chronique

La chimie et les chimistes de la Grande Guerre



© Paris - Musée de l'Armée, Dist. RMN-Grand Palais/Pascal Segrette.

n 1914, l'État français et l'état-major privilégiaient une guerre courte menée par une infanterie nombreuse. L'artillerie avait anticipé des stocks et l'on pensait que la fabrication de dix mille obus par jour serait suffisante. Mais fin 1914, après une guerre de mouvement qui – sans l'arrêt sur la Marne – avait failli être fatale à la France, succède une guerre de position et c'est cent mille obus par jour qui sont réclamés! La chimie organique était quasi inexistante à cette date en France, et ne représentait que 2 % du marché mondial, alors que l'Allemagne en représentait 85 %. C'est dans l'improvisation que la chimie se met au service de la défense nationale entre 1914 et 1915. D'autant qu'avec l'avancée allemande, s'ajoutent la perte des mines de charbon et de fer du Nord et de l'Est ainsi que celle des usines Kuhlmann et de Saint-Gobain à Chauny ; Solvay est sous le feu des canons à Dombasle. On relance la fabrication de l'acide picrique en attendant le coton poudre; on manque de carbonate de soude, de phénol, d'acide sulfurique, d'acide nitrique et, faute de nitrates, on produit des explosifs à base de chlorates (moins sûrs).

En juillet 1915, après les premières attaques allemandes au chlore près d'Ypres [1], l'État crée l'Office des Produits chimiques et pharmaceutiques. Auguste Béhal en est nommé directeur et les chimistes Albin Haller, Léon Guignaud et Émile Roux le rejoignent; l'objectif de cet Office et de l'État est de développer des sociétés pour la fabrication de matières colorantes et organiques. En 1916 se crée le Syndicat National des Matières Colorantes (SNMC) qui devait rapidement devenir une compagnie (CNMC) et développe les produits chimiques et explosifs. Dès 1916, vingt nouvelles usines sont construites ou agrandies. L'urgence est la fabrication de chlore liquide, d'abord fourni par un marché américain puis par sept

usines électrochimiques : très rapidement par la Compagnie des produits chimiques d'Alais et de la Camargue, puis à Pontde-Claix près de Grenoble, Saint-Auban et Plombières. Durant le conflit, ce sont 24 000 tonnes de Cl, qui seront produites, dont 12 500 de chlore liquide. Pour le brome, importé exclusivement d'Allemagne avant 1914, on exploite des salins de Tunisie et une usine est construite à Zarzis puis une autre à Mégrine ; elles fournissent le brome en quantité appréciable. Diverses sociétés – la CNMC, la SCUR (Société chimique des usines du Rhône), Air Liquide, Saint-Gobain, Kuhlmann, Le Chlore Liquide – sont mobilisées et agrandies grâce à des commandes et crédits d'État pour fournir l'acide sulfurique et l'oléum, le phénol synthétique... Des poudreries sont créées à Bayonne, Marcheprime, La Rochelle, Le Ripault ; celles de Toulouse et d'Angoulême sont agrandies – en 1918, elles comporteront respectivement 20 000 et 15 000 employés. Après les attaques allemandes à l'ypérite [2] en 1917, des études sur le procédé de synthèse sont conduites dans les laboratoires des professeurs Charles Moureu et Gabriel Bertrand. Fin 1917, André Job et Bertrand mettent au point une synthèse par fixation de l'éthylène sur le bichlorure de soufre dans le tétrachlorure de carbone, procédé qui s'avérera plusieurs dizaines de fois plus rapide que celui de Bayer. La production dans une des firmes de Pont-de-Claix démarre dès mars 1918 et avoisine près de 1 500 tonnes en juillet, favorisant les avancées victorieuses des Alliés en septembre.

La saga de l'ammoniac et des nitrates

En 1914, l'Allemagne possédait la plus grande et la plus puissante industrie chimique mondiale. Durant le conflit, huit usines chimiques participent à la production des nitrates pour explosifs et des divers gaz de combat. La plus importante fut celle de Bayer à Leverkusen, dirigée par Carl Duisberg qui joua un rôle essentiel auprès de l'état-major du Kaiser. Après l'Armistice, dans le comité de négociation du traité de paix, c'est Carl Bosch qui représente les intérêts de l'industrie dans la délégation allemande, alors que Carl Duisberg et Fritz Haber se sont expatriés en Suisse pendant plus d'un an pour fuir les représailles.

