

— François BRISSE

WILHELM CONRAD RÖNTGEN : LA DÉCOUVERTE, LA CARACTÉRISATION ET LES APPLICATIONS DES RAYONS X

INTRODUCTION

Les géologues, les minéralogistes et les cristallographes sont capables d'identifier les roches, les minéraux ou les cristaux. Ils peuvent décrire un échantillon, en donner la composition chimique ou parler de sa structure interne en détail. Comment est-ce possible ? Quelle est la technique et quels sont les outils requis pour répondre à ces questions ? Comment fait-on pour déterminer la structure d'un minéral ?

Il existe plusieurs manières de répondre à ces questions, tout dépendant de l'information recherchée et du degré de précision requis. Cependant la technique, qui donne le plus de renseignements et avec la plus grande certitude, demeure sans conteste la diffraction des rayons X.

Cette approche fait évidemment appel aux rayons X, et c'est, grâce à la découverte de Wilhelm Conrad Röntgen, qu'il est maintenant possible de «voir» à l'intérieur des matériaux (illustrations #1 et #2).

Illustration #1 : Carte postale avec timbre de 10 pf de la ville libre de Dantzig, illustrée du portrait de Röntgen et oblitérée Dantzig, en 1939.

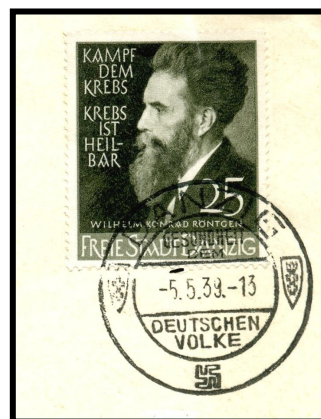


Illustration #2 : Timbre-poste à l'effigie de Röntgen, émis par Dantzig, le 29 avril 1939 (Sc 240), pour marquer sa découverte des rayons X.

WILHELM CONRAD RÖNTGEN

Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) est né à Lennep, une petite ville située en Prusse. Il va tout d'abord à l'école à Appeldoorn, aux Pays-Bas, et poursuit ses études en physique à l'École polytechnique de Zurich, en Suisse. Il débute sa vie professionnelle avec un baccalauréat en génie à titre d'enseignant, à l'Université de Strasbourg. Strasbourg appartenait, à cette époque-là, à l'Allemagne. À partir de 1879, Röntgen est engagé par l'Université de Giessen (Allemagne). Vers 1880, il est nommé professeur de physique à l'Université de Wurtzbourg. Finalement en 1900, il passe à l'Université de Munich.





Illustration #3 : Timbre d'Allemagne émis en 1951 à l'occasion du 50^e anniversaire de l'obtention du prix Nobel de physique par Wilhelm C. Röntgen (Sc 686, 10 décembre 1951).

C'est en décembre 1895, alors qu'il travaille à l'université de Wurtzbourg, que Röntgen découvrit les rayons X. Six ans plus tard, il se voit attribuer le premier prix Nobel de physique, pour cette découverte remarquable (illustrations #3 et #4).

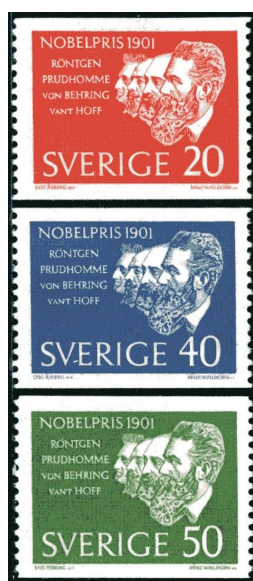


Illustration #4 : La première série de timbres émise par la Suède en 1961 pour honorer les prix Nobel 1901. Les timbres se vendaient en roulette (Sc 603-605) et, pour le 20 öre, en carnets de 20 (Sc 606). Derrière Wilhelm Conrad Röntgen, il y a René Sully Prud'homme, Emil von Behring, et Jacob van'tHoff.

Le 100^e anniversaire de la découverte des rayons X par W. Röntgen a été marquée par une avalanche de timbres-poste à son effigie (illustrations #5 et #6).

