

# La destruction des toxiques de guerre

Armand Lattes

<b>Résumé</b>	Les méthodes de destruction des munitions, des armes chimiques et de leurs précurseurs sont présentées dans cet article : traitements thermiques ou chimiques (incinération ou neutralisation – hydrolyse et oxydation). La mise en œuvre des différentes méthodes est illustrée par les exemples de la destruction des armes chimiques en Europe, en France et en Syrie, et les mesures de décontamination sont précisées.
<b>Mots-clés</b>	<b>Toxiques de guerre, armes chimiques, précurseurs, destruction, incinération, neutralisation, hydrolyse, oxydation, SECOIA, Syrie.</b>
<b>Abstract</b>	<b>Destruction of chemical warfare</b> The destruction methods of ammunitions, chemical weapons and their precursors are presented in this article: thermal or chemical treatments (incineration or neutralization – hydrolysis and oxidation). The implementation of the different methods is illustrated by the examples of the chemical weapons destruction in Europe, France and Syria. Precisions are given on the decontamination processes.
<b>Keywords</b>	<b>War toxics, chemical weapons, precursors, destruction, incineration, neutralization, hydrolysis, oxidation, SECOIA, Syria.</b>

La plupart des stocks importants d'armes chimiques et de leurs munitions ont été constitués par les États-Unis et l'Union soviétique ; nous nous attacherons donc essentiellement à ceux-ci. Au moment de l'entrée en vigueur de la Convention d'interdiction des armes chimiques en 1997, l'Union soviétique disposait d'environ 40 000 tonnes et les États-Unis de 28 600 tonnes de ces composés toxiques utilisables comme armes de guerre (*table A*, p. IX de ce dossier). Pour les États-Unis, il s'agissait surtout de gaz moutarde, de neurotoxiques et de VX (neurotoxiques très hydrophobes, extrêmement dangereux) distribués dans huit dépôts dispersés dans le pays. Pour l'Union soviétique, on comptait 32 300 t de neurotoxiques, 7 700 t de vésicants (ypérite et lewisite) et 5 t de phosgène, localisés dans sept dépôts, répartis là encore dans différents endroits.

La Convention stipule que les états signataires s'engagent à la destruction des armes chimiques détenues sur leur territoire ou abandonnées sur le territoire d'autres États et à la destruction des installations destinées à leur fabrication. Il était clair que ces armes ne devaient pas quitter le pays où elles se trouvaient et que leur destruction devait avoir lieu au plus près de leur site de stockage. Cette clause devait entraîner des difficultés dans deux cas : celui des armes chimiques stockées en Allemagne par les Américains à l'époque de la guerre froide (voir *encadré 4* p. XX), et plus récemment, la destruction des stocks détenus par la Syrie (voir *encadré 6* p. XXI). La connaissance des stocks de l'URSS et des États satellites est trop fragmentaire pour qu'une étude précise soit possible. Il en va de même des éventuels stocks possédés par la Chine, par exemple.

## Les méthodes de destruction des stocks d'armes chimiques et de leurs munitions

Jusqu'au début des années 1960, les autorités américaines, dont l'activité en la matière a pu être suivie de

manière précise, se débarrassaient des toxiques par des méthodes peu écologiques : combustion à l'air libre, simple enfouissement ou immersion dans les mers et les océans ! Par la suite, et jusqu'aux années 1980, l'incinération fut privilégiée, mais là aussi sans précaution particulière, ce qui entraînait d'autres risques.

Actuellement, les méthodes de destruction sont conçues de façon à assurer la sécurité la plus grande tant au plan toxicologie qu'au plan écotoxicologie. La nature des produits et celle du stock déterminent le choix de la méthode. On distingue ainsi les précurseurs d'armes binaires (par exemple : alcool isopropylique et isopropylphosphonate de sodium), les toxiques eux-mêmes (essentiellement yperite et dérivés neurotoxiques), en vrac ou en munition.

### Le traitement des munitions

Le traitement des munitions (cartouches, obus, bombes, roquettes, atomiseurs, etc.) est compliqué par la présence d'explosifs et d'un accès au toxique généralement difficile. Deux solutions peuvent être retenues :

- soit faire exploser la munition dans une chambre de détonation étanche et à l'épreuve des explosions ; chauffée à haute température, la munition explose et le contenu chimique est dégradé *in situ* par décomposition thermique ;
- soit, après extraction physique de l'explosif, drainer l'agent chimique, qui est alors incinéré ou neutralisé chimiquement.

