules eucaryotes provenant de cultures en lignée ou fraîchement isolées. Le principe du test repose sur une phase d'électrophorèse en milieu basique qui permet de détecter des cassures portant sur les brins de l'ADN, des lésions dites alcali-labiles correspondant à des pertes de bases nucléiques ainsi que des atteintes susceptibles de déclencher des mécanismes de réparation par excision. Après coloration, l'ADN d'une cellule intacte apparaît comme un disque d'environ 30 µm de diamètre. L'ADN d'une cellule lésée s'étire à partir du disque d'ADN intact pour former une queue proportionnelle au nombre de cassures. L'analyse d'image permet une évaluation grâce à un paramètre, le « mo-

ment de la queue » qui est le produit de la longueur de la comète par le pourcentage d'ADN.

Le test des comètes a donc été effectué sur des rongeurs (rats Sprague Dawley et souris OF1) exposés à différentes concentrations de trichlorure d'azote afin d'évaluer sa toxicité et de déterminer si possible le cas échéant une concentration sans effet. Il n'a pas été observé de cassures d'ADN au niveau des lymphocytes circulants pour aucun des paramètres suivants : concentrations, durée d'exposition, espèces ou sexes. De même le test des micronoyaux (un test de mutagenicité) a été négatif chez le rat, mâle ou femelle, exposé pendant 4 jours, à raison de 6 heures par jour à 10 mg.m<sup>-3</sup> de trichlorure d'azote.

En parallèle, afin de déterminer l'index de toxicité, la viabilité cellulaire et la fonctionnalité des cellules nucléées du sang ont été explorées par cytofluorimétrie. Certains paramètres biochimiques sériques et urinaires ont également été étudiés. Pour le rat, une exposition de 6 heures par jour pendant 4 jours à 9,4 mg.m<sup>-3</sup> n'entraîne aucun effet (signes cliniques, altération des chromosomes des cellules sanguines, paramètres biologiques urinaires et sériques). En revanche, une exposition d'une journée à 17,8 mg.m<sup>-3</sup> pendant 6 heures se traduit par un début de toxicité au niveau des signes cliniques et des paramètres biochimiques hépatiques. Chez la souris, aucun effet n'est observé pour une exposition de 6 heures à 7,1 mg.m<sup>-3</sup> et un début d'effet apparaît à 14,6 mg.m<sup>-3</sup> pendant 6 heures, marqué par des signes cliniques.

Ces résultats mettent en évidence une probable absence d'effet clastogène induit au niveau des lymphocytes de rongeurs exposés à différentes concentrations de NCl<sub>3</sub> dans les limites des expérimentations réalisées et des tests utilisés. En conséquence, et bien que des expérimentations complémentaires soient nécessaires pour conclure de façon certaine, on peut supposer que les cassures de l'ADN des nageurs ne sont pas dues au trichlorure d'azote mais à un autre composé. Il a été montré par ailleurs que ce n'est pas le chloroforme, autre composant important de la pollution des atmosphères des halls de piscine ou de l'air des industries agroalimentaires (mais dans des quantités très nettement inférieures aux valeurs limites d'exposition et aussi inférieures d'un facteur 10 aux concentrations de trichlorure d'azote) qui est responsable de ces atteintes de l'ADN. Le protocole suivi pour l'étude menée chez les nageurs a également permis de montrer que cet effet clastogène n'était pas dû à l'effort fourni à l'entraînement. Restent des produits comme le tétrachlorure de carbone, le trichloroéthane, le tétrachloroéthane, puisqu'au cours de la destruction des protéines et autres composés organiques par le chlore ou par ses dérivés des molécules de type haloforme sont produites parallèlement à la formation des chloramines. Mais ces haloformes sont

en quantités encore nettement inférieures à celles mesurées pour le chloroforme.

Il existe, parmi les composés qui sont formés, d'autres candidats susceptibles d'expliquer cette réponse positive au test des comètes, bien qu'ils soient généralement présents en très faibles quantités. Parmi ceux-ci, les haloacétonitriles et les acides haloacétiques sont positifs pour plusieurs essais (tests d'Ames, des comètes et des micronoyaux) ainsi que la chloropicrine ou les hydroxyfuranones qui se forment dans des conditions spécifiques mais ne sont pas tous très volatils. En outre, la synergie de tous ces composés n'est pas connue et pourrait peut-être expliquer la réaction positive à l'exposition aux eaux chlorées malgré les concentrations très faibles de ces composés.

En l'absence de candidats sérieux, il pourrait être envisagé d'essayer de générer la pollution atmosphérique correspondant à une eau de piscine « synthétique », mais compte tenu de la complexité du milieu il semble difficile d'espérer réaliser une relation dose-effet : il sera très difficile de faire varier l'ensemble des polluants présents (a priori fort nombreux et en concentrations souvent très faibles) dans des proportions constantes.

Enfin, il convient de signaler que deux jours sans entraînement, et donc sans exposition à l'atmosphère des piscines, suffisaient à réparer les cassures de l'ADN mises en évidence chez les nageurs.

## Une étude épidémiologique

Cette étude concerne essentiellement des travailleurs affectés au nettoyage des surfaces et des matériels, employés soit par l'industrie agroalimentaire, soit par des entreprises extérieures spécialisées. Il s'agit dans cette étude de mettre en regard exposition aux différents produits chimiques (a priori essentiellement les dérivés chloraminés et, dans certains cas, des aldéhydes, voire des ammoniums quaternaires) et prévalence des troubles oculaires et respiratoires, de caractère irritatif ou non. Chacun des travailleurs bénéficie d'un examen clinique, accompagné d'un questionnaire médical. La fonction respiratoire est étudiée, avec en particulier la réalisation d'un test à la méthacholine afin de mettre en évidence une éventuelle hyperréactivité bronchique. Des évaluations de l'exposition sont effectuées systématiquement dans chacune des entreprises. Un score d'exposition est attribué à chaque travailleur pris en compte dans l'étude en fonction de la nature des polluants, de leur concentration dans l'atmosphère et de leur potentiel irritant.

En raison de la lourdeur de ce travail (la population étudiée se compose de plus de 200 travailleurs), cette

étude n'a pu être achevée en même temps que les autres études du projet. Elle devrait être publiée au cours de l'année 2004.

