

Préparation d'expériences de chimie en vue de la sécurité aux travaux pratiques

par J. TONNELAT,
Professeur honoraire, Paris.

INTRODUCTION.

La prévention des accidents en chimie est à incorporer à cet enseignement. Il ne saurait être question de la considérer comme une discipline indépendante. Cela présenterait une difficulté supplémentaire pour les élèves, car il leur faudrait retrouver dans leur mémoire, au bon moment, les risques et les moyens de protection énumérés dans un cours pour les appliquer ailleurs pendant les séances de travaux pratiques.

Le seul moyen d'acquérir les réflexes de sécurité, c'est de les pratiquer chaque fois que l'occasion s'en présente. C'est aux travaux pratiques mêmes que les contraintes qui en découlent se trouvent justifiées par les risques mis en évidence. De sorte qu'il ne suffit pas que les enseignants prennent des précautions : ils ne peuvent pas manipuler à la place de leurs élèves. C'est à ceux-ci de veiller sur eux-mêmes, d'acquérir des réflexes valables, de prendre l'habitude d'envisager les risques et les précautions à prendre dans des circonstances analogues.

Nous examinerons ici la prévention d'accident en chimie dans le but de former les élèves à l'esprit de sécurité. Ceci nous amènera parfois à donner des détails qui sont inutiles pour des gens avertis. Nous nous en excusons par avance.

I. LES CONNAISSANCES NECESSAIRES.

1° **Connaissance de la réaction chimique projetée.**

Il faut savoir quels sont les produits chimiques que l'on veut obtenir et ceux qu'il faut utiliser, quelles sont les conditions expérimentales à réaliser (pression, température, appareils à monter, flacons laveurs à prévoir, etc.). Tous ces renseignements sont faciles à trouver dans des manuels de chimie et des articles de revues.

Nous n'insisterons pas sur ce **point** qui est cependant **essentiel** et dont l'importance n'échappera à personne.

2° **Connaissance des risques d'accidents corporels.**

Il s'agit des accidents, même bénins, pouvant survenir à l'expérimentateur ou à ses voisins. Une énumération rapide permet d'en avoir une idée générale :

- traumatisme et plaie dus à la chute d'un appareil, à l'explosion d'un récipient, à la perte d'équilibre de l'expérimentateur ;
- brûlures thermiques qui peuvent être dues, non seulement à un objet chaud saisi avec la main, mais aussi à des projections de produits chauds, ou encore à une colonne d'air chaud ;
- brûlures corrosives pouvant atteindre les yeux par suite de projections de produit corrosif, pouvant atteindre les voies respiratoires et les yeux par suite de la formation et du dégagement d'un gaz nocif ;
- intoxications, le plus souvent par un gaz aspiré sans précaution et toxique. Il existe également des intoxications moins brutales par la voie cutanée ou la voie digestive ;
- électrisation par suite, presque toujours, du contact de la main avec un appareil mal isolé, un fil en mauvais état.

Naturellement, il peut y avoir plusieurs accidents simultanés, par exemple électrisation entraînant chute et traumatisme.

Cette liste n'est pas limitative.

3° **Connaissance des facteurs potentiels d'accidents.**

Nous précisons tout de suite que les facteurs réels d'accidents sont bien moindres que les facteurs potentiels. Pour ceux-ci, en effet, on envisage toujours les conditions favorisant au maximum un ou plusieurs accidents possibles.

Certains facteurs potentiels d'accidents sont dus :

- au matériel utilisé (la verrerie en particulier) ;
- au manque de stabilité d'un appareil ;
- aux produits chimiques employés (toxiques, corrosifs) ;
- au déroulement anormal de l'expérience (emballement) ;
- aux produits chimiques formés, recherchés ou non.

D'autres font intervenir l'expérimentateur et ses voisins. Ainsi :

- un élève dissipé, maladroit, nerveux, craintif,
 - des voisins dissipés, gênant l'expérimentateur dans ses mouvements,
- peuvent créer des conditions favorables à un accident.

4° **Connaissance des moyens de prévention.**

Il faut non seulement les connaître mais aussi les utiliser.

A) PROTECTION INDIVIDUELLE.

On trouvera des informations dans la brochure ED n° 490 « Sécurité dans les manipulations scientifiques à l'usage des élèves débutants des lycées », édité par l'Institut National de Recherche et de Sécurité (I.N.R.S.). Voici quelques exemples :

- porter un vêtement de protection assez ajusté en tissu peu inflammable, de préférence du coton. Surtout **pas de polyamides**,
- pas de cheveux flottants, ni de queue de cheval, ni de natte flottante. Maintenir les cheveux serrés,
- porter des lunettes de protection,
- ne jamais se pencher au-dessus de la paillasse.

Cette liste n'est pas limitative.