Dans les deux cas, les opérations s'effectuent avec traitement des gaz, tandis que les métaux et les déchets résiduels sont décontaminés thermiquement puis mis à la ferraille.

### Les traitements thermiques

Les *incinérateurs* utilisés travaillant à haute température (1 400 °C), la méthode est universelle, sauf pour ce qui concerne la lewisite dont l'incinération conduirait à des dérivés

volatils toxiques de l'arsenic. Les traitements thermiques par torche à plasma, également utilisés, permettent la destruction de la lewisite. L'incinération doit être contrôlée tout au long de la chaîne : le sarin, par exemple, conduit à un mélange de résidus carbonés et d'eau, mais aussi à du

## Encadré 4

### Le devenir des armes chimiques stockées en Europe de l'Ouest pendant la Seconde Guerre mondiale

Les armes chimiques stockées en Europe de l'Ouest se trouvaient concentrées dans un dépôt militaire en Rhénanie Palatinat, au cœur même de l'Europe. Il était, en conséquence, impossible de les détruire sur place. Leur déplacement fut décidé, travail remarquable connu sous le nom de « Opération Golden Python » ou « Operation Steel Box » : 100 000 projectiles remplis de neurotoxiques et de VX furent transportés à partir du 26 juillet 1990, par la route jusqu'au Miesau Army Depot, puis par train jusqu'au port de Nordenham, en mer du Nord, d'où les munitions furent embarquées sur deux bateaux, et enfin déposées le 18 novembre 1990 sur l'atoll Johnston, dans le Pacifique, pour y être traitées.

Pourquoi ce choix ? Le Johnston Atoll Chemical Agent Disposal System (JACADS) s'est imposé aux États-Unis pour au moins trois raisons : (i) les mouvements et associations américaines se refusaient à accepter sur le territoire américain des toxiques en provenance d'autres territoires et les protestations des populations avoisinant l'atoll ont été moins entendues ; (ii) l'atoll est situé à 1 328 km d'Honolulu, loin de lieux habités ; (iii) l'atoll a été équipé par l'armée américaine pour réaliser des explosions nucléaires atmosphériques dès les années cinquante et avait déjà accueilli depuis 1971 des armes chimiques, en particulier celles en provenance d'Okinawa dans le cadre de l'opération RedHat. La destruction des toxiques se fit par incinération. Achevée en 2002, elle fut suivie par la démolition du site d'août à octobre 2003, puis l'atoll retourna à la vie sauvage.

pentoxyde de phosphore et à de l'acide fluorhydrique, exigeant un lavage des gaz, par exemple par barbotage dans une solution de soude suivi d'un passage par des filtres à particules. Cinq sites américains ont retenu en priorité ce procédé : l'Atoll Johnston (voir encadré 4), Tooele, Anniston, Umatilla et Pine Bluff.

La **neutralisation** est une méthode plus spécifique que l'incinération. Elle procède essentiellement par hydrolyse ou oxydation :

- **L'hydrolyse** est essentiellement utilisée pour neutraliser les dérivés organophosphorés par une solution basique, solution de soude ou de monoéthanolamine (figure 1).

Dans le cas d'un VX, l'hydrolyse fournit l'acide O-éthyl méthylphosphonique (EMPA, non toxique), l'acide O-éthyl méthylphosphonothioïque (EMPTA, en petites quantités), seul EA-2192 qui résulte de la coupure de la liaison P-O est hautement toxique (figure 2).

La réaction est catalysée, donc accélérée, en présence d'hypochlorite, de sels métalliques ou d'acide 2-iodosobenzoïque [1].

- **L'oxydation** est réalisable avec divers oxydants, hypochlorites de sodium et de calcium, ou peracides du type oxone<sup>(1)</sup>, monoperoxyphthalate de magnésium. Appliquée à l'ypérite, cette méthode exige une grande sélectivité : en effet, l'oxydation doit s'arrêter à la formation du sulfoxyde en évitant la formation de sulfone, elle-même toxique (figure 3) !

Par oxydation dans des milieux organisés [2], une bonne sélectivité est atteinte, même dans le cas de munitions comportant, outre l'ypérite, un gel polymère [3]. La décontamination par oxydation a été retenue par deux sites américains : Newport et Edgewood (Aberdeen).

