

Henri Moissan a-t-il réussi la synthèse du diamant ?¹

par Claude VIEL
Faculté de Pharmacie
31, avenue Monge - 37200 Tours

Le 12 février 1894, Henri Moissan, à peine âgé de quarante-deux ans et qui s'était déjà illustré en 1886 par une découverte de haute valeur scientifique : l'isolement du fluor, présentait à l'Académie des Sciences une Note consacrée à de «Nouvelles expériences sur la reproduction du diamant». Cette communication faisait suite à sa précédente Note du 6 février 1893, et confirmait pleinement ses résultats.

Connu en Inde dès la fin du II^e millénaire avant Jésus-Christ, le diamant, carbone cristallisé dans le système cubique, était, jusqu'à la découverte des fullerènes² ces dernières années, le plus dur des corps connus : il possède l'indice 10, indice le plus élevé dans l'échelle comparative de Mohs des duretés des minéraux. Actuellement, deux types de débouchés s'ouvrent pour le diamant : la joaillerie qui absorbe 20 % en volume de la production mondiale (75 % en valeur) et l'industrie, aux besoins surtout assurés par des diamants de synthèse, représentant 80 % du volume de la production (25 % en valeur). Ces données s'expliquent par les très nombreuses applications que trouve le diamant par suite de sa très grande dureté et, étant très rare à la surface du globe, sa synthèse est indispensable pour satisfaire aux demandes sans cesse croissantes des variétés industrielles de diamants : carbonado ou diamant noir et bort ou boart, diamant dont la cristallisation irrégulière ne permet pas l'emploi en joaillerie et qui, broyé, est utilisé sous forme d'abrasif.

La nature du diamant resta longtemps mystérieuse. A la fin du XVII^e siècle, Averani et Targioni, de l'Académie del Cimento, à Florence, constataient la volatilisation du diamant soumis à l'action de la chaleur d'un miroir ardent, expérience confirmée par le duc de Toscane François I^{er}, qui opérait, lui, avec le feu des fourneaux. Dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, d'Arcet, puis Macquer lors d'une expérience plus démonstrative, établirent la combustibilité du diamant

porté à haute température dans un four à moufle. Ces résultats semblèrent infirmés par ceux de Maillard, joaillier parisien qui, après avoir chauffé fortement deux heures durant dans un four à moufle des diamants déposés dans un creuset bien fermé et contenant de la poudre de charbon bien pressée, récupéra ceux-ci inaltérés à la grande surprise des assistants, parmi lesquels Macquer, Cadet et Lavoisier. La question de la combustibilité du diamant passionnant tous les savants de l'époque, les expériences se multiplièrent et c'est Lavoisier qui apporta les éléments de réponse à cette apparente contradiction entre les différents résultats expérimentaux. Par des expériences réitérées commencées en 1772 et 1773, Lavoisier montra en effet que le diamant, à l'abri de l'air, est inaltérable, même à haute température, mais qu'en présence d'air ou d'oxygène pur, sa combustion donne uniquement du dioxyde de carbone. Ce résultat était particulièrement important puisqu'il permit de conclure que le diamant n'était que du carbone cristallisé ce que démontra, le premier, le chimiste américain Smithson Tennant en 1797, lequel obtint le même volume de dioxyde de carbone lors de la combustion d'un même poids de diamant ou de charbon. Mackensie, Allen et Pepys puis Guyton de Morveau transformèrent le fer en acier au moyen du diamant, confirmant par une autre voie que celui-ci était bien du carbone. En 1840, lors d'expériences réalisées dans le but de déterminer la masse atomique du carbone, Dumas et Stas montrèrent de façon rigoureuse que le diamant était bien du carbone pur.

La nature élémentaire du diamant étant établie, des essais de reproduction furent rapidement tentés à partir de carbone ou de composés riches en carbone. Parmi les essais les plus importants, antérieurs aux travaux de Moissan, citons ceux :

- de Gannal qui, en 1828, annonçait l'obtention de petits fragments de carbone cristallisé, de la grosseur d'un grain de millet, après abandon pendant trois mois, sous une couche d'eau, de phosphore en solution dans du sulfure de carbone,
- de Despretz qui, en 1849, avait obtenu des cristaux microscopiques rayant le rubis, après avoir fait jaillir un arc électrique entre une électrode de charbon et une houppe de fils de platine,
- de Hannay qui, en 1880, rapportait la formation de cristaux microscopiques transparents par chauffage sous forte pression, dans un tube en fer, d'un mélange de lithium, de noir de fumée, d'huile de paraffine et d'huile d'os (huile de Dippel), attribuant dans cette

formation de cristaux un rôle prépondérant aux substances azotées contenues dans l'huile de Dippel,

– de Marsden enfin, qui a rapporté en 1880, la formation de petits cristaux noirs ou transparents, dont les propriétés se rapprochent beaucoup de celles du diamant, et qui se forment par chauffage de l'argent ou d'un alliage d'argent et de platine, dans une brasque³ de charbon de sucre, à la température de fusion de l'acier.