Dans la délégation alliée, les chimistes réclament la divulgation des procédés de fabrication de l'ensemble des usines de l'IG Farben. Si les procédés liés à la fabrication des armes de guerre sont révélés, les Français insistent avec force pour obtenir, sur l'usine d'Oppau notamment, le procédé dit Haber-Bosch de synthèse de l'ammoniac et des nitrates. Ils font pression sur Bosch pour qu'il révèle les subtilités de l'invention. Hélas, la commission interalliée déclare que « Le procédé de synthèse des nitrates revêt un caractère commercial et non militaire. »

Cependant, les négociations se poursuivent durant 1919 pour aboutir en fin d'année au traité de Versailles. Les Alliés exigeaient l'anéantissement des usines de l'IG Farben où les gaz toxiques et les explosifs avaient été produits et

la mise sous séquestre des brevets. Bosch s'échappe de l'enceinte où avait été parquée la délégation allemande et rencontre nuitamment un conseiller du ministre de l'Armement français faisant partie de la commission de contrôle des usines chimiques allemandes et qui a des liens familiaux avec la direction de la CNMC. Sachant que les brevets avaient été conçus pour les rendre inintelligibles aux étrangers de la chimie organique allemande et que la destruction des usines de l'IG Farben ne serait d'aucun secours à l'industrie chimique française, Bosch négocie un accord avec les chimistes qui remonte au plus haut niveau. Cet accord stipule la sauvegarde des usines chimiques outre-Rhin contre la révélation du procédé Haber-Bosch et l'aide des chimistes allemands pour la construction sur le territoire hexagonal d'usines de synthèse d'ammoniac et de nitrates. Dès 1920, le gouvernement français suscite un groupe d'industriels intéressés par la mise en application des brevets et des procédés avec l'aide des ingénieurs allemands. L'Office National Industriel de l'Azote (ONIA) est créé en 1924 et plusieurs usines s'installent sur le site de l'ancienne poudrerie de Toulouse. Dès 1927, l'ONIA – qui s'appellera AZF par la suite - devient le premier producteur et exportateur de nitrate d'ammonium.

L'IG Farben avait perdu la guerre mais gagné la paix; l'industrie chimique française concrétisait ses projets et se tournait vers une modernisation et des objectifs plus ambitieux.

Les chimistes

La mobilisation des scientifiques lors de la Première Guerre mondiale a été forte, comme celle de tous les jeunes hommes en âge d'être militaires. De jeunes scientifiques prometteurs, dont des chimistes, ont gagné le front et beaucoup n'en sont pas revenus. Quarante pour cent des étudiants de la Sorbonne et la moitié des promotions 1913-1917 de l'École normale supérieure auront disparu en 1918. La recherche française mettra longtemps à se remettre du sang versé par ces jeunes générations. Cependant, leurs ainés ne sont pas restés inactifs et ont mis leurs connaissances et leurs savoir-faire au service de la nation.

Quelques exemples parmi d'autres : Gabriel Bertrand et son élève Maurice Javillier se mettent au service des armées. À l'Institut Pasteur, Bertrand participe à la formation et à la production de milliers de vaccins destinés à protéger les soldats contre la fièvre typhoïde et d'autres épidémies. Avec Javillier, mobilisé dans un laboratoire des armées à Dunkerque près du front, ils travaillent sur les armes chimiques, d'abord les liquides volatils malodorants respectant la Convention de Genève, piquants ou larmoyants comme l'acétone ou le bromacétone qui sont les charges de « la grenade Bertrand ». Mais en avril 1915, après l'attaque près d'Ypres, ils identifient le gaz asphyxiant : le chlore. Bertrand intègre avec Moureu une commission des études chimiques d'armes de guerre et ils travaillent en 1916 et 1917 sur la chloropicrine et l'ypérite. Ils mettent aussi au point avec André Kling des tampons imprégnés de solutions aqueuses glycérinées de thiosulfate et carbonate de sodium pour protéger du chlore, puis après 1916, des masques et lunettes de protection.

Dès 1914, Marie Curie mobilise son laboratoire et ses assistants. Avec l'aide de sa fille Irène, elle profite de ses connaissances des radiations pour se mettre au service des soins aux blessés et de la chirurgie de guerre. Avec l'aide d'industriels, elle développe la fabrication de « tubes Röntgen », sources de



Marie et Irène durant la Première Guerre mondiale (photo extraite de l'article de Marek Krawczyk publié dans le dossier consacré à la célébration du centenaire du prix Nobel de chimie de Marie Curie, L'Act. Chim., **2011**, 352, DR).

rayons X portatives alimentées par un générateur haute tension autonome; le système complet tient dans une camionnette Renault. Elle forme des assistantes et des infirmières et « les petites Curie » parcourent les hôpitaux et postes de secours près du front pour installer l'appareillage, former des radiologues et faire les analyses radiologiques qui permettent d'identifier les blessures par éclats et les fractures avant intervention.