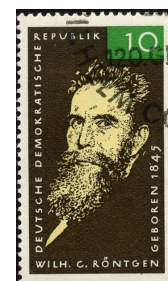
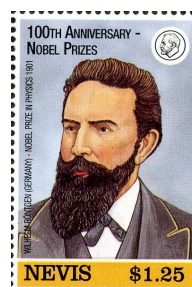
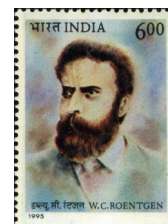
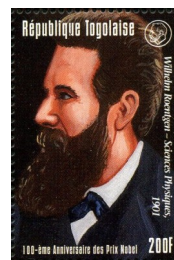


Illustration #5 : Röntgen tel que vu par les administrations postales de la République togolaise (Sc 1658i, 21 août 1995), de l'Inde (Sc 1538, 8 novembre 1995), de Nevis (Sc 931b, 7 septembre 1995), de l'Allemagne de l'Est (Sc 753, 1965) et du Transkei (Sc 107, 12 octobre 1984).



Illustration #6 : La Belgique (Sc B1123, 21 août 1995) et la Corée du Sud (Sc 1833, 8 novembre 1995) marquent aussi la découverte des rayons X.

L'anniversaire de cette découverte est aussi rappelé par de nombreuses oblitérations postales (illustrations #7 à #9).

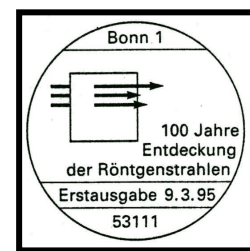
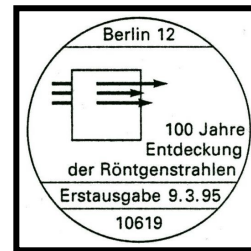
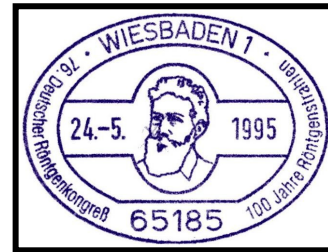
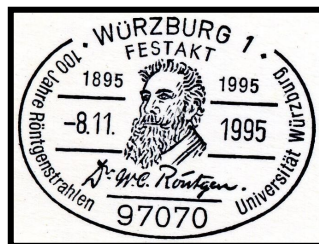
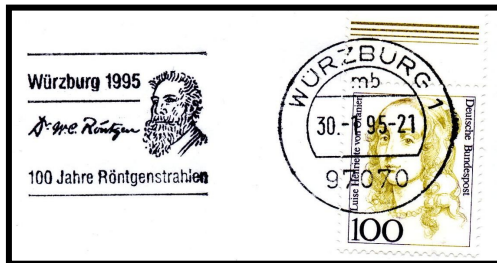


Illustration #7 : L'Allemagne se devait de marquer la découverte des rayons X par Röntgen. Une multitude d'oblitérations furent utilisées à Wurtzbourg, Bad Dürkheim, Remscheid, Wiesbaden, Berlin et Bonn.

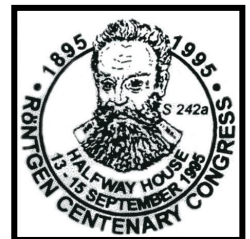
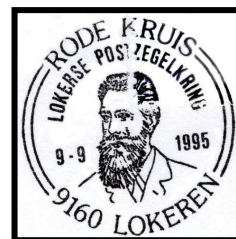


Illustration #8 : Le portrait de Röntgen est aussi reproduit sur de nombreuses oblitérations à l'étranger : la Belgique, l'Afrique du Sud, l'Italie et la Corée du Sud.

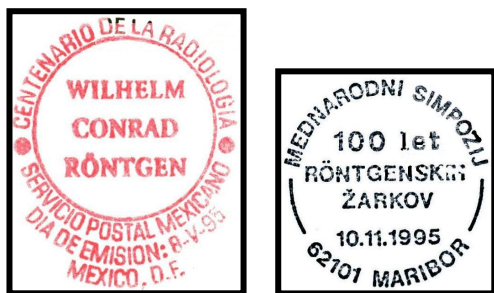


Illustration #9 : Le Mexique et la Slovénie signalent, seulement par des marques postales, le 100^e anniversaire de la découverte des rayons X.