Malheureusement, repris par Moissan, ces divers essais se sont avérés négatifs car non reproductibles, comme ce fut le cas pour les expériences de Gannal et de Hannay, ou encore n'ont donné que du carbure de silicium, ou carborundum, corps d'une extrême dureté, dans les expériences de Despretz et de Marsden, ce qui a pu abuser ces chercheurs. Toutefois, comme l'a souligné Moissan qui a souvent répété les expériences de Marsden, il est possible que cet auteur ait pu obtenir accidentellement du diamant noir⁴ plus ou moins bien cristallisé. De même, si Moissan n'a pu répéter les expériences de Hannay, Bannister et Lonsdale, en 1943, ont pu toutefois montrer par diffraction aux rayons X que cet auteur avait obtenu des diamants de type II⁵, peu répandus dans la nature.

Venons-en maintenant aux travaux d'Henri Moissan. Ils s'inscrivent comme une suite logique à ses études sur la réactivité chimique du fluor. En ayant, pour la première fois au monde, isolé en quantité notable le fluor en 1886, par électrolyse à -50°C du fluorure d'hydrogène («acide fluorhydrique anhydre») rendu conducteur du courant électrique par addition de bifluorure de potassium⁶, Moissan avait ajouté ainsi un nouvel élément à la chimie minérale et avait résolu par là-même un problème qui relevait du défi. Jusqu'en 1891, Moissan orienta exclusivement ses recherches sur la connaissance des propriétés et des dérivés de ce nouveau corps simple de la classe des halogènes.

Le fluor est un puissant minéralisateur et il fournit des corps le plus souvent bien cristallisés dans les réactions auxquelles il participe. Moissan a donc étudié les combinaisons du fluor et du carbone, à l'époque inconnues, espérant que la décomposition des fluorures de carbone permettrait d'obtenir du carbone bien cristallisé. Toutes les expériences réalisées n'ont donné que du graphite, autre variété cristallisée de carbone, à haute température, et du noir de fumée au rouge sombre. Devant ces échecs, Moissan reprit l'étude des propriétés et des conditions de formation du diamant, du graphite et du carbone «amorphe»⁷.

Du point de vue analytique, un travail antérieur de Marcelin Berthelot sur la séparation d'un mélange de ces trois variétés de carbone a été d'une importance extrême dans le cadre de ces études. L'emploi successif d'acide chlorhydrique ou d'acide nitrique, d'acide sulfurique bouillant, d'acide fluorhydrique, enfin d'un mélange d'acide nitrique et de chlorate de potassium permet de détruire tous les composés autres que le diamant qui, lui, reste comme dernier résidu, n'étant détruit que par les carbonates alcalins en fusion.

Avant d'effectuer toute autre tentative de synthèse, Moissan procéda à une étude systématique des propriétés du diamant, puis examina les conditions géologiques de sa formation, telle qu'elle était admise à l'époque⁸. Résumons ses principaux résultats.

Étudiant en premier lieu des échantillons provenant soit du Brésil, soit du Cap, il constata que la température de combustion du diamant est variable, comprise entre 760 et 875°C, et qu'en règle générale, plus le diamant est dur, plus élevée est sa température de combustion. Il procéda ensuite à l'analyse des cendres résiduelles de la combustion qui, extrêmement faibles pour les diamants d'une belle limpidité, sont beaucoup plus importantes pour les borts, de valeur moindre, qu'il choisit pour ses expériences. Comme l'avait déjà souligné J.-B. Dumas, la connaissance de la composition de ces cendres, c'est-à-dire des traces d'impuretés minérales contenues dans les cristaux de diamant, devait fournir de précieuses informations sur les conditions de cristallisation du carbone. Les résultats des analyses montrèrent que le fer formait la majeure partie des cendres de tous les échantillons de bort et de diamant du Cap, qu'il était retrouvé dans le carbonado et le diamant du Brésil, que la présence de silicium était également constante, et très souvent celle de calcium, élément déjà mis en évidence par Daubrée dans certains fers, tels que celui d'Ovifak au Groënland.