Une figure plus controversée est celle de Fritz Haber [3], qui avait mis au point avec Carl Bosch le procédé de synthèse de l'ammoniac à partir de l'azote et de l'hydrogène. En 1914, l'étatmajor allemand fait d'abord appel à Emil Fischer pour trouver des gaz incapacitant les soldats des armées ennemies. Celui-ci ayant décliné l'offre, Haber, alors directeur du Kaiser Wilhem Institut de Berlin, propose d'utiliser le chlore en excès de l'industrie allemande sous forme de vagues dérivantes issues de bonbonnes de chlore liquide sous pression. Ce qui fut fait en avril puis en mai 1915 sur le front belge. Malgré le suicide en mai 1915 de son épouse Clara Immerwahr, elle-même première Allemande docteure en chimie, qui désavouait cette utilisation d'arme chimique, il continua à collaborer avec Bayer et Duisberg pour la fabrication d'autres gaz toxiques, dont le sinistre sulfure d'éthyl dichloré ou « gaz moutarde ». Après la guerre, la remise de son prix Nobel, décerné en 1918 pour la fabrication des nitrates permettant à l'agriculture d'utiliser des engrais bon marché en se passant des importations du Chili, fut boycottée par les chimistes français, anglais et américains.

Les molécules belliqueuses

Les explosifs classiques

Un explosif comprend toujours un assemblage d'atomes oxydants et d'atomes réducteurs souvent séparés par un atome neutre qui peut être l'azote. Les oxydants peuvent être l'oxygène ou un halogène, les réducteurs l'hydrogène, le carbone ou le soufre. Lors d'une explosion, la molécule se casse et les atomes réducteurs et oxydants se combinent pour donner des molécules simples, H₂O, CO, CO₂, en libérant l'énergie de formation et les volumes de gaz correspondants très rapidement, d'où la formation d'une onde de choc avec des effets thermiques et mécaniques sur l'environnement.

Quelques exemples

Les explosifs du début de la guerre

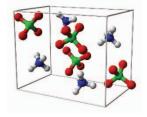
L'acide picrique, ou trinitrophénol

Employé d'abord comme colorant, il est fabriqué par nitration du phénol. Stabilisé dans du coton pressé, il est utilisé sous le nom de mélinite sous forme fondue dans les obus grâce au chimiste Eugène Turpin.

$$O_2N$$
 NO_2
 NO_2

Le perchlorate d'ammonium (CIO, NH, +)

Mélangé au carbone, cet oxydant très puissant explose très vite en libérant H₂O et Cl₂. On le fabrique par échange d'un ammonium et d'un chlorate (Na).



Les explosifs plus sophistiqués

Disposant du phénol, et d'acide nitrique et d'acide sulfurique, on peut fabriquer :

- des esters nitriques comme la nitroglycérine) et la pentrite (ou tétranitrate de pentaérythritol),
- des nitroaromatiques comme le tétryl et le trinitrotoluène (TNT) qui dérivent respectivement du phénol et du toluène et que l'on peut mélanger avec des charges carbonées issues du bois ou du coton.

Nitroglycérine
$$O_2N_1$$
 O_2 O_2N_1 O_2 O_2N_2 O_2N_1 O_2 O_2N_2 O_2N_1 O_2 O_2N_2 O_2N_1 O_2 O_2N_2 O_2N_3 O_2N_4 O_2 O_2N_5 O_2 O_2 O_2 O_2 O_3 O_4 O_2 O_4 O_5 O

Pour les faire détonner, il faut des explosifs primaires très sensibles qui font sauter la charge dès qu'un choc les sollicite. Ils sont alors placés dans la fusée de l'obus sous la tête et dès la percussion, ils propagent l'explosion à la charge.

