

La sécurité dans un laboratoire de chimie organique allemand

## L'exemple de l'université de Hanovre

Antony Mauvais \* *docteur en chimie organique de l'université Louis Pasteur de Strasbourg*

**L'Allemagne est souvent considérée comme pionnière en matière de sécurité, de traitement des déchets et de protection de l'environnement ; il est donc intéressant d'observer les pratiques de notre voisin.**

Pour ce qui est de la sécurité dans les laboratoires universitaires, l'exemple de Hanovre et de l'accident qui s'y est produit voici un an devraient fournir bon nombre d'informations précieuses aux chimistes. Côté enseignement également, un gros effort est réalisé dès le début du cursus universitaire, et dans plusieurs universités, certaines initiatives prolongent celle décrite par Hans Fischer à l'université de Zürich, où les déchets chimiques à détruire ont été réduits à 10 kg/an.

En novembre 1992, la réserve de produits chimiques de l'Institut de chimie organique de Hanovre explosait violemment, puis prenait feu, provoquant la mort d'un technicien et d'importants dégâts matériels [1, 2]. Fait remarquable, cette réserve était en parfaite conformité avec les normes en vigueur : une commission de sécurité avait visité la réserve peu de temps auparavant et n'avait manifesté aucune critique envers sa réalisation.

Que ce soit au niveau de l'installation électrique, située à l'extérieur, du point de vue du conditionnement des solvants, relié à la terre, ou encore des sorbonnes, tout risque d'accident semblait écarté. Le feu qui a suivi l'explosion fut alimenté par les solvants : la plupart de ceux qui sont

utilisés par les chimistes organiciens y étaient représentés, comme l'éther, l'éther de pétrole, le méthanol et l'acétate d'éthyle. Une hotte contenant les acides minéraux et quelques produits toxiques, le cyanure de potassium par exemple, a aussi été détruite. Mais la plus grande partie des produits chimiques a été préservée, car ceux-ci étaient entreposés dans des armoires de sécurité, dont la fermeture automatique a été déclenchée immédiatement par l'explosion.

Les résultats des analyses, réalisées par la suite pour rechercher les dioxines notamment, se sont révélés inférieurs aux seuils fixés en Allemagne. Ce sont les armoires de sécurité qui ont évité le pire : la combustion de composés plus lourds que les solvants aurait augmenté de beaucoup la dose de ces dioxines, auquel cas l'accès des chercheurs et des étudiants à l'Institut aurait été interdit pendant une durée assez longue. Ainsi, pour les dioxines, la dose mesurée fut inférieure à celle occasionnée par un incendie domestique ! La pollution principale fut causée par la suie provenant de la combustion des solvants, propagée par le système d'aération.

Par chance, l'évacuation du bâtiment s'est déroulée en bon ordre et fut facilitée par l'absence des étudiants, en raison d'une coupure d'eau froide. Pratiquement tous les chercheurs pensèrent à couper l'eau et l'électricité, après avoir arrêté les pompes à palettes. Une fumée âcre et épaisse envahit les couloirs en quelques minutes.

Il faut souligner la compétence remarquable des pompiers. Leur intervention fut extrêmement rapide. Aux lances à eau utilisées, au début pour pouvoir approcher du foyer, succède l'usage de la neige carbonique, afin de ne pas aggraver la situation. Simultanément, un périmètre de sécurité fut installé par la police autour de l'Institut. Le voisinage dut fermer les fenêtres (les mesures effectuées sur la fumée âcre produite par le feu n'indiquèrent pas de toxicité particulière) et un bloc opératoire fut installé.

D'autres explosions ponctuèrent le travail des pompiers et, bien après qu'ils eurent maîtrisé l'incendie, le feu reprenait encore par endroits. Après une heure cependant, ils pouvaient évacuer l'eau et la neige carbonique (jusqu'à mi-cuisson), afin de ne pas aggraver les dégâts causés par leur intervention. Ainsi, seules quelques larges traînées marquent encore les murs au premier étage, au-dessous de la réserve sinistrée. Toute la nuit fut alors nécessaire pour détruire les produits chimiques contenus dans les armoires, apparemment intacts, mais ayant été exposés à une chaleur intense. C'est donc le lendemain matin seulement que tout risque était écarté : la qualité de l'intervention et de l'expertise menées par les pompiers témoignent d'une bonne connaissance des substances chimiques.