Pour une élimination totale des agents chimiques, les autorités américaines ont prévu de décontaminer les résidus de neutralisation (p. XX voir encadré 5) et ont choisi pour ce faire d'utiliser deux techniques originales :

- sur le site de Pueblo Army Depot (Colorado), la neutralisation est suivie d'une biodégradation dans un bioréacteur à cellules immobilisées ;
- sur le site de Lexington-Blue Grass Army Depot (Kentucky), elle est suivie d'une oxydation en milieu eau supercritique.

De façon générale, la méthode par neutralisation, quoique sûre, présente cependant quelques inconvénients, dont la manipulation de grandes quantités d'eau : le volume des effluents est cinq fois plus important que celui des liquides toxiques, et ils doivent être éliminés ainsi que d'autres déchets. En traitement ultime, ces déchets peuvent être mélangés avec du bitume (« bitumés »), ce qui permet leur utilisation ultérieure (goudronnage, etc.).

### Le cas particulier des précurseurs chimiques

Une grande partie des réserves connues sont constituées de précurseurs des organophosphorés. Rappelons en effet que ces composés, moins toxiques que les armes chimiques elles-mêmes, peuvent être utilisés dans les armes binaires où ils sont transformés au moment précis de l'utilisation de la munition : les réactifs sont distribués dans deux compartiments séparés par une membrane, qui se déchire au départ de l'obus ; les deux réactifs se mélangent, il y a réaction complète avant que la cible soit atteinte. Deux exemples sont présentés ci-après :

- dans les obus de 155 mm, on peut ainsi préparer du sarin, suivant la réaction donnée sur la figure 4 [4] ;

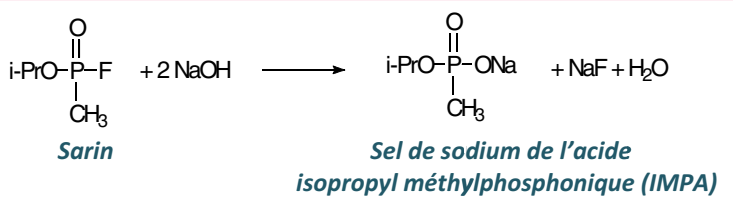


Figure 1.

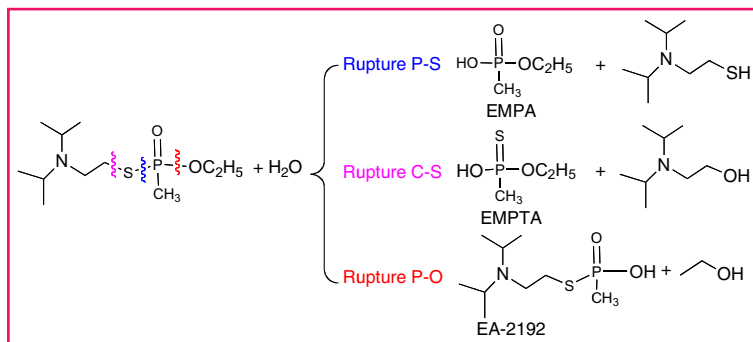


Figure 2.

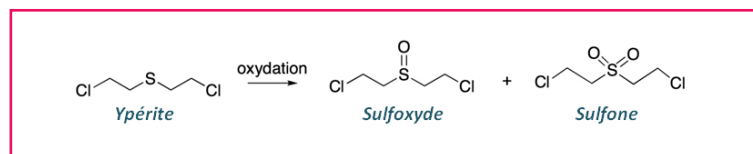


Figure 3.

## Encadré 5

## Décontamination des toxiques de guerre

Les questions liées à la décontamination et à la destruction des armes chimiques doivent être examinées en fonction de trois paramètres : le moment, la localisation, et la nature des produits (déterminée ou non).

Lors d'une attaque chimique (guerre ou acte de terrorisme), il faut opérer **sur place**, ou à proximité du site contaminé, et procéder le plus rapidement possible à la décontamination :

- les traces de toxiques visibles **sur les personnes** atteintes peuvent être enlevées grâce à des décontaminants biocompatibles ;
- **les matériels** doivent être lavés, au moins à l'eau, chaude de préférence, ou sous pression (Karcher). Des produits polyvalents peuvent être utilisés, de même que de nombreux mélanges et émulsions.