Ce sont principalement des sels instables de mercure ou de plomb tels que le fulminate de mercure ou l'azoture de plomb.

$$-O-\stackrel{+}{N}\equiv C-Hg-C\stackrel{+}{\equiv N}-O-$$
Fulminate de mercure

Azoture de plomb

En 1914, une chimie française faible par le manque de relations université/industrie

Charles Moureu avait déclaré en 1914 : « Il est certain que sans la puissance de son industrie et tout particulièrement de son industrie chimique [...], jamais l'Allemagne ne nous eût déclaré la guerre. »

Les relations entre chimistes allemands et français étaient normales sur le plan universitaire mais faibles sur le plan industriel, malgré la présence de plusieurs usines à capitaux allemands sur le territoire. Le congrès de chimie initié par Charles Gerhardt en 1889 à l'occasion de l'exposition universelle de Paris avait jeté les bases d'une nomenclature internationale. Auguste Béhal poursuit cette ouverture en créant l'Association internationale des sociétés chimiques (AISC), à laquelle adhère la société chimique allemande,

rejointe par les sociétés suisse et américaine. La première réunion eut lieu en 1911. Richard Willstäter et Fritz Haber viennent même faire des conférences à Paris à la Pentecôte 1914. Après 1915, les chimistes allemands subissent un réel ostracisme et ce n'est qu'en 1927, pour la célébration du centenaire de Marcellin Berthelot, que les liaisons se rétabliront.

Même si l'utilisation des armes chimiques n'a finalement été que marginale puisque les morts dues aux gaz toxiques ont été de l'ordre de 96 000, soit environ 1 % des 9,5 millions de soldats tués ou disparus entre 1914 et 1918, son action relève plus de la psychologie et de la politique que de la stratégie : la menace mortelle d'une poche de gaz planant sur les tranchées adverses est bien supérieure à l'intérêt tactique de son utilisation. Elle a cependant et durablement terni l'image de la chimie dans le subconscient des populations.

Les chimistes comme Albin Haller et ses collègues qui avaient fui l'Alsace après 1870 étaient inquiets de voir l'hégémonie industrielle de l'Allemagne s'appesantir sur la France. Alors qu'en Allemagne la recherche universitaire marchait de concert avec l'industrie, en France, « Une alliance intermittente de la science et de l'industrie a duré jusqu'en 1860; à partir de cette époque, il s'est formé une scission qui est allé en s'accentuant. » Lebon situait bien les faits lorsqu'il écrivait en 1913 : « Les laboratoires étaient des sanctuaires de science pure, où ne parvenait pas le bruit del'usine, et l'usine vivait d'empirisme et de routine. »

Ce n'est qu'après 1918 que des écoles et instituts de chimie formateurs d'ingénieurs chimistes bâtis sur les modèles de Nancy, Mulhouse et Paris seront développés. Dans les commissions, comités et industries du temps de guerre, on retrouve aussi nombre de présidents de la société chimique [4] : Albin Haller, Auguste Béhal, Gabriel Bertrand, Jacques Duclaux, Edmond Blaise, qui eurent une action efficace et durable sur l'industrie de guerre et, plus tard, sur le développement de l'industrie chimique et de la formation des chimistes.

Évolutions et conséquences industrielles et sociétales

Cette guerre mondiale, qui a affaibli durablement la France et l'Europe, a changé les usages et fait aussi progresser les concepts dans de nombreux secteurs : la santé, l'économie, la société.

La médecine de guerre a eu des retombées civiles. La prophylaxie et la désinfection des plaies ouvertes ont bénéficié de solutions d'hypochlorite de soude mises au point par le chirurgien français Alexis Carrel et le Britannique Henry Drysdale Dakin, plus connues sous le nom de « liqueur de Dakin », et aussi de l'application de « teinture d'iode ». Aux progrès en chirurgie apportés par la radiologie, on peut ajouter pour l'anesthésie l'utilisation du chloroforme au lieu de l'éther, et celle du protoxyde d'azote apportée par les médecins américains. La réorganisation des services de santé, la formation de dizaines de milliers d'infirmiers et d'infirmières, ont rejailli sur l'organisation sanitaire du pays. Cela n'a malheureusement pas empêché la propagation du virus de la « grippe espagnole » venue d'Asie, qui a fait autant sinon plus de victimes que la guerre elle-même.

L'économie de guerre, avec un dirigisme étatique fort, va changer l'industrie. Les entreprises chimiques comme celles des autres secteurs manquaient d'innovation et de capital pour investir. Les commandes de l'État entre 1914 et 1918 vont modifier largement le panorama, et l'industrie chimique, trop éparpillée, va évoluer à marches forcées. La SCUR, bénéficiant de marchés captifs sur le phénol et les explosifs, va multiplier son chiffre d'affaires par quinze ; les bénéfices de la société Saint-Gobain augmentent de 70 %. La CNMC absorbe plusieurs compagnies et profite du rebond de la chimie organique. Michelin, qui fournit les pneus des camions, va accumuler un capital qui lui permettra dès 1919 et avec l'essor de l'automobile d'investir et de devenir l'une des toutes premières entreprises internationales. Il en est de même pour la Compagnie des forges et aciéries de la marine et d'Homécourt et des aciéries du Creusot qui vont doubler leurs productions. Les toutes jeunes entreprises de l'automobile et de l'aéronautique vont connaitre un développement spectaculaire: Berliet à



Prototype du char FT 17 (Commons.wikimedia.org).