L'origine de l'explosion restera malheureusement inconnue. Les enquêtes exhaustives menées par des experts des



*L'Institut de Chimie Organique de Hanovre.*

pompiers, de la Kriminal Polizei et des assurances n'ont pas permis d'avancer la moindre explication. Comme l'indique un témoignage, il s'agit vraisemblablement d'une explosion du volume de la pièce : la pièce se serait emplie de feu, puis les quatre fenêtres se seraient volatilisées aussitôt, projetant du verre jusqu'à trente mètres et activant l'incendie. L'extrême violence de l'explosion, que certains chercheurs ont pris pour une mine sur le chantier voisin, favorise aussi cette hypothèse, mais sans en expliquer la cause. Aux dires des experts, l'explosion aurait été causée par un solvant ou moins probablement par un gaz : il n'y en avait pas dans la réserve. L'inventaire de la pièce, fourni par l'Institut, n'a pas pu éclairer davantage les experts et la formation d'une étincelle reste inexplicée.

Les chercheurs purent se remettre au travail deux semaines après l'accident, dans une atmosphère encore nauséabonde, mais sans qu'aucun document scientifique n'eût été détruit. Chaque jour, puis chaque semaine, une réunion des professeurs et des chercheurs permettait de faire le point et de trouver des solutions pour une bonne remise en route. Après les différentes enquêtes, menées par la Kriminal Polizei, l'administration et l'université, la pièce fut condamnée, pour être nettoyée par une entreprise spécialisée : elle est pour le moment toujours condamnée. Il fallait par ailleurs trouver une solution pour redémarrer les travaux pratiques et l'enseignement, ce qui revenait à inventorier les produits chimiques encore dispo-

nibles et à rechercher des essais réalisables par les étudiants.

Pour la recherche, le problème le plus épineux était la création d'une nouvelle réserve, non pas en raison du manque de produits chimiques, car une deuxième petite réserve était située au sous-sol, ni à cause de la place requise, mais parce qu'elle devait se faire dans des conditions de sécurité suffisantes. La solidarité des autres instituts et la générosité de certaines industries a aussi permis de créer la nouvelle réserve plus rapidement. Le traumatisme récent causé par le drame enjoignait à une extrême vigilance vis-à-vis de sa conception, notamment pour ce qui est des quantités ou pour l'examen régulier de l'inventaire, afin de supprimer les produits inutilisés ou trop vieux.

La distribution des produits fut divisée par catégories : c'était une nouveauté, afin d'éviter toute fausse manœuvre. Les solvants, les acides et les autres produits constituent désormais trois lots différents, qui sont entreposés et distribués séparément. Les solvants, séparés en quatre groupes pour éviter la confusion (éther et éther de pétrole, le lundi, etc.), sont distribués une demi-heure par jour. Les acides peuvent être délivrés deux fois dans la semaine, pendant un quart d'heure, et les autres produits trois fois une demi-heure par jour. Les chercheurs disposent d'un planning et d'un inventaire des produits qui leur permettent de s'organiser aisément et le système se révèle très peu contraignant.

Autre point important, et c'était déjà le cas avant l'explosion, l'étiquetage de tous les récipients est systématique. Tout flacon ou bouteille doit être muni d'une étiquette lisible lors de la distribution (elle indique nomenclature, nom trivial, dangers d'utilisation, toxicité et inflammabilité), sans quoi le produit demandé n'est pas délivré : un programme informatique permet de les imprimer à la demande aisément. Dans le même ordre d'idées, les solvants ne sont pas conditionnés dans des récipients d'une contenance supérieure à 2,5 l, exception faite de l'éther et de l'éther de pétrole, qui doivent impérativement être distribués et stockés dans des récipients de sécurité en acier inoxydable pour liquides inflammables et explosifs d'une contenance de 5 l, munis d'un filtre de Davy, d'un joint thermofusible en alliage fondant à 60 °C et d'un clapet de surpression. Ce mode de conditionnement devrait s'étendre progressivement aux autres solvants inflammables.

De nouvelles armoires de sécurité ont été achetées pour remplacer les anciennes et équiper certains laboratoires : chacun de ceux-ci devrait en être doté prochainement. Les solvants et les produits inflammables y sont stockés, voire même certains réactifs : les quantités entreposées sur les étagères de paillasses sont ainsi considérablement réduites.

Au-delà des chimistes, c'est le public qui est touché par un tel accident. L'Institut de chimie organique de Hanovre est contigu à un quartier résidentiel, et les voisins se sont unis pour en savoir plus, à la fois sur la cause de l'explosion, mais aussi sur le risque que représente la chimie organique. Plusieurs rencontres, réunissant des habitants et des représentants de la chimie organique, ont été organisées, souvent dans un climat très passionné, voire hostile. Malgré la parfaite transparence des informations livrées par les chimistes, un véritable dialogue n'a pu s'installer.