Une **décontamination plus approfondie** peut avoir lieu ensuite, le plus souvent par hydrolyse alcaline.

La recherche de **produits de décontamination polyvalents** est importante en l'absence de renseignements sur la nature exacte du toxique [6]. Rappelons que lors de l'attaque du métro de Tokyo en 1995, les patients ont été traités tout d'abord en suivant les procédures utilisées pour les intoxications par les dérivés de l'acide cyanhydrique ! Ce n'est qu'à l'énoncé des symptômes qu'un universitaire a prévenu les équipes médicales qu'il s'agissait plus vraisemblablement du gaz sarin !

Quelques mots à propos des **dérivés arsenicaux** qui ne sont pas discutés par ailleurs dans ce dossier. La lewisite (table A p. IX) a été trouvée dans des stocks d'armes chimiques en Russie et fait donc encore l'objet d'une surveillance. Vésicant, comme l'ypérite, mais encore plus dangereux, ce produit peut être neutralisé par un antidote, le dimercaprol (2,3-dimercaptopropanol, [6]), ou « British Anti Lewisite » (BAL), un chélateur de métaux lourds qui se fixe sur l'arsenic en donnant un complexe soluble dans l'eau.

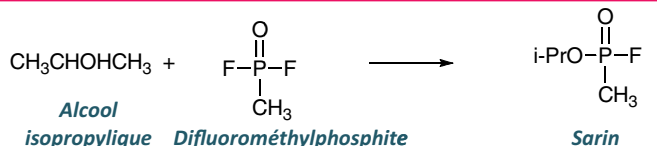


Figure 4.

- dans les obus de 203 mm contenant des précurseurs de VX, on obtient la réaction décrite sur la figure 5 [4].

Les armes dites binaires présentent plusieurs avantages dont un stockage plus sûr. Les composés initiaux ayant d'autres utilisations possibles, leur fabrication, achat ou stockage en vue de fabriquer des armes chimiques peuvent être cachés des observateurs, entraînant une difficulté accrue du contrôle des sites industriels. Mais c'est aussi ce qui a permis à la Libye d'adresser une requête en 2004 auprès de l'OIAC pour être autorisée à transformer une usine d'armes en usine de produits pharmaceutiques. En effet, l'acide méthylphosphonique peut être utilisé dans l'industrie des pesticides ou dans celle des textiles ; l'alcool isopropylique est aussi très largement valorisé dans l'industrie.

## Qu'en est-il de la France ?

La France possède environ 270 tonnes d'armes chimiques, obus et bombes toxiques allemands datant de la Première Guerre mondiale, ramassés sur les champs de bataille et stockés près de l'endroit où ils ont été trouvés. Ce stock s'enrichit chaque année de 10 à 20 t supplémentaires de munitions trouvées lors de travaux agricoles ou de

## Encadré 6

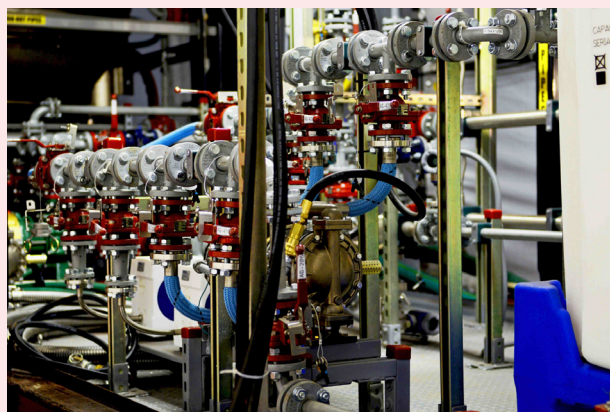
## La destruction des armes et munitions chimiques syriennes

Le cas particulier des armes chimiques syriennes a été récemment traité sous un autre angle dans un précédent numéro de *L'Actualité Chimique* [7].

Les différentes étapes de leur élimination illustrent nos propos. Au moment où les autorités syriennes ont accepté de faire disparaître leurs stocks, elles ont déclaré 1 033 t de gaz moutarde (prêt à l'usage), 300 t de sarin et de VX, essentiellement sous forme de précurseurs, ainsi que d'autres éléments chimiques liquides, aucune arme n'étant sous forme de munitions.