## Évaluation des expositions professionnelles

Des campagnes de mesure de la pollution aux postes de travail ont été menées principalement dans trois secteurs d'activité de l'industrie agroalimentaire concernés par des opérations de nettoyage et/ou de désinfection :

→ Le nettoyage et la désinfection des surfaces et matériels dans divers secteurs : abattoirs de bovins, ovins, porcins et volailles, préparation de plats cuisinés, fabrication de poissons fumés, etc. Si les techniques et appareillages (notamment les canons à mousse) de nettoyage ont été à peu près identiques dans toutes ces industries, les produits utilisés étaient beaucoup plus variés, même si les alcalins chlorés ont été pratiquement rencontrés dans toutes les entreprises étudiées.

→ La désinfection des emballages : en particulier la stérilisation des matériaux souples d'emballage ou des flacons de verre destinés au conditionnement du lait UHT ou des jus de fruits. Les deux composés rencontrés ont été le peroxyde d'hydrogène et l'acide peracétique.

→ Le conditionnement des légumes frais prêts à l'emploi : après le parage et avant l'ensachage, les légumes sont immergés dans un bain d'eau contenant de 30 à 80 mg.m<sup>-3</sup> de chlore actif. La présence de sève, donc d'azote, conduit à la formation de chloramines, et en particulier de trichlorure d'azote dont le caractère irritant peut constituer une nuisance pour les travailleurs.

### NETTOYAGE ET DÉSINFECTION DES SURFACES ET MATÉRIELS [13,14]

Le poste de travail d'une personne employée aux opérations de nettoyage et de désinfection se compose d'une succession d'opérations définies dans le plan de nettoyage de l'entreprise : certaines sont susceptibles de l'exposer à des composés irritants (les opérations dans lesquelles il utilise des détergents ou des désinfectants ou celles où il procède à leur rinçage), d'autres non (les opérations de nettoyage « mécanique » avec utilisation d'eau). Au cours des différentes campagnes de mesure de l'exposition professionnelle, les périodes de prélèvement ont été choisies de façon à suivre au mieux ces différentes phases afin de décrire aussi fidèlement que possible l'exposition réelle.

Dans la presque totalité des établissements visités au cours de cette étude, le plan de nettoyage comprenait un nettoyage aux alcalins chlorés, éventuellement suivi ou accompagné d'une désinfection complémentaire avec utilisation d'ammoniums quaternaires et/ou d'aldéhydes (formol ou glutaraldéhyde). L'exposition aux alcalins est faible et homogène dans tous les ateliers puisqu'elle est toujours inférieure au dixième de la valeur limite de moyenne d'exposition (VME). Par ailleurs, elle ne concerne logiquement que les opérations de moussage des détergents alcalins puisque la tension de vapeur de ces produits est très faible et qu'il faut une opération mécanique pour les mettre en suspension dans l'atmosphère de travail. En revanche, les concentrations de dérivés chlorés sont elles très variables selon les établissements et les opérations effectuées et peuvent atteindre des concentrations très fortes. Un résumé de ces expositions figure dans le *Tableau I*.

Dans ce tableau le terme de brossage désigne une opération qui consiste en un nettoyage appuyé des surfaces avec un balai après que du détergent ait été appliqué. Le dégrossissage consiste en une élimination des déchets les plus grossiers par un enlèvement méca-

nique au balai et à l'eau légèrement chlorée. Cependant, en raison des contraintes liées à l'activité des travailleurs et aux prélèvements, il n'a pas toujours été possible de décomposer leur activité en actions aussi bien définies que souhaité : ainsi un certain nombre d'évaluations correspond à des opérations de moussage et de rinçage qui n'ont pas pu être distinguées parce que trop intriquées les unes dans les autres à la faveur du traitement de locaux différents.

De très grandes différences entre les établissements ont pu être constatées. Dans certains d'entre eux les expositions se situent à un niveau très faible quelle que soit l'opération considérée. En revanche, dans certaines unités, des expositions très élevées ont été mesurées pouvant atteindre voire dépasser 2 mg.m<sup>-3</sup> (toutes espèces de dérivés chlorés confondus, solubles ou insolubles). C'est en particulier le cas pour l'abattoir de volailles numéro 3 où les opérations de moussage/rinçage sont particulièrement polluantes. Des travaux antérieurs menés auprès d'une population de maîtres nageurs exposés au trichlorure d'azote (dont la génération dans les eaux de piscine répond également à la réaction de l'hypochlorite utilisé pour désinfecter l'eau sur les matières azotées apportées cette fois par les na-

TABLEAU I

**Concentrations en dérivés chlorés selon les établissements et les opérations effectuées**

Usine	Opérations	Nombre de prélèvements	Durée d'échantillonnage moyenne (étendue) en minutes	Exposition aux dérivés solubles du chlore (mg.m <sup>-3</sup> )	Exposition au trichlorure d'azote (mg.m <sup>-3</sup> )
<b>1 ■ Préparation de poisson fumé</b>	Moussage	1	69	0,02	< 0,05
	Brossage	1	45	0,06	< 0,05
	Moussage et rinçage	5	22 (14-37)	0,06-0,16	< 0,05-0,24
<b>2 ■ Abattoir de bovins</b>	Moussage et rinçage	8	22 (15-45)	0,20-0,85	< 0,05-1,31
	Moussage	4	55 (30-75)	0,08-0,50	0,06-0,26
<b>3 ■ Abattoir de volailles</b>	Brossage	3	110 (50-140)	0,04-0,10	0,25-0,75
	Moussage et rinçage	9	80 (30-120)	0,16-1,33	0,01-1,96
<b>4 ■ Abattoir de bovins et d'ovins</b>	Moussage	4	18 (10-30)	0,06-0,31	0,07-0,19
	Rinçage	2	41 (35-47)	0,03-0,04	0,05-0,21
<b>5 ■ Abattoir de bovins et de porcs et salaisons</b>	Dégrossissage	5	60	0,08-0,16	0,06-0,16
	Moussage	14	29 (12-40)	0,05-0,55	0,14-0,65
	Moussage et rinçage	8	42 (30-73)	0,05-0,60	0,18-0,82
<b>6 ■ Fabrication d'aliments pour animaux de compagnie</b>	Rinçage	9	53 (36-120)	0,03-0,38	0,13-1,51
	Moussage	15	60 (25-95)	0,03-0,13	< 0,01-0,09
<b>7 ■ Fabrication de plats cuisinés</b>	Rinçage	14	64 (30-80)	0,04-0,17	< 0,01-0,11
	Toutes opérations	16	125 (55-145)	< 0,05-0,30	< 0,05-0,10
<b>8 ■ Fabrication de plats cuisinés</b>	Toutes opérations	3	75 (30-160)	< 0,01-0,03	0,03-0,59

geurs) ont, en effet, mis en évidence que des concentrations de trichlorure d'azote supérieures à  $0,5 \text{ mg.m}^{-3}$  se traduisent généralement par des irritations oculaire et/ou respiratoire. C'est également le cas de certaines opérations dans l'abattoir numéro 5 où les opérations de nettoyage dans les ateliers de découpe des bovins et des porcs se révèlent particulièrement irritantes pour le personnel. Il s'agit sans le moindre doute d'expositions excessives.