Il apparaît donc nécessaire d'informer le public et les médias en permanence ; c'est certainement de cette manière que l'on pourra instaurer des échanges constructifs pour tous. L'opération portes ouvertes organisée en chimie au mois de septembre 1993 sur tout le territoire allemand est une initiative dans ce sens.

En Allemagne, les lois traitant des conditions de travail à l'université ont été redé-

finies en octobre 1986. Le travail avec les produits chimiques, y compris leur stockage, leur transport et leur élimination y est décrit. Ces textes ont été réactualisés le 5 juin 1991 [3] et le ministère du Travail a entériné la loi en octobre 1991, en publiant une règle technique pour le travail avec les produits dangereux dans le domaine universitaire [4]. Envers les étudiants, l'université est tenue pour responsable de la bonne application des textes. Elle doit, non seulement tenir compte de ces exigences légales en matière de sécurité, mais aussi, et c'est le ministère du Travail qui va plus loin ici, assurer la formation des étudiants sur ce point dès le début de l'enseignement. Au cours de leur cursus, les étudiants doivent donc apprendre à éviter les substances dangereuses, à diminuer la production de déchets et à accroître le recyclage. De fait, depuis deux ans, les lois concernant la sécurité dans l'industrie et à l'université sont les mêmes, ce qui rend la réglementation en vigueur plus stricte à l'université.

Mais, bien plus que les textes en vigueur, ce sont les pratiques qui témoignent d'un réel progrès. Là aussi, certains faits démontrent l'effort fait outre-Rhin, comme c'est le cas à Hanovre. Il convient avant tout de préciser le déroulement de l'enseignement de la chimie organique en Allemagne [5] : les deux premières années universitaires constituent le Grundstudium (notre DEUG), suivi du Hauptstudium (licence et maîtrise) puis du Diplomarbeit et du Doktorarbeit (DEA et thèse). Pendant le Grundstudium déjà, le Grundpraktikum (les travaux pratiques correspondants) permet aux étudiants de réaliser plusieurs étapes de synthèse. Au cours du Hauptstudium, ils effectuent d'abord les travaux pratiques d'analyse, puis à nouveau de la synthèse. Entre le Hauptstudium et le Diplomarbeit enfin, l'occasion leur est donnée d'approcher un thème de recherche sous le parrainage d'un doctorant dans le cadre du Schwerpunktpraktikum. Ces modalités peuvent varier d'une université à l'autre, une caractéristique commune étant que tout au long de leur cursus, ce sont les thésards qui assurent le bon déroulement des travaux pratiques. Ce sont eux, avec les responsables de l'enseignement, qui sont les garants des conditions de travail.

Ainsi, dès le début du Grundpraktikum, les étudiants signent un protocole d'ac-

cord avec les responsables des travaux pratiques, avant même de mettre les pieds dans un laboratoire. Ils y lisent de manière très claire et détaillée le fonctionnement de l'Institut, ainsi que les consignes de sécurité à observer dans un laboratoire. Les travaux pratiques leur sont alors présentés, là encore avec la sécurité pour fil rouge, et une brochure est distribuée et publiée conjointement par la Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh, Société Allemande de Chimie) et les sociétés d'assurances [6]. Elle décrit clairement la sécurité en chimie et les premiers secours ; les illustrations qui y sont contenues permettent une lecture rapide et aisée.

Quand ils ont connaissance de leur thème de travail, les étudiants doivent alors réaliser une recherche bibliographique sérieuse des dangers pouvant être causés par les produits qu'ils vont mettre en œuvre. Avant même de manipuler, ils doivent prévoir ce qu'ils vont faire des déchets et comment les détruire, le cas échéant. Ils discutent alors avec le responsable, qui, après accord, leur fournit les produits chimiques nécessaires à l'expérimentation. Cette recherche-sécurité est prise en compte dans la notation.

C'est l'évidence même, le port des lunettes et de la blouse est extrêmement strict. Les thésards suivent cette règle et les rappels à l'ordre sont sévères. L'apprentissage des étudiants commence également avec la propreté. Les paillasses doivent être propres ; l'appréciation d'un travail tient moins compte du rendement atteint que de la qualité et de la propreté de l'expérimentation. Pour les thésards aussi, les surfaces de travail sales ou encombrées attirent les critiques : en chimie, propreté est mère de sûreté. Après expérimentation, le traitement des déchets est assuré par les étudiants et les thésards : c'est un gros travail, consommateur de temps pour l'étudiant concerné, mais aussi très formateur. Chacun connaît le numéro de téléphone des spécialistes quand un problème se présente (thermomètre à mercure cassé par exemple) et les accumulations de produits dangereux sont ainsi évitées.