Les produits étaient stockés dans des tonneaux, des conteneurs et des bidons. Compte tenu de la situation de conflit interne, il ne pouvait être question de procéder à leur destruction sur place, d'autant que les toxiques étaient dispersés sur plusieurs sites (12 à 23 suivant les sources). Plusieurs pays contactés pour les accueillir ayant refusé, il a été décidé de les détruire en mer. Cela supposait une organisation et des règles de sécurité très strictes, comme cela a été évoqué précédemment.

Avant leur transport jusqu'au port méditerranéen de Lattaquié (suivi de leur transfert sur l'*ArkFutura* danois et le *Taiko* norvégien à destination du port italien de Gioia Tauro), deux catégories de produits avaient été définies, ceux de « Priority 1 » (les plus dangereux) et ceux de « Priority 2 » (moins dangereux). Au port italien, les substances prioritaires 1 ont été embarquées sur le navire américain *Cape Ray*, équipé d'une plate-forme autonome de traitement, le « Field Deployable Hydrolysis System » (FDHS), conçu pour procéder à la destruction par hydrolyse.



Le Cape Ray : installations d'hydrolyse.

Le système comprend un réacteur en titane d'un volume de 8 m<sup>3</sup>, une réserve d'eau chaude d'environ 15 m<sup>3</sup>, des pompes et des réactifs : soude et hypochlorite de sodium. Un laboratoire d'analyse des effluents assure le suivi du processus. Jusqu'à 500 litres de gaz moutarde à la fois en 2 heures, soit jusqu'à 50 t par jour, sont ainsi traités en mer, uniquement hors de toute eau territoriale. Tous les effluents produits ont été stockés à bord du *Cape Ray*.



Le Cape Ray : stockage des effluents.

L'ensemble des produits et des effluents a été dirigé vers différents pays (Finlande, Royaume-Uni, Irlande et États-Unis) pour y être détruits, traités ou mis au rebut. À la suite d'un appel à projets de l'OIAC, des contrats ont été passés avec des compagnies spécialisées, comme Ekoken (Finlande), Veolia (États-Unis), qui se chargent des opérations. À titre d'exemple, on peut citer la destruction des résidus de gaz moutarde, dont 12 à 15 conteneurs, soit 370 t, seront confiés à la Société fédérale pour le traitement des armes et des résidus d'armes chimiques, la GEKA, située à Munster en Basse Saxe sur le site historique où ont été développées les recherches allemandes dans ce domaine pendant la Première Guerre mondiale. Une déclaration de l'OIAC en date du 23 juin 2014 a annoncé le dernier envoi par bateau des armes chimiques de Syrie [8]. Les 600 tonnes de composés « Priority 1 » ont été transbordées sur le *Cape Ray* avec succès le 2 juillet [9a]. Leur destruction a été annoncée le 28 août ainsi que celle de 133 t d'alcool isopropylique précurseur, traitées sur place [9b]. Les substances « Priority 2 » seront traitées en Finlande, Grande-Bretagne et aux États-Unis.

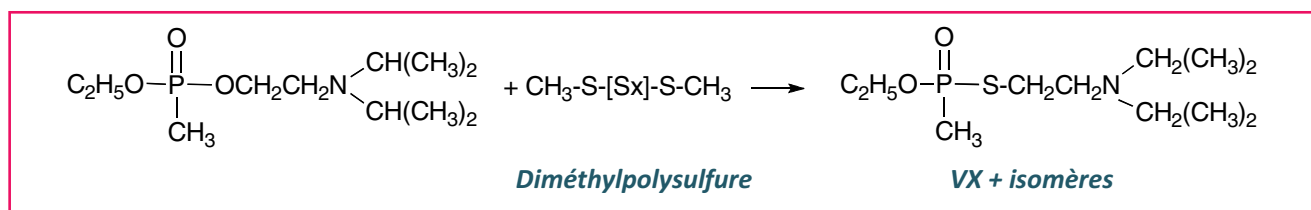


Figure 5.

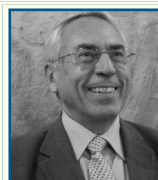
terrassément [5]. Jusque vers 1990, ces munitions étaient « pétardées » en baie de Somme !