Par rapport à d'autres ateliers où les expositions sont sensiblement plus faibles, ces ateliers de forte exposition ont pour particularité que les opérations de dégrossissage qui consistent à enlever de façon mécanique la plus grosse partie de la pollution ne montrent pas une efficacité suffisante. Dans l'établissement numéro 5, il serait possible, en y mettant davantage de moyens et surtout de temps, d'arriver à un résultat plus satisfaisant : des contraintes économiques semblent inciter l'industriel à insister davantage sur la phase de nettoyage/désinfection à l'alcalin chloré, qui permet d'obtenir un résultat satisfaisant rapidement et d'économiser sur la main d'œuvre. Pour l'abattoir de volailles numéro 3, le problème est avant tout technique en ce sens que les expositions les plus fortes correspondent à des phases d'élimination des plumes et duvets très difficiles à réaliser, notamment pour les plumeuses. La solution de prévention est donc plus difficile à trouver, puisque des lavages abondants à l'eau claire ne suffisent pas à éliminer les particules qui génèrent de fortes concentrations de chloramines quand elles sont nettoyées à l'alcalin chloré.

Plus globalement, ce sont les opérations de rinçage qui semblent générer les plus fortes expositions. Ce phénomène est assez logique dans la mesure où elles interviennent après un temps de contact assez long entre alcalin et composés azotés qui permet aux réactions d'aller à leur terme et de former du trichlorure d'azote. De la même façon les opérations de moussage sont généralement moins polluantes puisque composés chlorés

et composés azotés viennent d'être mis en contact et que les réactions chimiques, en particulier celles conduisant à la formation des chloramines simples et du trichlorure d'azote, en sont encore à leur début. Dans la même logique, pour ces prélèvements effectués lors du moussage, la proportion relative de produits solubles (en majorité constitués d'hypochlorite plutôt que de mono- et dichloramine) par rapport aux composés insolubles, résultant pour les premiers d'une mise en suspension d'aérosols et pour les seconds des réactions entre azote et chlore, est plus importante que dans les opérations de rinçage.

Dans quelques établissements, cette utilisation de détergents alcalins et chlorés était suivie d'une phase spécifique de désinfection. Du formaldéhyde et/ou du glutaraldéhyde et/ou des ammoniums quaternaires étaient utilisés. Les résultats sont rassemblés dans le *tableau II*. Malgré la sensation de forte irritation ressentie lors de l'utilisation de ces aldéhydes, les valeurs mesurées étaient inférieures aux valeurs limites court terme françaises (VLE), mais supérieures aux valeurs limites de l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) qui sont inférieures d'un facteur de 3 à 4 aux valeurs françaises. Compte tenu de leurs propriétés physiques, les expositions aux ammoniums quaternaires sont logiquement très faibles (inférieures à la limite de détection analytique).

En résumé, il paraît possible de procéder dans des conditions acceptables aux opérations de nettoyage et de désinfection de surface et de matériels. Il apparaît cependant indispensable de respecter quelques principes :

→ Il faut éliminer au maximum et mécaniquement les déchets organiques avant de procéder à l'utilisation des détergents chlorés. Cet enlèvement mécanique sera d'autant plus facilité que les postes de travail auront été aménagés de façon à minimiser les chutes de déchets sur les sols ou sur les plans de travail. Si ces simples opérations mécaniques s'avéraient insuffi-

### Exposition au formol, au glutaraldéhyde et aux ammoniums quaternaires suivant l'activité

Usine	Nombre de prélèvements	Durée d'échantillonnage moyenne (étendue) en minutes	Exposition au formol ( $\text{mg.m}^{-3}$ )	Exposition au glutaraldéhyde ( $\text{mg.m}^{-3}$ )	Exposition ammoniums quaternaires ( $\text{mg.m}^{-3}$ )
1 ■ Préparation de poisson fumé	8	21 (11-30)	0,25-0,62	Pas utilisé	< dl
2 ■ Abattoir de bovins	5	16 (8-25)	Pas utilisé	0,01-0,25	< dl
3 ■ Abattoir de volailles	3	45 (10-90)	Pas utilisé	0,03-0,12	< dl
6 ■ Fabrication d'aliments pour animaux de compagnie	5	34 (15-65)	0,06-0,45	0,01-0,07	Pas utilisé

< dl : inférieur à la détection limite.

TABLEAU II



santes pour effectuer un nettoyage satisfaisant parce que les déchets à enlever sont par exemple collants, il pourrait être suggéré à l'industriel d'avoir recours à un détergent alcalin. Mais l'usage d'un produit contenant du chlore est à proscrire puisque potentiellement générateur de fortes expositions. En cas de besoin, une désinfection chlorée pourrait être effectuée mais dans un deuxième temps.

→ Certains équipements pourraient être modifiés afin de rendre leur nettoyage plus facile. Il en va ainsi par exemple de machines comme les plumeuses dans les abattoirs de volailles dont le nettoyage est particulièrement ardu en raison de leur configuration et de la nature des salissures qui doivent être éliminées. Le simple fait de rendre certaines parties amovibles rend évidemment plus aisé le nettoyage de ces parties, tout en améliorant l'accessibilité au nettoyage des autres parties. Il convient en tout cas d'éviter, tant du point de vue ergonomique que de celui de l'exposition aux polluants chimiques, que le travailleur chargé du nettoyage de cet appareil soit contraint d'y séjourner pendant des durées pouvant dépasser une heure.

→ Des temps suffisants doivent être prévus pour les différentes opérations afin qu'elles puissent être menées correctement à leur terme, sans interférence avec la suivante, et sans risque de conséquence néfaste sur les travailleurs.

→ L'utilisation d'eau de Javel à peine diluée, en particulier pour procéder à un nettoyage poussé (blanchiment) des plans de travail en fin de semaine, doit être proscrite ou s'accompagner de mesures de prévention spécifiques. Dans certaines circonstances (contrôle bactériologique important, visite de clients, etc.), il arrive que les opérations de nettoyage soient renforcées. Dans certains cas, ce renforcement se traduit uniquement par une augmentation des doses de produits de nettoyage ou de désinfection sans que le plan de nettoyage soit adapté.