B) TECHNIQUES OPÉRATOIRES MANUELLES.

Les plus courantes sont indiquées dans la brochure ED n° 490 citée précédemment. Par exemple :

- tenir un tube à dégagement près de l'orifice qu'on introduit dans un bouchon,
- tenir un tube coudé toujours par la partie rectiligne,
- chauffer le liquide contenu dans un tube à essais en commençant par sa surface libre,
- utiliser une pipette automatique ou une propipette pour aspirer un liquide quel qu'il soit.

Cette liste n'est pas limitative.

C) PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES POUR CERTAINS PRODUITS.

Il ne saurait être question d'examiner ici les cas particuliers d'un grand nombre de produits. Nous ne prendrons que quelques exemples :

a) *Hydrogène* : corps inflammable et explosif :

- pas de flamme à proximité,
- purger l'appareil producteur avec le plus grand soin,
- ouvrir très progressivement les détendeurs d'une bouteille d'hydrogène comprimé de manière à ne pas provoquer d'inflammation du jet à la sortie par production d'électricité statique.

b) *Bouteille d'oxygène comprimé* : comburant, peut faciliter l'inflammation d'un produit combustible :

— ne jamais graisser un robinet qui fonctionne mal : la sortie ultérieure d'un jet d'oxygène provoque l'inflammation brutale du produit utilisé pour le graissage et même l'explosion de la bouteille.

c) Emploi et/ou formation de gaz toxiques et/ou irritants :

- utiliser la sorbonne fermée et bien ventilée (ventilation haute ou basse suivant la densité du gaz ou de la vapeur),
- manipuler le chlore sous la sorbonne.

II. PREPARATION D'UNE EXPERIENCE EN VUE DE LA SECURITE.

Nous répétons ici ce que nous avons déjà dit au début de cet article : nous avons affaire à des élèves qui ignorent les risques et les moyens d'éviter les accidents. Il est donc nécessaire d'entrer dans les détails.

1° Premier exemple : synthèse du sulfure de fer.

A) CONNAISSANCE DE LA RÉACTION.

On utilise du soufre en fleur, de la limaille de fer, une brique, un bec Bunsen allumé. On porte à l'incandescence à l'air. Il se forme du sulfure de fer solide. Il peut se former aussi du dioxyde de soufre à cause de la présence d'oxygène dans l'air.

B) CONNAISSANCE DES FACTEURS POTENTIELS D'ACCIDENTS ET DES MOYENS DE PRÉVENTION.

a) Emploi d'une brique : il faut assurer sa stabilité ; on la posera donc sur la paillasse par sa plus grande face ; elle peut être rugueuse par endroits, on ne la frotera pas avec la main.

b) Le soufre, inflammable, peut se charger d'électricité statique par frottement des grains les uns sur les autres. D'où la possibilité d'étincelles provoquant l'inflammation du soufre à l'air, surtout si l'on utilise un objet métallique pour faire le mélange avec la limaille de fer. On trouvera des compléments d'information dans la brochure ED n° 507 « L'électricité statique » (I.N.R.S.).

On peut en déduire les précautions à prendre :

- opérer sur une quantité juste suffisante pour faire une bande sur la surface de la brique,
- utiliser le soufre en fleur de manière que les élèves ne fassent pas le broyage,
- utiliser un récipient non métallique pour faire le mélange du fer et du soufre,
- utiliser une baguette de verre pour mélanger ces deux solides,
- cette baguette de verre sera bordée.

c) Le fer n'est pas pyrophorique et n'appelle pas de remarque.

d) Le sulfure de fer est formé à chaud. Le toucher avec la main après refroidissement seulement.

e) Le dioxyde de soufre formé est un produit irritant et toxique. Voir la fiche toxicologique n° 41 « Anhydride sulfureux » de l'I.N.R.S.

Deux précautions importantes :

- ne pas se pencher au-dessus de la brique pendant la formation du sulfure de fer,
- assurer une bonne ventilation de la salle, c'est-à-dire une circulation d'air sans action sur l'orientation des flammes des becs Bunsen.

e) L'allumage des becs Bunsen doit être fait correctement, en mettant la main sur le côté de la flamme.

C) PROTOCOLE DE L'EXPÉRIENCE.

Mettre le soufre en fleur et la limaille de fer dans le même récipient (soucoupe, papier).

Prendre une baguette de verre bordée et faire le mélange des deux produits.

Lorsque l'ensemble a une teinte uniforme, utiliser la baguette de verre pour le répartir sur la brique en une bande sur la plus grande longueur, de 2 à 3 cm de large.

Allumer le bec Bunsen en mettant la main sur le côté pour ne pas se brûler.

Chauffer le mélange en un point jusqu'à ce qu'il devienne incandescent. Prendre la précaution de diriger la flamme de manière à ne pas être brûlé, et à ne pas provoquer de brûlure à un voisin.