Localisés à différents endroits (on se souvient des 55 t de Vimy dans le Pas-de-Calais déplacés sur 238 km), ces stocks sont maintenant rassemblés au camp militaire de Suippes (Marne), où il est prévu de les détruire dans le cadre d'une opération appelée SECOIA, acronyme de « Site d'Élimination des Chargements d'Objets Identifiés Anciens ». Ce programme prévoit la construction d'une usine dans le secteur Zoulou du camp militaire de Mailly-le-Camp (Aube). Il s'agit de munitions essentiellement remplies d'ypérite et non de produits en vrac, ce qui complique *a priori* leur maniement et leur destruction. L'usine sera donc entièrement automatisée et les manipulations téléopérées depuis une zone de sécurité, avec un personnel réduit, de dix à vingt personnes. Sa construction coûtera environ 100 M€, avec un fonctionnement prévu se montant à 10 M€/an. Elle devrait être opérationnelle dès 2015. Au départ, les munitions seront détruites par explosion dans une chambre blindée étanche, sous très haute pression et très haute température. Par la suite, les déchets solides et gazeux seront récupérés, conditionnés et dirigés vers un site d'élimination agréé, un des quatre centres de l'entreprise Tredi.

Rappelons enfin que la France n'a pas de terrain d'essais sur son territoire car, de 1935 à 1978, les essais étaient effectués en Algérie, dans une base secrète dite B2 Namous, dans la région de Béni Ounif : c'était le plus grand terrain d'essais au monde après ceux de l'URSS. En décembre 2012, le président Hollande, en visite d'État en Algérie, a signé un accord en vue de la dépollution du site, sous le contrôle de la DGA et avec l'expertise des équipes du Centre d'Études du Bouchet (voir encadré 3 p. XII).

### Note et références

- (1) Oxone : hydrogénéopersulfate de potassium.
- [1] Mackay R.A., Longo F.R., Knier B.L., Dupont-Durst H., *J. Phys. Chem.*, **1987**, *91*, p. 861.
- [2] Gonzaga F., Perez E., Rico-Lattes I., Lattes A., The role of lipophilicity in oxidation of mustard gas analogues from micellar solutions, *Langmuir*, **1999**, *15*, p. 8328.
- [3] Gonzaga F., Perez E., Rico-Lattes I., Lattes A., New microemulsions for oxidative decontamination of mustard gas analogues and polymer-thickened half-mustard, *New J. Chem.*, **2001**, *25*, p. 151.
- [4] Jagolnitzer D., Koch-Miramond L., Rivasseau V., *La Science et la Guerre - La Responsabilité des scientifiques*, L'Harmattan, **2006**.
- [5] Fournier J., Il y a cent ans : la guerre chimique, *L'Act. Chim.*, **2014**, *391*, p. IV.
- [6] Marquet A., De l'arme chimique à l'agent thérapeutique : deux exemples, *L'Act. Chim.*, **2014**, *391*, p. xx.
- [7] Bernier J.-C., De la difficulté d'éliminer les « armes chimiques » en Syrie, *L'Act. Chim.*, **2014**, *384*, p. 4.
- [8] Déclaration du 23 juin 2014 du Directeur général de l'OIAC, [www.opcw.org/news/article/announcement-to-media-on-last-consignment-of-chemicals-leaving-syria](http://www.opcw.org/news/article/announcement-to-media-on-last-consignment-of-chemicals-leaving-syria)
- [9] a) Communiqué de l'OIAC du 2 juillet 2014, [www.opcw.org/news/article/transloading-of-syrian-chemicals-onto-the-cape-ray-completed-without-incident-at-port-of-gioia-tauro](http://www.opcw.org/news/article/transloading-of-syrian-chemicals-onto-the-cape-ray-completed-without-incident-at-port-of-gioia-tauro) ; b) OIAC, communiqué de presse du 28 août 2014, <https://www.opcw.org/news/article/opcw-all-category-1-chemicals-declared-by-syria-now-destroyed>



#### Armand Lattes

est professeur émérite à l'Université Paul Sabatier\*.

\* Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex 9.  
Courriel : [lattes@chimie.ups-tlse.fr](mailto:lattes@chimie.ups-tlse.fr)



facebook

La SCF et L'Actualité Chimique sur Facebook, vous aimez ?  
Parlez-en autour de vous,  
et invitez vos amis et collègues à nous rejoindre !

<https://www.facebook.com/SocieteChimiquedeFrance>