Toujours dans le cadre de ses expériences préliminaires, Moissan s'intéressa ensuite à la «terre bleue» du Cap, aux sables diamantifères du Brésil et à la météorite découverte en 1891 à Cañon Diablo, en Arizona⁹. Suivant l'évolution de l'analyse chimique par étude microscopique des résidus des différents traitements acides réalisés sur la terre diamantifère du Cap débarrassée à la main puis par tamisage des diamants importants et beaucoup plus petits, il montra que celle-ci renfermait de nombreux diamants microscopiques, du bort, du carbonado ou diamant noir, du graphite, variété de carbone cristallisé qui se forme toujours à une température relativement élevée, et du fer. Dans la terre diamantifère du Brésil, il mit en évidence des diamants microscopiques noirs, et transparents de formes irrégulières, ainsi que

du graphite. Quant à la météorite de Cañon Diablo, composée de fer en quasi totalité et de nickel, elle renferme également du diamant transparent et du diamant noir, un charbon marron d'une densité assez faible, du graphite. Point important, et qui n'a pas échappé à Moissan, le diamant se trouve au milieu de la masse métallique de la météorite.

Il s'intéresse alors logiquement à l'étude de la solubilité du carbone dans les métaux à des températures de plus en plus élevées. C'est pour atteindre des températures avoisinant les 3 500°C qu'Henri Moissan inventa un nouveau four électrique qu'il présenta à l'Académie des Sciences le 12 décembre 1892, et sur lequel nous reviendrons plus longuement dans le cours de cet exposé tant les applications qui en découlèrent s'avérèrent importantes.

Pour les études de solubilité dont il est question, Moissan fit porter en premier lieu ses expériences sur le fer en fusion, meilleur dissolvant du carbone, puis sur de nombreux métaux parmi lesquels l'argent, l'aluminium, le tungstène, le molybdène, l'uranium, le manganèse, le titane, le platine, etc., enfin sur un non-métal : le silicium. Les résultats lui ont montré qu'à la pression ordinaire et si l'on élève suffisamment la température, un grand nombre de corps simples dissolvent le carbone qu'ils abandonnent toujours à l'état de graphite, par simple abaissement de la température.

Des expériences complémentaires sur la vaporisation du carbone et sur l'action d'une haute température sur les différentes variétés de cet élément, lui permirent de conclure d'une part que, dans le vide ou à pression ordinaire, le carbone passe de l'état solide à l'état gazeux sans prendre la forme liquide et d'autre part, que le carbone gazeux conduit toujours au graphite lorsqu'il revient à l'état solide.

L'ensemble de ces différentes études permettait à Moissan d'arriver à la conclusion fondamentale que le diamant devait être formé dans la nature à haute température et sous pression, par dissolution du carbone dans du fer ou dans un autre métal liquéfié, puis lente cristallisation de sa vapeur lors du refroidissement.

L'hypothèse de l'intervention de la pression trouvait sa justification dans plusieurs sources :

- les propres expériences de Moissan qui, réalisées à haute température mais à pression ordinaire, ne lui donnèrent que du graphite ;

- les observations et réflexions sur la présence de diamant dans la météorite de Cañon Diablo, qui présente de petits diamants transparents entourés d'une gaine de graphite, noyés dans la masse métallique, signe que le carbone a dû cristalliser sous une forte pression, le fer étant liquide, et grâce à un refroidissement brusque ;
- le fait que les diamants recueillis au Cap se fendent et éclatent parfois, ce qui semble indiquer un état physique instable dû aux pressions que ce minéral a subies lors de sa formation ;
- l'observation que le diamant se comporte comme une matière transparente comprimée vis-à-vis de la lumière polarisée ;
- les vues de Daubrée, pour qui la nature éruptive des mines du Cap conduit à admettre l'origine volcanique du diamant, donc sa formation dans les profondeurs du globe, ce qui implique bien une température élevée et de fortes pressions, au même titre que pour cette formation dans les météorites ; l'influence de ces deux facteurs avait également été postulée par J. Werth en 1893 ;
- les expériences de Marsden qui, pour Moissan, donnaient occasionnellement de microscopiques diamants noirs, et qui ont fait intervenir la pression, facteur dont l'importance a échappé à l'auteur.

Une très forte pression était une chose fort difficile à obtenir car pour la développer, il convenait d'enfermer la masse liquide à cristalliser au sein d'une masse solide créée par un brusque refroidissement et jouant le rôle d'une paroi résistante. Pour ce faire, Moissan mit à profit l'augmentation de volume que subit la fonte au moment de sa solidification. Ce phénomène, propre aussi à l'argent saturé de carbone, est bien connu dans le cas de l'eau qui, lors de sa congélation, augmente de volume et peut développer une pression considérable si elle est emprisonnée dans un récipient clos à parois très résistantes.