→ Si malgré l'adaptation des plans de nettoyage (amélioration du nettoyage mécanique, choix des produits, phasage des opérations, etc.), des difficultés persistent, il peut être envisagé d'avoir recours à des appareils de protection respiratoire. Dans la mesure où ces difficultés peuvent correspondre à des nettoyages particulièrement pénibles physiquement (en particulier dans les exemples pris dans cet article, les plumeuses dans les abattoirs de volailles), il peut être nécessaire de prévoir des appareils de protection respiratoire à ventilation assistée pour diminuer le travail respiratoire que doit fournir le travailleur. Au-delà d'une durée variable en fonction de la charge de travail, mais qui ne peut dépasser une heure (et qui peut être très inférieure si la charge physique de travail est lourde), il n'est pas raisonnable d'assurer la protection des travailleurs au

moyen d'appareils de protection respiratoire à ventilation libre : le travail respiratoire qui doit alors être fourni est trop grand et incitera le porteur de l'appareil à créer des fuites au visage afin de le diminuer. Cela s'effectue bien évidemment au détriment de l'efficacité du masque.

#### DÉSINFECTION DES EMBALLAGES

A l'occasion de la réalisation du projet de l'INRS, des prélèvements ont été effectués dans deux ateliers de conditionnement utilisant le procédé Tetra-Pak : l'un traitant du lait UHT, l'autre des jus de fruits. La stérilisation des emballages est alors effectuée grâce au peroxyde d'hydrogène. Les valeurs mesurées dans ces deux établissements figurent dans le *tableau III*. Elles correspondent à des prélèvements effectués sur un demi poste de travail. Compte tenu du caractère régulier du travail, il paraît raison-

TABLEAU III

#### Exposition au peroxyde d'hydrogène pour deux activités de conditionnement

Établissement	Fonction	Concentration de peroxyde d'hydrogène (mg.m <sup>-3</sup> )	
A Conditionnement de jus de fruits	Conducteur machine	2,12	
	Maintenance	0,17	
		0,24	
B Conditionnement de lait UHT	Conditionnement	2,47	
		0,83	
		1,14	
		0,39	
		1,73	
		0,50	
		3,22	
		3,98	
		5,46	
		0,45	
		3,65	
		0,71	
		Emballage	0,26
			0,28
	0,06		
		0,06	
		0,12	
		0,08	

nable de considérer qu'un prélèvement sur un poste de travail entier aurait conduit à des valeurs similaires.

La comparaison des expositions est effectuée par rapport à la valeur limite de moyenne d'exposition du peroxyde d'hydrogène (VME) qui est fixée à 1 mg.m<sup>-3</sup>. Plusieurs dépassements de cette VME peuvent être constatés. Dans certains cas ce dépassement peut même atteindre un facteur 5 lorsque les nombreux dysfonctionnements de la chaîne de production nécessitent de fréquentes intervention sur les machines.

Dans ces deux interventions, la comparaison aux valeurs limites ne pose pas de problème méthodologique puisqu'elle s'effectue dans le cadre d'une mono-pollution. Il n'en est pas de même dans les ateliers de conditionnement où l'acide peracétique est utilisé : trois polluants (acide peracétique, peroxyde d'hydrogène et acide acétique) doivent être mesurés et aucune valeur limite n'a été retenue par les principaux organismes faisant référence en la matière pour l'acide peracétique.

C'est la méthode mise au point par l'INRS (avec parfois quelques légères variantes ne remettant pas en cause le principe fondamental), décrite précédemment, qui a été utilisée. Contrairement aux deux ate-

liers de conditionnement de jus de fruits et de lait UHT décrits auparavant qui n'utilisaient que le peroxyde d'hydrogène et pour lesquels une stratégie de prélèvement de longue durée a été retenue afin de pouvoir effectuer une comparaison à la VME (établie pour un poste de travail), ce sont des prélèvements de courte durée (généralement de 10 à 30 minutes) qui ont été mis en œuvre dans les ateliers recourant à l'acide peracétique pour la désinfection des emballages. En effet l'acide peracétique étant un composé irritant, il est logique, dans une optique de prévention de risques professionnels, que la valeur de référence retenue soit une valeur à court terme.

Trois entreprises ont été visitées, dont l'une à deux reprises : des modifications du procédé et des dispositifs de ventilation ont en effet été réalisées après la première campagne de mesures. Toutes ces entreprises procédaient au conditionnement de produits sucrés (jus de fruits ou eau aromatisée) nécessitant une désinfection poussée des flacons avant leur remplissage. L'ensemble des prélèvements représentatifs d'une exposition individuelle effectués dans ces trois usines est rassemblé dans le *tableau IV*.

#### Exposition à l'acide peracétique, au peroxyde d'hydrogène et à l'acide acétique pour différents postes de travail

TABLEAU IV

Activité de l'entreprise	Poste de travail	Exposition à l'acide peracétique (mg.m <sup>-3</sup> )	Exposition au peroxyde d'hydrogène (mg.m <sup>-3</sup> )	Exposition à l'acide acétique (mg.m <sup>-3</sup> )
Conditionnement de jus de fruits en bouteilles plastique : usine A	Remplissage des bouteilles	0,1	0,3	0,4
		0,2	0,3	0,5
	Mirage des bouteilles	0,2	0,3	0,6
		< 0,1	< 0,1	0,2
Conditionnement d'eau aromatisée	Lavage des bouteilles	< 0,1	< 0,1	0,2
		0,9	0,7	n.d.
	Remplissage des bouteilles	0,7	0,2	n.d.
		2,3	2,1	n.d.
		1,1	0,6	n.d.
		0,8	0,8	n.d.
		0,7	0,4	n.d.
		Mirage	0,5	1,0
Même entreprise après adaptation du procédé	Remplissage des bouteilles	0,6	0,5	n.d.
		0,6	0,4	n.d.
		0,2	0,1	0,5
		0,2	0,1	0,5
Conditionnement de jus de fruits en bouteilles plastique : usine B	Embouteillage	0,1	< 0,1	n.d.
		0,1	< 0,1	n.d.
		0,3	0,6	0,2
		0,2	0,7	0,2
		0,2	0,9	0,1
		0,2	0,6	0,2
		0,4	0,7	0,3
		0,3	0,7	0,2
	Mirage	0,3	0,8	0,2
		0,1	0,2	0,1
		0,1	0,1	0,1

n.d. : non déterminé.