Vénissieux, et Renault – qui rassemble des centaines de lieux de production – va faire tourner des millions d'obus sur ses tours, produire des milliers de camions et près de mille chars FT 17 qui joueront un rôle essentiel lors des offensives finales de 1918. Citroën comme Renault mettront en œuvre dans leurs usines les nouvelles méthodes productivistes américaines : le taylorisme. Pour la fabrication des avions, les frères Caudron fourniront 1 400 exemplaires du Caudron G2. Les entreprises Morane-Saulnier, Nieuport, Breguet rivalisent d'innovation avec de jeunes ingénieurs ; les moteurs rotatifs Hispano-Suiza équiperont les milliers d'avions des alliés français, britanniques et américains. En 1919, l'industrie aéronautique française est la première européenne ; elle aura un peu de mal à se reconvertir à la production civile, aidée par le transport du courrier (Latécoère) et les premiers vols de passagers.

L'industrie a renforcé son capital ; elle investit dans de nouveaux équipements, utilise de nouvelles méthodes de production. Les laboratoires de recherche se sont rapprochés de l'industrie dans cet effort de guerre. En chimie, certaines entreprises comme Air Liquide, Grande Paroisse, Saint-Gobain, ONIA, SCUR, Michelin ont la taille et les compétences pour jouer un rôle à l'international. La crise de 1929-30 aura un effet de frein, mais c'est surtout le futur conflit de la Seconde Guerre mondiale qui induira le plus de ruines.

L'une des conséquences, et non la moindre, fut l'évolution sociologique de la société. En 1914, à la mobilisation générale, quatre millions et demi d'hommes sont sous les drapeaux, dont nombre d'ouvriers, ce qui conduit à la fermeture d'entreprises faute de main d'œuvre et met aussi au chômage près de deux millions de travailleurs trop jeunes ou trop âgés pour combattre. Pour les efforts de l'industrie de guerre, on fait alors revenir les ouvriers qualifiés qui, après la loi Dalbiez de juin 1915 – « assurant la juste répartition et une meilleure utilisation des hommes mobilisés ou mobilisables » -, se retrouvent dans les usines comme « affectés spéciaux ». Ils sont rejoints par des Africains et des Asiatiques que l'on a fait venir. Mais c'est insuffisant et l'État fait appel aux femmes : en 1915, elles sont 15 000 dans les usines et seront 680 000 en 1917. Toutes les usines travaillant pour les militaires – textile, chimie, métallurgie – sont concernées ; on trouve une forte main d'œuvre féminine chez Renault, Peugeot, Panhard, qui ont mis les tours à disposition pour la fabrication des millions d'obus.



Les femmes au travail pendant la guerre (Commons.wikimedia.org/CC-BY-SA-4.0).

À la campagne, les femmes d'agriculteurs vont seules avec leurs enfants continuer les rudes taches à la ferme familiale – traites, cultures, récoltes –, contribuant ainsi à nourrir la nation. Après 1918, malgré l'hommage rendu par le président de la République à la mobilisation féminine, le droit de vote ne leur est pas encore accordé et des centaines de milliers de veuves luttent pour faire reconnaitre leurs droits. Suite à la saignée masculine, on retrouvera ce nouvel environnement féminin au travail et une nouvelle sociologie manufacturière se crée. Les revendications féministes de l'entre-deux guerres, dont « la garçonne » n'est qu'un aspect anecdotique, ne seront qu'une demande légitime de la reconnaissance de l'action des femmes et de leurs sacrifices en ces périodes tragiques.

Jean-Claude Bernier Octobre 2018

- [1] Fournier J., Il y a cent ans: la guerre chimique, *L'Act. Chim.*, **2014**, *391*, p. VI (dossier « Les armes chimiques et l'OIAC, prix Nobel de la paix 2013 »).
- [2] Avenas P., À propos de l'ypérite, *L'Act. Chim.*, **2018**, *433*, p. 4.
- [3] Bensaude-Vincent B., Fritz Haber: un criminel de guerre récompensé, *La Recherche*, **2008**, *423*, p. 66; Gal J., Se souvenir de Fritz Haber en 2015, *L'Act. Chim.*, **2015**, *397-398*, p. 114.
- [4] Itinéraires de chimistes. 1857-2007 : 150 ans de chimie en France avec les présidents de la SFC, L. Lestel (coord.), EDP Sciences/SCF, **2007**.