Moissan réalisa donc l'expérience en chauffant au four électrique, vers 3 000°C, pendant trois à six minutes, un creuset de charbon renfermant du fer doux de Suède recouvert de charbon de sucre, puis en plongeant brusquement le creuset incandescent dans l'eau froide. En se refroidissant en surface, la fonte forme une gangue d'une résistance considérable qui emprisonne le magma en fusion. Comme nous l'avons rappelé, des pressions considérables se développent donc par suite de l'augmentation de volume qu'éprouve la fonte (c'est-à-dire le fer saturé de carbone) en se solidifiant et dès lors, la vapeur de carbone cristallise à mesure que s'opère le refroidissement de la masse en fusion. Après refroidissement complet et traitement acide du culot métallique,

Moissan recueillit de petits cristaux ayant la densité et la dureté du diamant, et donnant du dioxyde de carbone par combustion. Dans les culots métalliques résultant de différentes expériences, Moissan trouva parmi les cristaux les différentes variétés de diamant, depuis le diamant noir jusqu'au carbone cristallisé et transparent. Il obtint de meilleurs résultats en entourant un culot de fonte d'une enveloppe de fer doux. Pour ce faire, il bourra de charbon de sucre¹⁰ un cylindre de fer doux fermé par un bouchon à vis, et le précipita dans un creuset rempli de fer en fusion porté à une température de 3 000°C. Tout fond immédiatement, et le fer se sature de carbone. Le creuset est retiré et trempé dans un seau d'eau. Après refroidissement, le culot métallique est traité comme précédemment. Dans les mêmes conditions, mais en substituant l'argent au fer, il ne se forme que du diamant noir.

La synthèse du diamant fut annoncée à l'Académie des Sciences par Moissan le 6 février 1893 et confirmée par lui un an après, le 12 février 1894.

Dans toutes les expériences, le rendement en diamant noir et transparent a été très faible : à peine une dizaine de milligrammes de cristaux pour cinquante culots préparés chacun à partir de 200 g de fer doux de Suède coupés en petits cylindres placés dans un creuset de charbon, et recouverts de charbon de sucre. De plus, les diamants obtenus étaient microscopiques.

Espérant augmenter les rendements, Moissan entreprit une variation des conditions expérimentales, et en particulier, il pensa diminuer plus rapidement la température en procédant au refroidissement de la fonte liquide par conductibilité, en la coulant dans de la limaille de fer, dans du plomb fondu, dans un bloc de fer ou de cuivre, etc. Les rendements sont toujours restés faibles et les cristaux obtenus mesuraient au plus quelques dixièmes de millimètres. Pour l'ensemble des expériences que nous venons de rapporter, Moissan avait dépensé environ quatre mille francs, somme importante pour l'époque.

Suite à de nouvelles études sur la météorite du Cañon Diablo, dont il avait pu se procurer un échantillon de 183 kilogrammes, Moissan entreprenait en 1905 de nouvelles expériences sur la reproduction du diamant. La présence notable de soufre dans la météorite, au demeurant inhomogène, jointe au fait que les diamants se rencontraient dans des fissures au milieu même du métal, et que d'autre part ces fissures étaient en relation par d'étroites cassures avec des noyaux de sulfure de fer ou

troïlite, conduisit Moissan à admettre que le soufre avait pu aider au déplacement du carbone dans le carbure de fer. Il ajouta donc du sulfure de fer au charbon de sucre et réalisa l'expérience comme nous l'avons décrite précédemment. Il obtint des rendements meilleurs, quoique peu élevés, en diamants microscopiques.

Quelque temps après, Crookes répéta les expériences de Moissan, rapportant comme lui l'obtention de diamant noir et cristallisé, alors que Majorana, ainsi que Ludwig isolaient du carbone cristallisé par dissolution du carbone dans du fer en fusion et solidification sous forte pression, et que Hochermann arrivait au même résultat par emploi d'alliage de fer et de titane ou de manganèse et de calcium.

Comme nous l'avons vu, les expériences de Moissan n'ont pu être réalisées que grâce à l'utilisation de hautes températures, de l'ordre de 3 000°C. Pour obtenir ces températures, il imagina un four électrique dont le dispositif était des plus simples puisqu'il était composé de deux blocs de chaux vive appliqués l'un sur l'autre, le bloc inférieur portant une rainure longitudinale donnant passage à deux électrodes en charbon, et présentant en son centre une petite cavité servant de creuset, ou pouvant renfermer un petit creuset de charbon de cornue d'un volume total ne dépassant pas 2 cm³ et renfermant la matière à calciner.