Röntgen avait accepté une offre d'emploi à l'Université Columbia, de New York, et se préparait à émigrer aux États-Unis, lorsque débuta la Première Guerre mondiale. Il dût abandonner ce projet et il continua sa carrière à l'Université de Munich.

LA DÉCOUVERTE DES RAYONS X

Comme la majorité des scientifiques de son temps, Röntgen étudiait l'effet des décharges électriques dans un tube sous vide. Plus spécifiquement, Röntgen se servait d'un tube cathodique pour essayer de caractériser ce que, à l'époque, l'on appelait les rayons canaux (rayons cathodiques).

On trouve, parmi ces précurseurs, deux scientifiques honorés en Allemagne par une oblitération illustrée (illustration #10). Il s'agit de B. Wiesner et de Friedrich Dessauer (1881-1963).



Illustration #10 : Deux des pionniers explorant la physique des tubes cathodiques, Dessauer et Wiesner.

Les physiciens avaient déjà établi que les rayons cathodiques faisaient briller un écran fluorescent placé dans le tube et qu'ils étaient déviés, lorsqu'on plaçait un aimant sur leur trajet. C'est alors que Röntgen fit la constatation expérimentale qui le conduisit à sa fameuse découverte. En effet, en décembre 1895, Röntgen observe bien les rayons canaux à l'intérieur du tube, mais il remarque qu'il y a un autre rayonnement, à l'extérieur du tube. Surpris, il fait alors toutes sortes de tests pour l'identifier. Röntgen démontre que ce rayonnement, qui est émis à l'intérieur du tube, en traverse la paroi de verre et le carton noir placé autour. Ces rayons sont bien différents des autres car, bien qu'ils fassent briller un matériau fluorescent, ils ne sont pas déviés par un champ magnétique.

Conrad Röntgen montra aussi que ces rayons pouvaient traverser le bois et de nombreux métaux, comme le cuivre ou l'aluminium, et que seulement le plomb semblait les arrêter. Röntgen donna le nom de rayons X à ce rayonnement aux propriétés si inhabituelles.

LES PHYSICIENS QUI CONTRIBUÈRENT À L'IDENTIFICATION DES RAYONS X

Wilhem Röntgen publie rapidement sa découverte, si bien que, dès janvier 1896, de nombreux physiciens se mettent à reproduire ses expériences et cherchent à découvrir d'autres propriétés particulières des rayons X.

Charles Glover Barkla (1877-1944), né à Widness, Lancashire, est l'un des pionniers de l'étude des rayons X (illustration #11). Dans son laboratoire de Cambridge, Barkla démontre que les rayons X ont des propriétés qui les rapprochent de celles de la lumière visible. Il découvre, en particulier, la polarisation des rayons X et le fait qu'ils impressionnent les films photographiques. C'est aussi Barkla qui démontra l'existence de plusieurs sortes de rayons X : les rayons X «mous» et les rayons X «durs». De nos jours, les rayons X «mous» sont utilisés en radiographie médicale tandis que les rayons X «durs» ont surtout des applications scientifiques ou industrielles. Pour sa contribution importante aux connaissances fondamentales sur les rayons X, Barkla se vit attribuer le prix Nobel de physique, en 1917.

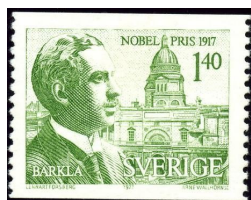


Illustration #11 : Portrait de Barkla sur un timbre de Suède, dans la série consacrée aux prix Nobel 1917 (Sc 1232, 17 novembre 1977).