Dans le cas d'un mélange de composés ayant les mêmes propriétés, un indice d'exposition global doit être calculé rendant compte des contributions respectives des différents produits. Sa formule est la suivante :  $I = C_1 / VL_1 + C_2 / VL_2 + C_n / VL_n$ . Si sa valeur est supérieure à 1, on considère qu'il y a dépassement de la valeur limite.

Compte tenu des concentrations voisines des différents produits dans les atmosphères de travail, rapidement la contribution de l'acide acétique à cet indice est négligeable puisque sa VME est de  $25 \text{ mg.m}^{-3}$  pour une valeur indicative assimilable à une VME de  $0,6 \text{ mg.m}^{-3}$  pour l'acide peracétique ( $1,5 \text{ mg.m}^{-3}$  pour la valeur indicative assimilable à la VLE) et une VME de  $1 \text{ mg.m}^{-3}$  pour le peroxyde d'hydrogène. Il est donc possible de se contenter de tenir compte des contributions de l'acide peracétique et du peroxyde d'hydrogène. Une autre difficulté tient à l'absence de valeur limite à court terme pour le peroxyde d'hydrogène. L'ACGIH considère qu'en l'absence de valeur limite à court terme (TLV-STEL), il est souhaitable de ne dépasser que de façon exceptionnelle une concentration égale à 3 fois la valeur limite à long terme (TLV-TWA). En se basant sur ce principe il peut être envisagé de prendre pour le calcul de l'indice global d'exposition une valeur limite à court terme, supposée protéger contre les problèmes d'irritation, de  $3 \text{ mg.m}^{-3}$  pour le peroxyde d'hydrogène. Cette valeur n'est d'ailleurs pas très éloignée de la valeur obtenue selon le test d'Alarie lors des essais sur le caractère irritant des composés de l'acide peracétique faits à l'INRS (3 ppm, soit environ  $4,5 \text{ mg.m}^{-3}$ ). En appliquant donc les valeurs de  $0,6 \text{ mg.m}^{-3}$  pour l'acide peracétique et de  $3 \text{ mg.m}^{-3}$  pour le peroxyde d'hydrogène, des dépassements ont été constatés pour la presque totalité des postes de travail dans l'usine d'embouteillage d'eaux aromatisées lors de la première campagne de mesures. Les modifications de procédés portant sur le contrôle de la suppression de certaines parties de la chaîne d'embouteillage et l'amélioration des dispositifs de captage de la pollution et des ventilations ont permis de réduire significativement les expositions, comme en témoignent les chiffres d'exposition obtenus lors de

la deuxième campagne de mesures de la pollution aux postes de travail. Les valeurs de l'indice d'exposition restent en effet inférieures à 0,4.

Dans les deux autres usines (et plus particulièrement dans l'usine B), la pollution est significative, bien que l'indice global reste inférieur à 1. Ce sont les postes d'embouteillage avec des indices compris entre 0,25 et 0,90 qui apparaissent comme les plus polluants, avec une contribution majeure de l'acide peracétique lui-même non pas qu'il soit en plus grande quantité dans les atmosphères de travail mais en raison du faible niveau de sa valeur limite d'exposition proposée à court terme.

Compte tenu de sa forte tension de vapeur et de son caractère fortement irritant, l'utilisation de l'acide peracétique implique donc une étude poussée des installations et des postes de travail lors de leur conception.

#### CONDITIONNEMENT DE LÉGUMES FRAIS PRÊTS À L'EMPLOI [2,15]

Le mécanisme de formation des chloramines et du trichlorure d'azote a été décrit de façon succincte précédemment. Après parage, les légumes sont immergés dans des bains d'eau chlorée dont la concentration est généralement comprise entre 30 et  $80 \text{ mg.l}^{-1}$  de chlore actif, introduit soit sous forme de chlore gazeux, soit sous forme d'hypochlorite. Il y a donc dans ces ateliers un apport constant de chlore pour maintenir le caractère désinfectant de l'eau et de matière azotée liée au trempage des légumes.

Les principaux résultats (prélèvements individuels) des évaluations des expositions sont rassemblées dans le [tableau V](#). L'exposition au chlore « soluble » (chlore, mono- et dichloramine) qui, compte tenu des tensions de vapeur des produits concernés, est vraisemblablement due à une aérosolisation de l'eau des bains de lavage en raison de leur forte agitation, a été distinguée de l'exposition au chlore « insoluble » (trichlorure d'azote). Dans un établissement la valeur de  $0,5 \text{ mg.m}^{-3}$  est largement dépassée pour la plupart des mesures, dans deux autres, plusieurs prélèvements se situent à des

TABLEAU V

#### Exposition au chlore soluble et au chlore insoluble pour 5 établissements

Etablissement	Nombre de prélèvements	Exposition au chlore « soluble » (étendue des mesures) ( $\text{mg.m}^{-3}$ )	Exposition au chlore « insoluble » (étendue des mesures) ( $\text{mg.m}^{-3}$ )
A	12	1,7 (0,10-3,7)	0,75 (0,10-2,3)
B	12	0,04 (0,01-0,06)	0,21 (0,07-0,30)
C	12	0,02 (0,01-0,10)	0,19 (0,07-0,43)
D	16	0,10 (0,06-0,20)	0,19 (0,08-0,29)
E	9	0,11 (0,01-0,25)	0,11 (0,01-0,17)

niveaux voisins de cette valeur. Ces valeurs sont cohérentes avec les plaintes enregistrées : permanentes dans le premier établissement, relativement fréquentes dans les deux autres (avec des différences entre les opérateurs, certains semblant plus sensibles que d'autres aux problèmes d'irritation), et exceptionnelles dans les deux derniers. Dans ce dernier cas, elles sont généralement enregistrées dans des circonstances exceptionnelles, comme par exemple le traitement d'un lot de sables particulièrement sales.

Il convient aussi de remarquer que les expositions les plus fortes sont mesurées dans les ateliers où un recyclage de l'eau, total ou partiel, est effectué. Ce recyclage est justifié par des raisons économiques : le coût de l'eau elle-même quand l'entreprise ne dispose pas d'un forage particulier et plus souvent l'utilisation d'eau glacée. Le refroidissement de l'eau étant une opération coûteuse, les entreprises sont alors fortement incitées à recycler. Cette influence du recyclage apparaît clairement dans le [tableau VI](#) où sont regroupés les résultats de prélèvements effectués sur les deux chaînes techniquement très proches d'une même entreprise qui traitaient des produits peu différents, l'une en eau perdue, l'autre en eau recyclée. Les émissions beaucoup plus élevées du bain alimenté en eau recyclée s'expliquent par le fait que la chaîne des réactions entre le chlore et les composés azotés peut se dérouler jusqu'au bout dans une eau régulièrement enrichie en composés solubles (ou maintenus en suspension dans les eaux de lavage) de l'azote, ce qui augmente la quantité de trichlorure d'azote produite.