C'est en juin 1892 dans son laboratoire de l'École supérieure de Pharmacie de Paris que Moissan réalisa ses premières expériences avec un four alimenté par un courant de 30 ampères sous 55 volts, produit par une petite dynamo ; la température ne dépassait pas 2 250°C ; une seconde série d'expériences fut réalisée sous 100 ampères et 45 volts, et la température atteinte était d'environ 2 500°C ; enfin, Moissan put disposer au Conservatoire des Arts et Métiers d'une puissance de 37 kilowatts et, opérant sous 450 ampères et 70 volts, il atteignit des températures de l'ordre de 3 000°C. Après le Conservatoire des Arts et Métiers, les tribulations du four électrique, comme le disait Moissan, continuèrent dans le but d'augmenter plus encore la puissance mise en œuvre, et c'est ainsi qu'il fut tour à tour installé à l'usine de la Société Gramme, à celle de l'électricité de la Gare de l'Est, puis à celle de la Compagnie continentale Edison pour revenir à l'École de Pharmacie où une installation était réalisée à proximité du laboratoire de chimie minérale, avant d'être déplacé en 1897 à la Sorbonne. Durant son passage au Conservatoire des Arts et Métiers, Moissan perfectionna son four et le transforma en partie, utilisant en particulier des briques de carbonate de calcium pour pallier la difficulté de trouver et de travailler

des blocs de chaux suffisamment volumineux, dont l'emploi s'avérait nécessaire à mesure qu'augmentait la puissance énergétique du four.

Disposant ainsi d'une source intense d'énergie, Moissan ouvrait la voie à un nouveau et important chapitre de la chimie minérale, celui des hautes températures. Ainsi, et en dehors de ses expériences sur le diamant, il a pu fondre puis faire cristalliser certains oxydes métalliques réputés infusibles, obtenir certains métaux réfractaires à l'état pur et en grande quantité, par réduction de leurs oxydes en présence de carbone, préparer des carbures métalliques bien souvent inconnus, des nitrures, des borures, des siliciures, distiller des métaux et des substances les plus réfractaires (chaux, magnésie, silice, cuivre, or et leurs alliages, chrome, vanadium, titane, tungstène, uranium...).

Un des points très importants de ces travaux a été l'obtention du carbure de calcium qui ouvrait la voie à la chimie de l'acétylène qui, à l'époque, a trouvé deux applications particulièrement importantes : l'éclairage au gaz (l'acétylène étant quinze fois plus éclairant que le gaz de houille) et la soudure oxyacétylénique. Cette découverte intéressa tout particulièrement Henry Gall, à l'époque administrateur de la Société d'Électro-Chimie, dont il fut l'un des fondateurs, et qui était très lié avec Henri Moissan. Gall qui voit en l'acétylène une importante découverte que son groupe peut industriellement exploiter, invite les administrateurs à des expériences d'éclairage à l'acétylène. Leur intérêt, exprimé en juin 1895, est mitigé pour ce projet, mais un mois plus tard Gall revient à la charge. Son esprit de persuasion l'emporte et après une étude favorable auprès d'utilisateurs potentiels de l'acétylène, producteurs de gaz et compagnies de chemins de fer notamment, il est créé en janvier 1896 la Société des Carbures métalliques dont le but est, entre autres, la fabrication et l'exploitation du carbure de calcium. Cette nouvelle société est dotée d'un capital de deux cent mille francs, souscrits pour moitié par la Société d'Électro-Chimie. D'après les sources consultées, Henri Moissan était tout à fait désintéressé et il laissa à son collaborateur Bullier le soin de prendre des brevets à son nom et de conclure en août 1895 une convention d'essais avec Gall, au nom de la Société d'Électro-Chimie.

En 1897, la Société d'Électro-Chimie acquit la licence exclusive d'autres brevets, sur le titane et les alliages de métaux réfractaires. S'agissait-il encore d'exploiter les découvertes de Moissan qui prépara facilement les métaux réfractaires, dont le titane, le chrome, le vanadium, le molybdène, etc., à peine entrevus jusqu'alors, par

réduction de leurs oxydes par le carbone à très haute température ? Cela est très vraisemblable connaissant l'intérêt porté par Gall au « creuset électrique » et aux relations étroites qui le liaient à Henri Moissan.

Ne serait-ce qu'avec ces quelques exemples, on se rend aisément compte que la mise au point du four électrique, donnant par suite accès à de très hautes températures - les plus élevées produites alors - s'est avérée être une invention d'une portée considérable, tant du point de vue scientifique qu'industriel.

Mais revenons au diamant et à sa production artificielle.

Les résultats d'Henri Moissan ont été très tôt remis en cause par certains chercheurs, notamment par Henry Le Chatelier, successeur d'Henri Moissan à la Sorbonne, et par Parsons, qui ont avancé que les conditions de pression obtenues par Moissan lors de ses expériences ne pouvaient conduire au diamant.