Poser le bec Bunsen sur la paille.

L'incandescence se propage à toute la bande du mélange qui change de couleur. Le produit formé est chaud. Attendre un peu son refroidissement pour le prendre avec la main.

Examiner et caractériser le produit formé.

Ce texte donne les précautions à prendre au fur et à mesure que l'on exécute les diverses phases de l'expérience. Les élèves ont besoin d'être avertis de ces précautions avant de faire eux-mêmes l'expérience.

Pour pouvoir incorporer les précautions à prendre, il est nécessaire de répertorier auparavant les facteurs potentiels d'accidents et les moyens de prévention.

Dans l'expérience citée précédemment, ceux-ci sont faciles à mettre en œuvre et les facteurs réels d'accidents sont très réduits.

2° Deuxième exemple : action de l'acide chlorhydrique sur le sulfure de fer synthétique.

Nous utiliserons une autre présentation pour la recherche des facteurs potentiels d'accidents et des moyens de prévention.

A) INVENTAIRE DU MATÉRIEL NÉCESSAIRE :

- sulfure de fer préparé par l'élève,
- acide chlorhydrique,
- tubes à essais.

B) RÉSULTAT DE L'EXPÉRIENCE :

- ion ferreux en solution,
- sulfure d'hydrogène gazeux.

C) RECHERCHE DES FACTEURS POTENTIELS D'ACCIDENTS ET DES PRÉCAUTIONS A PRENDRE :

Nous admettrons qu'on ne les connaît pas et qu'il est nécessaire de consulter des documents.

a) Sulfure de fer :

- pas de fiche toxicologique de l'I.N.R.S.,
- fiche « Réactions chimiques dangereuses » n^{os} 17 et 16 sulfure ferreux : « Humide, il s'oxyde à l'air.

Par broyage dans un mortier, la masse peut devenir incandescente ».

PRÉCAUTION :

Les élèves utiliseront le sulfure de fer en petits fragments.
Pas de broyage, pas de mortier.

b) Acide chlorhydrique :

- fiche toxicologique n^o 13 de l'I.N.R.S.

RISQUES :

Action corrosive sur la peau et les muqueuses.

Irritation respiratoire et conjonctivale par les vapeurs.

Brûlures de la peau.

Lésions oculaires par projections.

Valeur limite de concentration des vapeurs dans l'air :
5 ppm, soit 7 mg/m³ (hygiénistes américains).

RECOMMANDATIONS :

Avertir les expérimentateurs du caractère corrosif du produit.

Eviter les projections.

Pas d'aspiration à la bouche des solutions.

Assurer la ventilation de la salle.

Utiliser des vêtements de protection, des lunettes, des gants.

(Les risques et les recommandations n'ont pas été transcrits de la fiche, mais interprétés et adaptés aux conditions de travail dans les collèges et les lycées).

c) Tubes à essais :

RISQUES CONNUS :

Récipient ébréché, non bordé.

Récipient fêlé laissant écouler un liquide corrosif.

PRÉCAUTIONS :

Utiliser des récipients en bon état.

d) Ion ferreux en solution :

— pas de fiche,

— la solution restée acide peut être corrosive.

PRÉCAUTION :

Voir précédemment *b)* acide chlorhydrique.

e) Sulfure d'hydrogène : gazeux à la température ordinaire :

— fiche toxicologique de l'I.N.R.S. n° 32 « Hydrogène sulfuré ».

Densité : 1,19. Donc gaz lourd.

Limite d'explosivité en volumes % dans l'air :

limite inférieure : 5,5,

limite supérieure : 45,5.

Odeur décelable à de faibles concentrations.

RISQUES :

Incendie et explosion.

Irritation des poumons.

Intoxication par voie pulmonaire, suraiguë, aiguë, subaiguë et chronique.

Valeur limite de concentration dans l'air : 10 ppm, soit 15 mg/m³ (hygiénistes américains).

RECOMMANDATIONS :

Avertir les expérimentateurs du caractère toxique de ce produit.

Respirer le moins possible de ce gaz.

Assurer la ventilation de la salle.

D) TABLEAU DES FACTEURS POTENTIELS D'ACCIDENTS ET DES MOYENS DE PRÉVENTION :

Le sulfure d'hydrogène formé étant **inflammable** et **explosif**, on supprimera les flammes sur les paillasses.

Ce produit étant également **toxique**, on évitera l'intoxication suraiguë en faisant faire la réaction sur de petites quantités de sulfure de fer et en assurant une bonne ventilation de la salle.