Max Theodor Felix von Laue (1879-1960), né à Pfaffendorf près de Coblenche en Allemagne, figure parmi les physiciens qui s'intéressèrent initialement aux rayons X (illustrations #12 et #13). En 1903, Laue obtient un doctorat, en physique théorique, de l'Université de Strasbourg. Ce n'est qu'en 1909, alors qu'il enseigne à l'Université de Munich, qu'il commence ses expériences sur les rayons X. Pendant qu'il examine l'interaction de ce nouveau rayonnement avec les cristaux, il enregistre des films photographiques comportant des patrons inhabituels (illustrations #14 et #15).



Illustration #12 : Portrait de Laue, prix Nobel de physique en 1914, sur un timbre de Suède (Sc 1103, 10 décembre 1974).



Illustration #13 : Oblitération des 24-25 avril 2004 utilisée à Coblenche, en Allemagne, pour marquer le prix Nobel de physique attribué à Max von Laue.

La disposition particulièrement symétrique des taches enregistrées sur le film photographique permet

à Laue de conclure que les rayons X ont la propriété d'être diffractés par les cristaux. Les travaux de Laue sont récompensés par le prix Nobel de physique qui lui fut décerné, en 1914. Cette observation de Laue, la diffraction des rayons X, est à la base de la radio-cristallographie, c'est-à-dire de l'étude de l'organisation interne des constituants des matériaux cristallins.



Illustration #14 : Timbre de l'Allemagne de l'Ouest reproduisant un patron de diffraction enregistré par Laue (Sc 1301, 9 août 1979). Ce genre de patron est connu sous le nom de diagramme de Laue.

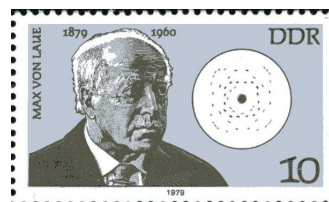


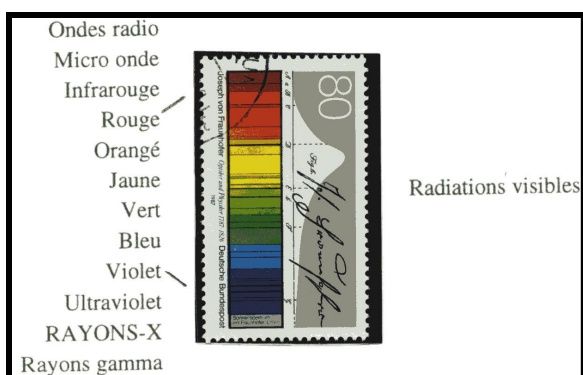
Illustration #15 : Max von Laue et un autre diagramme de diffraction sur un timbre de l'Allemagne de l'Est (Sc 1995, 20 mars 1979).

Maurice de Broglie (1875-1960), un physicien français, né à Paris, démontre que les rayons X se comportent en tout point comme la lumière visible, sauf que la radiation X possède une longueur d'onde beaucoup plus courte que celle de la lumière visible (illustration #16). Tout le monde a vu un arc-en-ciel et sait que ce sont les petites gouttes d'eau, en suspension dans l'air, qui décomposent ainsi la lumière du soleil. D'autres radiations, non visibles, existent aux deux extrémités du spectre. Au-delà du rouge, s'étend le domaine des radiations infrarouges, puis celui des micro-ondes et, finalement, celui des ondes radio. De l'autre côté de l'arc-en-ciel on trouve, au-delà du bleu, le rayonnement ultraviolet, puis le domaine des rayons X, les «mous» ainsi que les «durs», et finalement les rayons gamma ou rayons cosmiques (illustration #17).



Illustration #16 : Timbre de France montrant Maurice de Broglie avec l'oblitération du Premier jour d'émission (Sc B439, 11 avril 1970).

Le schéma ci-dessous (illustration #17) permet de positionner les rayonnements, décrits plus haut, par rapport au spectre de la lumière visible.