En effet, la transformation du carbone graphite en carbone diamant, même en présence de fer fondu, nécessite des pressions minimales supérieures à 50 000 atmosphères, alors que dans ses expériences, Moissan n'aurait atteint que des pressions de l'ordre de 10 000 atmosphères. Pour Paul Lebeau, élève puis proche collaborateur de Moissan, qui a participé étroitement aux recherches sur la synthèse du diamant, aucun doute ne pouvait subsister, les petits diamants obtenus étaient bien constitués de carbone pur, ainsi qu'il l'avait lui-même constaté à la suite d'analyses de combustion. Quoiqu'il en soit, seule l'étude par rayons X, accessible de nos jours, des cristaux obtenus par (ou selon) Moissan permettrait de conclure avec certitude sur la formation ou non du diamant dans les conditions rapportées par ce chercheur, ses expériences étant parfaitement reproductibles, comme plusieurs expérimentateurs l'ont constaté.

Le problème de la synthèse a été repris par Parsons en 1907-1920 et par Bridgman qui, en 1941, soumit du graphite à des pressions de plus en plus élevées, supérieures à 100 000 atmosphères, au moyen d'une presse de son invention. Pas plus les essais de Parsons que ceux de Bridgman n'aboutirent, et si ce dernier chercheur a obtenu des pressions correspondant au domaine de stabilité du diamant, en revanche, le graphite n'était pas à température suffisamment élevée pour que la transformation graphite-diamant puisse avoir lieu. Ce ne fut qu'en 1953, soit cinquante ans après la première communication de

Moissan que Liander et Lundblad réunirent les conditions de température et de pression permettant une synthèse reproductible du diamant, mais ces chercheurs travaillant dans les laboratoires de la firme suédoise A.S.E.A. ne publièrent pas leurs résultats et la paternité de cette synthèse fut attribuée à Bundy et à ses collaborateurs, chercheurs à la General Electric, qui réussirent en 1955 à fabriquer des diamants dans des conditions contrôlées et reproductibles.

Actuellement, on réalise la synthèse industrielle du diamant dans un appareil muni d'une enceinte en carbure de tungstène, dont le volume intérieur diminue sous l'action d'un vérin hydraulique, et qui renferme dans une capsule de pyrophyllite¹¹ un mélange de carbone et d'un métal (nickel, cuivre, fer, chrome, tantale, etc.) qui joue à la fois le rôle de catalyseur et de solvant. On réalise le chauffage en faisant passer un courant électrique de forte intensité dans le mélange ou à travers un four cylindrique placé autour de l'échantillon. Une pression supérieure à 60 000 atmosphères est appliquée pendant plusieurs heures, à des températures dépassant 1 300°C.

D'autres conditions expérimentales ont été proposées, comme de soumettre le graphite durant un temps très court à des pressions extrêmement élevées, de l'ordre de plus d'un million d'atmosphères, obtenues en mettant à profit l'onde de choc créée par l'explosion d'une charge.

Tout récemment, il a été montré qu'à température ambiante et par compression rapide à 10 000 atmosphères par minute, les molécules de fullerène C_{60} se transforment aisément en diamant. Sans entrer dans le détail, disons simplement que la forme des molécules de fullerènes ressemble aux dômes construits par l'architecte américain contemporain R.-B. Fuller, et que leur structure comporte douze pentagones, auxquels s'ajoute un nombre variable d'hexagones. Ainsi, l'archétype des fullerènes est la molécule en C_{60} , dont les atomes de carbone, liés entre eux par des liaisons simples et doubles sont disposés au sommet d'une structure composée de douze pentagones et de vingt hexagones, qui s'avère analogue à celle d'un ballon de football. Ces molécules, qui laissent présager un certain nombre d'applications dans les domaines de l'électronique, de l'électrochimie, etc., peuvent être préparées de manière simple et en grande quantité, par production dans une enceinte d'hélium d'un arc électrique entre deux électrodes de graphite, puis solubilisation sélective, ou chromatographie, de la suie déposée sur les parois du réacteur.

Le fullerène C_{60} offrira-t-il donc dans un avenir proche une nouvelle source de diamant de synthèse ?

Les diamants artificiels ont des dimensions beaucoup plus faibles que celles des pierres naturelles. D'où la recherche de procédés permettant de faire croître les cristaux. L'un de ceux-ci consiste à insérer un petit diamant dans un mélange carbone-métal solvant placé à l'extrémité froide d'un four électrique. Le gradient de température fait migrer le carbone fondu de la zone chaude vers le diamant qui sert de germe cristallin. Par cette méthode, en 1970, la General Electric a réussi à fabriquer des diamants dont la taille et la qualité cristalline étaient comparables à celle du diamant naturel et ainsi, plusieurs échantillons de plus d'un carat furent obtenus¹².