Opérations à réaliser	Facteurs potentiels d'accidents	Accidents corporels possibles	Moyens de prévention
Mettre les fragments de FeS dans un 1 ^{er} tube à essais.	Tube fêlé, ébréché, coupant.	Blessure.	Utiliser un tube à essais en bon état.
Prendre un 2 ^e tube à essais. Y verser un peu de solution HCl.	Tube fêlé, etc. Liquide corrosif.	Blessure. Brûlures corrosives.	Tenir le flacon d'acide avec la paume de la main du côté de l'étiquette. Tenir le tube avec une pince à tube.
Verser un peu de la solution du 2 ^e tube dans le 1 ^{er} .	Tube fêlé, etc. Liquide corrosif.	Blessure. Brûlures corrosives.	Tenir les deux tubes avec des pinces, ou bien Tenir les tubes avec les doigts placés latéralement, de manière à ne pas recevoir la goutte qui coule à l'extérieur.
Poser le 2 ^e tube dans le porte-tubes.	Fond du tube fragile. Liquide corrosif.	Brûlures corrosives.	Poser le tube délicatement dans le porte-tubes. Ne pas le laisser tomber.
Sentir l'odeur du gaz SH ₂ formé dans le 1 ^{er} tube.	Gaz toxique	Intoxication massive et brutale.	Tenir le tube vertical en avant du visage. Avec l'autre main, envoyer de petites bouffées de gaz vers le nez. Arrêter dès que l'on sent l'odeur. Assurer une bonne ventilation de la salle.

E) PROTOCOLE DE L'EXPÉRIENCE.

Il suffit maintenant de rassembler les informations de la première colonne (Opérations à réaliser) et de la quatrième (Moyens de prévention) pour établir la succession des renseignements à donner aux élèves en vue d'assurer leur sécurité pendant la séance de travaux pratiques.

Des précisions supplémentaires peuvent être données sur les facteurs potentiels d'accidents et les accidents possibles de manière à faire accepter les contraintes imposées.

Nous n'allongerons pas cet article avec une rédaction semblable à celle de l'exemple précédent (synthèse du sulfure de fer).

CONCLUSION.

Nous avons examiné ici deux exemples très simples.

Il ne saurait être question de passer en revue toutes les expériences que l'on peut faire aux élèves pendant la durée de leurs études au collège et au lycée.

Le but de cet article n'est pas d'accumuler des exemples, mais de présenter une méthode pour répertorier les facteurs potentiels d'accidents et les moyens de prévention. Il faut bien se dire que les programmes de l'enseignement du second degré subissent des modifications par suite de l'évolution de nos connaissances et de leurs nouvelles applications à notre vie journalière. Il est donc nécessaire que chaque enseignant dispose d'une méthode qui lui permette de trouver lui-même les facteurs potentiels d'accidents et les moyens de prévention pour les nouvelles expériences à faire.

Naturellement, les élèves devraient l'acquérir également au fur et à mesure du déroulement de leur scolarité. Il est souhaitable de les faire réfléchir sur l'aspect sécurité de leurs actes et de les amener à pratiquer les mesures de prévention d'accidents comme de véritables réflexes.

Nous avons choisi d'exposer une méthode de recherche de facteurs potentiels d'accidents et de moyens de prévention. Mais nous n'en avons vu que très peu. C'est tout à fait insuffisant : d'autres facteurs potentiels d'accidents, d'autres moyens de prévention apparaissent à l'occasion d'autres expériences de chimie.

Il sera donc nécessaire de faire :

- un inventaire de facteurs potentiels d'accidents,
- un inventaire de moyens de prévention.

On ne peut malheureusement pas affirmer que de tels inventaires seront complets. Il arrive que certains facteurs potentiels d'accidents passent inaperçus et ne seront mis en évidence qu'après un accident. Ces listes seront donc à compléter au fur et à mesure qu'on pourra les découvrir. Une première liste peut cependant être établie avec ceux qui sont connus à l'heure actuelle.

BIBLIOGRAPHIE

B.U.P. n° 633, avril 1981, p. 956-965 : *La sécurité dans l'enseignement des sciences physiques.*

Voir en particulier la circulaire du 7 décembre 1967 recommandant de ne pas porter de vêtements en polyamides.

I.N.R.S. (Institut National de Recherche et de Sécurité pour la Prévention des Accidents du Travail et des Maladies Professionnelles), 30, rue Olivier-Noyer, 75014 Paris. Tél. : (1) 545-67-67.

Toutes les publications sont envoyées aux C.R.D.P. et aux C.D.D.P.

Brochures :

ED n° 490 : *La sécurité dans les manipulations scientifiques des lycées.*

ED n° 507 : *L'électricité statique.*

Fiches toxicologiques :

n° 13 : *Acide chlorhydrique.*

n° 32 : *Hydrogène sulfuré.*

n° 41 : *Anhydride sulfureux.*

Fiches « Réactions chimiques dangereuses » :

n° 17 : *Hydrogène sulfuré. Sulfures. § 16. Sulfure ferreux SFe.*