Dans le cas des manipulations particulières, des salles prévues à cet effet ont été aménagées. C'est le cas pour les hydrogénations, les expériences poursuivies la nuit et les manipulations particulièrement nauséabondes ou toxiques (mercaptans et

cyanures par exemple). Dans chacune de ces salles, ainsi que dans la chambre froide, l'expérimentateur laisse une fiche à côté de l'expérience en cours, précisant son nom, son numéro de téléphone, la pièce où il travaille ainsi que les réactants et la durée de l'essai, ceci valant pour les cristallisations en chambre froide.

Autant que possible, les solvants usés sont recyclés, y compris les mélanges utilisés pour les chromatographies, et l'éther de méthyle et de t-butyle est en passe de remplacer l'éther d'éthyle. Les restes sont divisés en solvants chlorés et non chlorés dans des récipients à usage unique dans chaque laboratoire : ils sont éventuellement neutralisés ou filtrés, puis détruits tels quels. La quantité à détruire est ainsi minime et il n'est pas nécessaire de transvaser.

Les restes de silice, l'huile usagée et les déchets contenant du chrome ou du mercure sont collectés séparément.

Enfin, c'est indirectement une mesure de sécurité mais plutôt une mesure d'économie et de protection de l'environnement, l'université a demandé il y a quelques années que les laboratoires utilisateurs d'évaporateurs rotatifs réduisent leur consommation d'eau. Depuis lors, des appareils régulateurs de vide équipent quasiment tous les évaporateurs. Il s'agit de boîtiers à commande électronique équipés d'une électrovanne, qui sont intercalés entre l'évaporateur et la trompe à eau. On peut ainsi programmer le vide requis pour l'évaporation du solvant et la trompe à eau est automatiquement réglée. Il est encore possible d'adapter ce système sur une pompe à diaphragme, qui fournit un meilleur vide sans consommer d'eau. Ces pompes remplacent toutes les trompes à eau au fur à mesure des possibilités du budget. Peu encombrantes et silencieuses, elles permettent aussi de distiller des liquides sous vide et de les obtenir anhydres aisément.

La consommation d'une trompe à eau est estimée à 0,75 m<sup>3</sup>/h et sa durée de mise en service à 4 h/jour pendant 225 jours. Avec les contrôleurs, la consommation d'eau est divisée par deux, alors que les pompes à membranes ne consomment que du courant (0,21 kW pendant la même durée) ; l'économie est substantielle et le niveau de bruit dans le laboratoire diminue. Autre avantage avec les produits qui "sautent" : il est facile de régler le boîtier sur le vide adéquat.

Comme en témoignent les publications en langue allemande, il y a actuellement un intérêt croissant pour l'amélioration de la sécurité et la protection de l'environnement à l'université. Ainsi, l'université de Zürich fut la première à rapporter comment elle avait pu réduire considérablement la masse de ses déchets [7], à l'aide de mesures simples et peu contraignantes. En Allemagne, certains travaux prolongent ou complètent cette initiative, comme c'est le cas à Darmstadt, où V. Wiskamp décrit un travail basé sur le modèle zurichois [8, 9]. Les principes directeurs en sont les suivants :

- Éviter les substances très toxiques et nocives à l'environnement.
- Réduire les quantités de produits chimiques quand ils sont une charge pour l'environnement.
- Intégrer le flux des produits chimiques mis en œuvre dans un cycle.
- Faire en sorte que les expériences mettant en jeu des produits toxiques ou nocifs à l'environnement aboutissent à des déchets faciles à traiter.
- Collecter séparément les déchets nuisant à l'environnement.
- Leur trouver des traitements simples et rapides.
- Pour un contrôle efficace, suivre aussi précisément que possible les quantités consommées et produites.

Ces conditions ont pu être remplies à Darmstadt, notamment avec la diminution des métaux comme le mercure, le cadmium, l'arsenic et l'antimoine [10]. Dans cette université, l'accent porte sur les essais qui peuvent constituer un cycle. Le recyclage (des sels de chrome par exemple), l'optimisation des essais et surtout la séparation des déchets aqueux puis leur traitement par des méthodes classiques en technologie des eaux usées [11] permettent de diminuer les déchets tout en gagnant du temps et de l'argent.