En conclusion de cet exposé, même si Moissan n'a pas obtenu de diamant artificiel, on peut néanmoins le considérer comme le véritable précurseur de sa synthèse, puisque les modes d'obtention actuels du diamant reposent sur le principe mis en application par ce chercheur, de réaliser la cristallisation du carbone en mettant à profit tout à la fois une température très élevée et une très forte pression, conditions qui découlaient, comme nous l'avons vu, de réflexions sur la formation géologique de cette gemme.

Comme nous l'avons déjà souligné à propos du fluor, Moissan était un esprit scientifique distingué, au grand talent d'expérimentateur, circonscrivant les problèmes de manière rationnelle et logique, avançant pas à pas dans la voie des hypothèses qu'il vérifiait minutieusement jusqu'au résultat positif final. Ce qui caractérise encore Moissan, c'est qu'il concevait des expériences simples qu'il réalisait avec un matériel qu'il avait le plus souvent créé lui-même, en témoignent la cellule à production de fluor et le four électrique. C'est grâce à ce four à arc, que Moissan perfectionna systématiquement, et dont la première version se trouve au musée de Meaux, que l'industrie de l'acétylène et des ferro-alliages, entre autres, put se développer.

Il est donc bien inutile de dire que, par l'importance de ses travaux aux multiples prolongements et retombées scientifiques et technologiques, Henri Moissan a été l'un de nos grands chimistes français et un des très grands Prix Nobel de Chimie, cette distinction lui ayant été décernée en 1906, à la fois pour l'isolement du fluor et pour la mise au point du four électrique, qui ouvrait un vaste champ d'applications dans le domaine des hautes températures.

BIBLIOGRAPHIE

- Association Amicale des Anciens de l'Électro-Chimie : «Mémorial de la Société d'Électro-Chimie (1899-1966)», Éditions Lyonnaises d'Art et d'Histoire, Lyon, 1991, p. 42-43.
- L. BEAUVAL : «La fabrication du diamant», La Science Illustrée, 1893, n° 277, p. 257-258.
- P. BERNIER : «Le carbone dans tous ses états», La Recherche, 1991, 22, p. 794-795.
- M. BERTHELOT : «La révolution chimique - Lavoisier», F. Alcan, Paris, 1890, p. 67, 270, 304.
- A. BROCHET : «Industrie du carbure de calcium», dans : H. MOISSAN (sous la direction de) - «Traité de Chimie Minérale», Masson, Paris, 1904, tome 3, p. 690-701.
- S. BUDAVARI (Ed.) : «The Merck Index», Merck and Co., Rahway (USA), 1989 (11^e éd.).
- R. COUTY : «Diamant», dans : Encyclopaedia Universalis, Encyclopaedia Universalis Éditeur, Paris, 1990, corpus 7, p. 370-373.
- A. ENDRES : «A propos de Moissan et de la synthèse du diamant», Bulletin de la Société Littéraire et Historique de la Brie, 1986, 42, p. 90-92.
- J. FLAHAUT : «Le diamant», dans : P. PASCAL (sous la direction de) - Nouveau Traité de Chimie Minérale, Masson, Paris, 1968, tome 8, fascicule 1, p. 80-102.
- J. FLAHAUT et C. VIEL : «The life and scientific work of Henri Moissan», dans : R.E. BANKS, D.W.A. SHARP et J.C. TATLOW (sous la direction de) - «Fluorine» - «The first hundred years (1886-1986)», Elsevier Sequoia, Lausanne, 1986, p. 27-43.
- D. et M. FRÉMY : «Quid 1994», Éditions Robert Laffont, Paris, 1993, p. 1582.
- P. LEBEAU : «Notice sur la vie et les travaux de Henri Moissan», Bull. Soc. Chim. France, 1908, [4], 3-4, n° 3, I-XXXVIII pp., portrait.
- H. LE CHATELIER : «Leçons sur le carbone», Librairie scientifique J. Hermann, Paris, 1926 (2^e éd.), p.80-81.
- MACQUER : «Dictionnaire de Chymie», P. Fr. Didot jeune, Paris, 1777 (2^e éd.), tome 1, p. 451-474.
- H. MOISSAN : «Description d'un nouveau four électrique», C.R. Acad. Sci. Paris, 1892, 115, p. 1031-1033.