Les entreprises de ce secteur sont, comme toutes les autres entreprises, soumises à des contraintes de plus en plus fortes en matière d'environnement. Ces contraintes pèsent notamment sur l'eau, dont les opérations de lavage des légumes frais prêts à l'emploi sont fortement consommatrices :

- une augmentation de son prix est inévitable ;
- les forages directs seront de plus en plus limités ;
- le coût de l'épuration des eaux usées sera de plus en plus lourd, et les pratiques actuelles qui permettent aux industriels du secteur de se contenter d'une décantation sommaire avant le rejet dans le

milieu naturel ne seront probablement plus tolérées très longtemps.

En conséquence, il semble que le recyclage de l'eau sera de plus en plus pratiqué, ce qui pourrait se traduire par des problèmes d'irritation de plus en plus fréquents dans ces usines. D'ailleurs les unités les plus récentes du secteur sont d'emblée conçues avec un recyclage au moins partiel de l'eau de process. L'INRS a donc décidé d'engager des travaux de recherche afin d'essayer d'apporter une solution à ce problème aujourd'hui limité qui pourrait prendre une plus grande extension dans les années à venir.

### Prévention : intervention sur les procédés de traitement des légumes frais prêts à l'emploi [16,17]

La première démarche a consisté à prendre le procédé tel qu'il était dans l'usine qui pratiquait déjà le recyclage intégral de l'eau de process et à étudier quelle évolution lui faire subir pour que les expositions des personnels reviennent à des niveaux plus acceptables. L'analyse du procédé a montré que les problèmes étaient liés au dégazage des eaux de process dans les ateliers de production. En conséquence, une solution qui permettrait que la plus grosse partie de ce dégazage s'effectue en dehors des ateliers a été recherchée. C'est la solution de la mise en place d'une tour de strippage sur le circuit de l'eau de process qui a été retenue. Cette solution a été développée en particulier avec un laboratoire universitaire qui s'est chargé des calculs théoriques. Le dimensionnement et la définition du cahier des charges de la tour ont été effectués en commun par ce laboratoire et l'INRS qui a également procédé au chiffrage du projet. La réalisation a été effectuée par l'entreprise bénéficiaire.

Le principe, décrit sur la [figure 4](#), consiste à faire circuler à contre courant l'eau de process et de l'air comprimé à travers le garnissage d'une colonne afin de faciliter le contact entre les deux phases. Cette tour a

**Exposition au chlore soluble et au chlore insoluble pour 5 établissements**

Jour des prélèvements	Type d'alimentation du bain	Nombre de mesures	Concentration moyenne en chloramines (étendue des mesures) (mg.m <sup>-3</sup> )
1	Eau recyclée	2	1,8 (1,7-1,9)
1	Eau neuve	2	0,2 (0,2-0,3)
2	Eau recyclée	16	2,1 (0,5-4,5)
2	Eau neuve	4	0,2 (0,1-0,6)

**TABEAU VI**



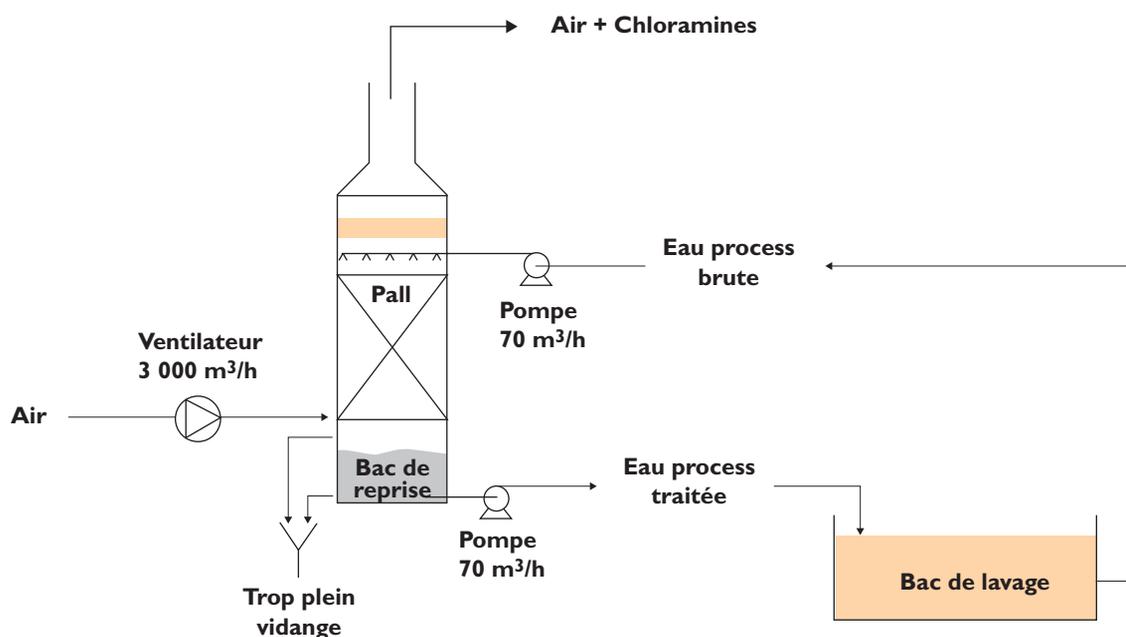
été intercalée sur le circuit de refroidissement de l'eau de process. Bien que l'air utilisé pour le dégazage ne soit pas réfrigéré, il n'a pas été nécessaire de renforcer ce circuit de refroidissement. En outre, compte tenu des quantités relativement limitées (bien que pouvant être très nuisibles en milieu confiné) de chloramines dégazées, il n'a pas été nécessaire de prévoir un dispositif de destruction avant le rejet à l'atmosphère. La dilution dans l'air ambiant ainsi qu'une destruction plus ou moins rapide par la lumière sont suffisantes. Le coût de revient de cette opération s'élève à environ 75 000 euros, comprenant non seulement l'appareillage mais aussi les travaux (d'aménagement et de construction) nécessaires à sa mise en place dans l'entreprise. Cette dernière a d'ailleurs pu bénéficier d'une subvention de la CNAMTS (Caisse nationale de l'Assurance maladie des travailleurs salariés) au titre du développement de produits innovants en matière d'hygiène et de sécurité. Le dispositif a été choisi en raison de sa simplicité et de sa robustesse. Malgré quelques petits problèmes au cours des premiers mois, un fonctionnement satisfaisant a rapidement été obtenu.