Les étudiants appréhendent ainsi les processus chimiques dans leur ensemble et approchent la protection de l'environnement industrielle. C'est précisément l'esprit de la loi. Il est remarquable que la curiosité scientifique soit simultanément suscitée : les participants sont très motivés par les améliorations, en deviennent des acteurs et ne ressentent en aucun cas cette tâche comme une charge supplémentaire par rapport à l'apprentissage de la chimie et des techniques de travail.

Enfin, ces enseignements supplémentaires appellent des informations pour la compréhension du processus et peuvent être approfondis par des séminaires et des examens. Le moteur de tout cela est le dynamisme des responsables de travaux pratiques, bien plus que les moyens financiers.

Comme la nouvelle réglementation est parfois limitative vis-à-vis des travaux pratiques existants, T. Eicher (Saarbrücken) et L. F. Tietze (Göttingen) viennent de publier un livre de chimie organique pour les travaux pratiques [12] afin de répondre à ces nouvelles exigences : cet ouvrage est destiné aux étudiants débutant la chimie préparative et a été réalisé à la suite d'un projet pilote mené à l'université. De nombreuses réactions y sont décrites, avec les précautions d'emploi pour chaque produit et les méthodes de traitement des déchets. De tels travaux trouvent également un intérêt croissant en chimie inorganique [13-14] et sont à rapprocher de la démarche industrielle [15].

Comme on peut le constater par l'exemple des universités allemandes, l'amélioration et l'innovation de la sécurité peuvent trouver leur place dans le cadre de l'enseignement et de la recherche, sans pour autant alourdir le budget ni l'emploi du temps. Les nouveaux concepts qui y ont été développés devraient s'étendre aux autres universités et grandes écoles où le risque chimique existe et pourraient être exposés lors de rencontres scientifiques internationales au bénéfice de tous. Il ne fait aucun doute que la coopération industrie-université soit extrêmement positive dans ce domaine et le Forum européen "Science et Sécurité", qui s'est tenu à Strasbourg en décembre 1992, représente certainement une base idéale pour cette entreprise.

#### RÉFÉRENCES

- [1] *Hannoversche Allgemeine Zeitung*, n° 271, vendredi 20 novembre 1992.
- [2] A. Mauvais, *La Recherche*, avril 1993, n° 253, 458.
- [3] Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) 1986, modifié le 05. 06. 1991 (BGBl, p. 1218), voir aussi "Gefahrstoffe an Hochschulen", 2e édition, Frankfurt am Main, 1990.
- [4] TRGS 451 : "Umgang mit Gefahrstoffen im Hochschulbereich", 1991.
- [5] Le fonctionnement des universités de l'ex-Allemagne de l'Est était fondamentalement différent, tant au niveau de la sécurité que de l'organisation de l'enseignement. Quoi qu'il en soit, la réunification allemande offre les mêmes lois pour tous et le dynamisme de certaines universités de l'est (Jena...) est de bonne augure.
- [6] "Sicheres arbeiten in chemischen Laboratorien, Einführung für Studenten", réalisé et édité par la GDCh et le GUV (Gemeindeunfallversicherungsverband), 1986, réf. GUV 50. 0. 4.
- [7] H. Fischer, *Chemie in unserer Zeit*, 1991, 25, 249.
- [8] V. Wiskamp, *J. prakt. Chem.*, 1993, 335, 217.
- [9] V. Wiskamp, R. Bauer, K. Trageser, V. Wenzel, *Chemie in unserer Zeit*, 1993, 27, 48.
- [10] C. Mahr, E. Fluck, *Anorganisches Grundpraktikum*, VCH, Weinheim, 1976, 418.
- [11] L. Hartinger, *Taschenbuch der Abwasserbehandlung*, Hanser, München, 1976, tome 1, chapitre 3.
- [12] Th. Eicher, L. F. Tietze, *Organisch-chemisches Grundpraktikum unter Berücksichtigung der Gefahrstoffverordnung*, Georg Thieme, Stuttgart, 1993.
- [13] Jander-Blasius : *Einführung in das anorganisch-chemisches Praktikum*, 13e éd., S. Hirzel, Stuttgart, 1990.
- [14] P. Fischer, W. Heitzer, R. Thalacker : *Präparatives Praktikum*. G. Thieme, Stuttgart, 1988.
- [15] J. Wiesner (Hrsg). *Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie*, Dechema, GVC.VDI und schweiz. Akad. der Techn. Wissenschaften, Frankfurt am Main, 1990.