- H. MOISSAN : «Sur la préparation du carbone sous une forte pression», C.R. Acad. Sci. Paris, 1893, 116, p. 218-224.
- H. MOISSAN : «Nouvelles expériences sur la reproduction du diamant», C.R. Acad. Sci. Paris, 1894, 118, p. 320-326.
- H. MOISSAN : «Le four électrique», G. Steinheil, Paris, 1897.
- H. MOISSAN : «Le fluor et ses composés», G. Steinheil, Paris, 1900.
- H. MOISSAN : «Nouvelles recherches sur la production du diamant», Ann. Chim. Phys., 1905, [8], 5, p. 174-207.
- H. MOISSAN : «Diamants» dans : H. Moissan (sous la direction de) - Traité de Chimie Minérale, Masson, Paris, 1905, tome 2, p. 188-218.
- K. NASSAU et J. NASSAU : «The history and presents status of synthetic diamond», J. Crystal Growth, 1976, 46, p. 157-172.
- M. NUÑEZ-REGUEIRO : «Les fullerènes, des molécules fabuleuses», La Recherche, 1992, 23, p. 762-764.
- K. D. PHAN : «Les minéraux synthétiques», Ann. Mines, 1976, p. 41-50
- V. SAUTTER et P. GILLET : «Les diamants, messagers des profondeurs de la terre», La Recherche, 1994, 25, p. 1238-1245.
- C. VIEL : «Quelques notes brèves à l'occasion du 75^e anniversaire de la mort d'Henri Moissan», Revue d'Histoire et d'Art de la Brie et du Pays de Meaux, 1982, n° 33, p. 69-86.
- C. VIEL : «Voici cent ans, l'isolement du fluor conduisait Henri Moissan au prix Nobel de Chimie», Bulletin de la Société Littéraire et Historique de la Brie, 1986, 42, p. 83-89.
- C. VIEL : «Il y a cent ans, Henri Moissan isolait le fluor», Nouveau Journal de Chimie, 1986, 10, p. 575-577.
- C. VIEL et H. GOLDWHITE : «Henri Moissan (1852-1907)», dans : L.K. JAMES (sous la direction de) - «Nobel Laureates in Chemistry (1901-1992)», American Chemical Society and Chemical Heritage Foundation, Washington, 1993, p. 35-41.

NOTES

1. Texte d'une conférence donnée à la Médiathèque de Meaux le 18 novembre 1994. Henri Moissan (1852-1907), prix Nobel de Chimie en 1906, passa son enfance et son adolescence à Meaux, s'y maria et resta très attaché à cette ville.
2. Les fullerènes forment une nouvelle classe de molécules dont la première synthèse remonte à 1985 ; ils constituent la troisième forme cristalline du carbone, après le diamant et le graphite.
3. Brasque : revêtement en matière réfractaire dont on recouvre les parois intérieures des fourneaux et des creusets où l'on traite minéraux et métaux, et qui évite tout contact entre les composés portés à haute température et le matériau du four ou du creuset (par exemple, pâte de charbon de bois pulvérisé pour les creusets en terre).
4. Incolore lorsqu'il est parfaitement pur, le diamant peut contenir 0,1 à 0,5 % d'impuretés minérales, qui le colorent en jaune, rose, vert, bleu, violet, brun et souvent en noir (carbonado).
5. On distingue deux familles de diamants, les diamants de type I et II, selon la disposition dans leur structure cristalline de la très faible quantité d'impuretés qu'ils peuvent renfermer.
6. Il s'agit de KF.HF, encore appelé fluorure acide de potassium ou fluorhydrate de fluorure de potassium. Il conduit le courant au même titre que l'acide fluorhydrique, mais est sans action sur le fluor.
7. Pendant longtemps, on a admis qu'il existait une troisième forme allotropique du carbone, que l'on décrivait sous le nom de carbone amorphe, et dont on connaissait un nombre considérable de variétés, d'où les trois types de carbone dont parle Moissan. Or l'étude aux rayons X a montré que les «carbones amorphes» étaient en réalité constitués par du graphite extrêmement divisé.
8. Pour les données actuelles sur la formation du diamant, voir : V. SAUTTER et P. GILLET, *La Recherche*, 1994, 25, p. 1238-1245.
9. Concernant les travaux de chimie réalisés à l'époque sur la météorite de Cañon Diablo, voir :
MALLARD : «*Sur le fer natif de Cañon Diablo*», *C.R. Acad. Sci. Paris*, 1892, 114, p. 812-814 ;
C. FRIEDEL : «*Sur l'existence du diamant dans le fer météorique de Cañon Diablo*», *ibid*, 1892, 115, p. 1037-1041 ;
H. MOISSAN : «*Étude de la météorite de Cañon Diablo*», *ibid*, 1893, 116, p. 288-290 ;

H. MOISSAN : «*Nouvelles recherches sur la reproduction du diamant*», Ann. Chim. Phys., 1905, [8], 5, p. 174-207.

10. Lors d'expériences préliminaires sur l'action d'une température très élevée sur différentes variétés de carbone, Moissan avait montré que l'intérêt du charbon de sucre résidait dans sa transformation complète en graphite.
11. La pyrophyllite est un silicate hydraté naturel d'aluminium qui cristallise dans le système monoclinique.
12. 1 carat = 2 décigrammes.