Les concentrations dans l'atelier ont été très nettement diminuées par la mise en place de cette tour de strippage et sont redescendues au-dessous des  $0,5 \text{ mg.m}^{-3}$  de chloramines, concentrations qui correspondent souvent à l'apparition des troubles oculaires ou respiratoires. Quoi qu'il en soit, les plaintes des travailleurs sont désormais exceptionnelles dans cette usine.

Au-delà de cette adaptation du procédé existant, l'INRS a été sollicité pour participer au développement, pour la partie hygiène et sécurité, d'un procédé alternatif à l'utilisation du chlore, basé sur une désinfection des légumes par l'ozone. Compte tenu de la faible solubilité de ce produit et de son caractère très irritant au niveau respiratoire, il est apparu rapidement que des modifications substantielles des installations existantes devraient être effectuées pour un passage à l'utilisation de l'ozone. Il fallait notamment envisager des encoffrements des installations ainsi que des procédures particulières pour l'ouverture de ces encoffrements et les interventions sur la chaîne de fabrication. Bien qu'en raison des nombreuses difficultés rencontrées, liées principalement aux propriétés physico-chimiques de l'ozone, cette opération n'ait pas abouti pour l'instant (puisque'elle n'a pas dépassé la phase du pilote), elle a montré la nécessité d'intégrer l'hygiène et la sécurité dès les premières phases de la conception de nouvelles installations.

Ce sont la relative simplicité du procédé étudié et de la solution proposée ainsi que les moyens limités en termes d'ingénierie mais aussi en termes financiers de ce type d'entreprises qui justifient l'intervention de l'INRS, et plus généralement de l'Institution Prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles dans un tel dossier. Le « coup de pouce » technique et financier qui est donné peut s'avérer déterminant dans la mise en place d'une solution de prévention.

**Fig. 4 : Principe de fonctionnement d'une tour de strippage.**



## Conclusion

Le projet consacré par l'INRS aux problèmes d'hygiène et de sécurité liés à l'utilisation des produits chimiques au cours des opérations de nettoyage et de désinfection dans l'industrie agroalimentaire a permis de faire le point sur un secteur peu étudié jusqu'à présent. Beaucoup de secteurs « périphériques » à la production, comme le nettoyage et la maintenance, souffrent encore aujourd'hui d'un déficit de connaissances. En effet, ces activités présentent certaines particularités qui ne favorisent pas leur prise en compte :

→ les activités directes de production sont plus visibles, elles sont aussi plus évidentes pour les différentes instances de prévention internes (mission HSCT, CHSCT, médecin du travail) ou externes (services Prévention des risques professionnels des CRAM, Inspection du travail, etc.) ;

→ l'évaluation des risques est parfois plus difficile à réaliser pour les activités périphériques puisqu'elle concerne parfois des phases instationnaires (c'est-à-dire des phases de démarrage, d'arrêt, d'incidents ou d'entretien, différentes des périodes normales de production) pendant lesquelles il peut être plus difficile de cerner l'activité et les dangers qui y sont associés. Ce n'est pas le cas pour les activités visées dans cet article pour lesquelles l'existence des plans de nettoyage devrait au contraire faciliter cette évaluation ;

→ les solutions techniques (notamment de protection collective pour le captage de la pollution) ne sont pas toujours simples à concevoir, ni à mettre en œuvre : il est, par exemple, difficile de concevoir un dispositif de ventilation permanent sur un équipement de travail qui est en cours de démontage. Et ces opérations de démontage des installations sont très nombreuses pendant le nettoyage ;

→ enfin, ces activités périphériques sont de plus en plus souvent sous-traitées à des entreprises extérieures qui, sauf exception, ne disposent pas des mêmes moyens d'analyse et de prévention des risques que les entreprises utilisatrices. En outre, l'application du décret du 20 février 1992 fixant les prescriptions d'hygiène et de sécurité applicables aux travaux effectués dans un établissement par une entreprise extérieure n'est pas toujours facile : elle impose la mise en place d'un réel partenariat entre l'entreprise utilisatrice et les différentes entreprises extérieures, dont celle réalisant le nettoyage.

### En résumé le projet INRS a permis de :

→ faire progresser la connaissance dans le domaine de l'évaluation des expositions. Il est aujourd'hui possible de mesurer les principaux polluants.

De même, les travaux effectués au cours de ce projet ont permis de préciser les procédés ou les opérations susceptibles d'entraîner les expositions les plus fortes. Ces résultats devraient constituer une aide pour les préventeurs d'entreprises dans leur tâche de définition et d'objectivation des risques. Dans le même domaine, la proposition de valeurs limites d'exposition pour des composés qui en étaient dépourvus (notamment l'acide peracétique et ses co-polluants) devrait également constituer une contribution utile ;

→ fournir des données épidémiologiques (morbidité) dans un secteur qui connaît des évolutions importantes. Elles pourraient éventuellement permettre de confirmer (ou d'infirmer) certaines hypothèses issues de campagnes d'évaluation des expositions menées dans ces secteurs d'activité. Il a en particulier été noté que les installations modernes (en particulier les abattoirs), généralement de taille nettement supérieure à celle des anciennes structures, ont également aussi des plans de nettoyage plus élaborés, ainsi que des exigences en matière de qualité bactériologique plus élevées. Des niveaux d'exposition très élevés ont pu être trouvés dans certains ateliers de ces gros établissements. Cette évolution est préoccupante car elle illustre la difficulté à mettre en place une politique de réduction des expositions dans ces ateliers où l'installation de dispositifs de protection collective spécifiques aux opérations de nettoyage paraît difficile voire impossible ;

→ mettre en évidence la nécessité de privilégier la prévention primaire qui passe d'abord par une bonne conception des locaux et une bonne organisation du travail. L'une et l'autre peuvent permettre de réduire dans des proportions importantes la salissure donc les besoins en nettoyage. De même, des progrès peuvent être réalisés en matière de substitution de produits : l'utilisation de produits à forte tension de vapeur comme les aldéhydes, et le formol en particulier, peut probablement être réduite sans que les performances en matière de désinfection soient sensiblement diminuées. C'est en tout cas la politique que plusieurs établissements visités au cours de ces études avaient adoptée ;

→ montrer que des adaptations limitées des procédés pouvaient être réalisées se traduisant par des progrès significatifs en matière d'hygiène et de sécurité. Dans certaines PME du secteur qui disposent de peu de moyens en matière de recherche et de développement, l'apport technologique d'organismes comme l'INRS (ou des services Prévention des risques professionnels des CRAM) peut se révéler déterminant dans la conception d'équipements de travail plus efficaces en matière de santé et de sécurité au travail. Ces résultats obtenus avec une entreprise peuvent d'ailleurs être

utilisés ensuite dans toute une branche d'activité : c'est ce qui a été obtenu dans l'industrie des légumes frais prêts à l'emploi.

Le travail sous forme de projet a facilité les collaborations entre différentes équipes de l'INRS dont les résultats se sont enrichis mutuellement. Il a également permis aux différents travaux de gagner en cohérence et en lisibilité. Ce gain s'est en particulier concrétisé au niveau international où les travaux de l'INRS, et en particulier certaines méthodes ou valeurs limites pro-

posées, ont été repris par des organismes homologues tels que le Health and Safety Executive (HSE) au Royaume-Uni ou le NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) aux Etats-Unis [18, 19]. Cette valorisation auprès des pairs au moyen de publications scientifiques étant bien entamée, l'accent sera désormais surtout mis sur l'information des entreprises et des préventeurs, en particulier par le biais d'une journée d'étude et de publications dans des journaux spécialisés.

## Bibliographie

- [1] BELLON-FONTAINE M.N., CERF O. - Nettoyage et désinfection dans les industries agroalimentaires. Ministère de l'Agriculture, Centre de Documentation Internationale des Industries Utilisatrices de Produits Agricoles. Massy, France, 1988, 123 p.
- [2] HÉRY M., GERBER J.M., HECHT G., SUBRA I., POSSOZ C., AUBERT S., DIEUDONNÉ M., ANDRÉ J.C. - Exposure to chloramines in a green salad processing plant. *The Annals of Occupational Hygiene*, 1998, **42** (7), pp. 437-451.
- [3] HÉRY M., HECHT G., GERBER J.M., GENDRE J.C., HUBERT G., REBUFFAUD J. - Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools. *The Annals of Occupational Hygiene*, 1995, **39** (4), pp. 427-439.
- [4] GÉRARDIN F., HECHT G., EZZAHRI H., BILDE H. - Mise au point d'une méthode de prélèvement et d'analyse du trichlorure d'azote en phase aqueuse. A paraître dans *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 4<sup>e</sup> trimestre 2003 ou 1<sup>er</sup> trimestre 2004.
- [5] HECHT G., AUBERT S., GÉRARDIN F., HÉRY M. - Workplace monitoring of hydrogen peroxide using titanyl-coated sorbents. *Journal of Environmental Monitoring*, 1999, **1**, pp. 149-152.
- [6] HECHT G., HÉRY M., HUBERT G. - Simultaneous sampling of peroxyacetic acid and hydrogen peroxide in workplace atmospheres. Soumis à *Journal of Environmental Monitoring*.
- [7] GAGNAIRE F., AZIM S., BONNET P., HECHT G., HÉRY M. - Comparison of the sensory irritation response in mice to chlorine and nitrogen trichloride. *Journal of Applied Toxicology*, 1994, **14** (6), pp. 405-409.
- [8] GAGNAIRE F., AZIM S., BONNET P., HECHT G., HÉRY M. - Pouvoir irritant du chlore et du trichlorure d'azote chez la souris. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1995, **156**, pp. 293-295, ND 1964-156-94.
- [9] MASSIN N., BOHADANA A., WILD P., HÉRY M., TOAMAIN J., HUBERT G. - Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pools. *Occupational and Environmental Medicine*, 1998, **55** (4), pp. 258-263.
- [10] GAGNAIRE F., MARGINAC B., HECHT G., HÉRY M. - Sensory irritation of acetic acid, hydrogen peroxide, peroxyacetic acid and their mixture in mice. *The Annals of Occupational Hygiene*, 2002, **46** (1), pp. 97-102.
- [11] HECHT G., HÉRY M. - Generation of controlled atmospheres for the determination of irritant potency of peroxyacetic acid. *The Annals of Occupational Hygiene*, **46** (1), pp. 89-96, 2002.
- [12] NADIF R. - Effets sur la santé de l'exposition aux sous-produits de la désinfection de l'eau. *Rapport scientifique final*, INSERM U420, Vandœuvre-les-Nancy, 2001.
- [13] HECHT G., HÉRY M., SUBRA I., GERBER J.M., HUBERT G., GÉRARDIN F., AUBERT S., DOROTTE M., PELLÉ-DUPORTE D. - Exposition aux produits chimiques dans l'agroalimentaire : les risques professionnels lors d'opérations de nettoyage et de désinfection. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1999, **176**, pp. 5-9, ND 2109-176-99.
- [14] HÉRY M., HECHT G., GERBER J.M., SUBRA I., AUBERT S., GÉRARDIN F., DOROTTE M. - Occupational exposure during cleaning and disinfection in the food industry. *Occupational Hygiene. Risk Management of occupational Hazards*, 1999, **5** (2), pp. 131-144.
- [15] HECHT G., HÉRY M., SUBRA I., AUBERT S., GERBER J.M., HUBERT G., OURY V., DIEUDONNÉ M. - Exposition aux chloramines lors du conditionnement de légumes frais prêts à l'emploi. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1998, **173**, pp. 381-387, ND 2087-173-98.
- [16] GÉRARDIN F., GAGNAIRE F., HECHT G., HÉRY M., MASSIN N. - Trichloramine : facteur de nuisances dans deux secteurs d'activité, modification de procédés en vue de son élimination. *Récents Progrès en Génie des Procédés*, 2001, **15**, pp. 155-163.
- [17] QUENIS B., DIEBOLD F., GERBER J.M., HUBERT G. - Lavage de légumes frais à l'eau ozonée : étude des conditions d'hygiène et de sécurité du procédé. Communication interne. Vandœuvre, INRS, 2000.
- [18] PINEY M. - Chloramine exposure and control at XY Ltd. HSE Field Operations Directorate, Wales and West Divisional Specialist Group, Occupational Hygiene Section, 2001.
- [19] KIEFER M., SANDERSON W.T., LENHART S.W., WEBER A. - Health hazard evaluation report. HETA 2000-0105-2794 : Wamplers Food Inc., Hinton, Virginia. NIOSH, 2000, 34 p. en texte intégral sur : [www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2000-0105-2794.pdf](http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2000-0105-2794.pdf)