On caractérise les rayonnements électromagnétiques soit par leur longueur d'onde, soit par leur énergie. Les radiations, qui ont de courtes longueurs d'onde, ont de très fortes énergies alors qu'on associe les grandes longueurs d'onde aux petites énergies. Plus l'énergie d'une radiation est élevée, davantage elle est dangereuse. Les rayons ultraviolets peuvent brûler la peau lorsqu'on reste trop longtemps exposé au soleil. Les rayons X aussi brûlent la peau, mais beaucoup plus rapidement que les ultraviolets. Barkla a démontré que les rayons X «durs», ceux qui ont de courtes longueurs d'onde, sont plus dangereux que les rayons X «mous». Ces derniers sont relativement

moins pénétrants et servent pour les examens médicaux. De Broglie s'est vu attribuer le prix Nobel de physique, en 1929, pour ses travaux sur les radiations électromagnétiques (illustration #18).



Illustration #18 : Le timbre de Suède, qui est illustré d'un système d'ondes, a été émis pour marquer le prix Nobel attribué à Maurice de Broglie en 1929 (Sc 1427, 24 novembre 1982).

William Henry Bragg (1862-1942) est né à Wigton, Cumberland. Son fils, **William Lawrence Bragg** (1890-1971) naquit en Australie, alors que son père enseignait à l'Université d'Adélaïde (illustration #19). Le père et le fils s'intéressent aux travaux de Laue et imaginent un système permettant de mesurer la longueur d'onde des rayons X. Ils établissent une loi qui explique le phénomène de diffraction et, par la même occasion, ils démontrent que le sel (celui utilisé dans l'alimentation) est constitué de deux sortes de particules : les ions sodium et les ions chlorures, régulièrement disposés dans l'espace. Le père et le fils furent honorés, conjointement, du prix Nobel de physique, en 1915.

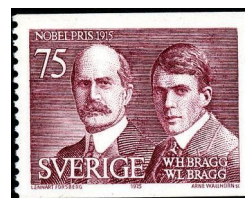


Illustration #19 : Les Braggs, père et fils, sur un timbre de Suède émis en 1975 (Sc 1149, 10 décembre 1975).

La disposition tridimensionnelle de ces ions est illustrée ci-dessous (illustration #20). Plusieurs modèles de la structure du sel sont présentés sur des timbres. Sur le timbre de Grande-Bretagne, les ions sodium et les ions chlorures sont des sphères, bleues et vertes respectivement. Dans d'autres modèles, on distingue les deux sortes d'ions par des sphères de tailles différentes. Les petites sphères caractérisent les ions sodium.

Le timbre de Grande-Bretagne a été émis pour marquer l'attribution, en 1915, du prix Nobel à W.H. et W.L. Bragg. Celui de l'île de Man montre la structure du sel et le portrait de William Henry Bragg. Le timbre des Antilles néerlandaises illustre la structure du sel qui, dans ces îles dont surtout Bonaire, est une source de revenu importante.

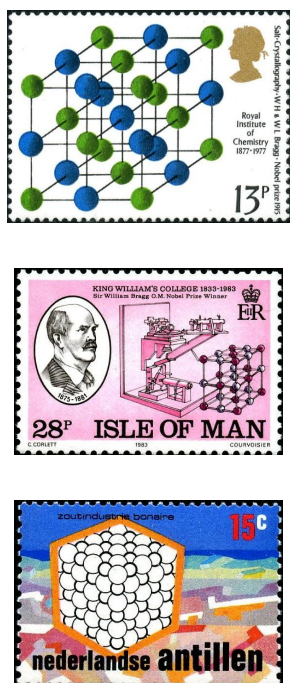


Illustration #20 : Ces timbres de Grande-Bretagne (Sc 809, 2 mars 1977), de l'île de Man (Sc 248, 18 mai 1983) et des Antilles néerlandaises (Sc 369, 24 avril 1975) illustrent la structure du sel.

De nombreux scientifiques se servirent des rayons X pour explorer l'organisation interne de matériaux cristallins, ayant des structures de plus en plus compliquées. Des progrès énormes ont pu être réalisés grâce à l'invention des ordinateurs, la mise en service de diffractomètres et d'appareils de mesure automatiques incorporant des détecteurs de plus en plus sensibles. La détermination d'une structure cristalline qui, il y a 40 ans, se faisait en six mois, peut, de nos jours, être établie en seulement quelques heures.

COMMENT OBTIENT-ON LES RAYONS X ?

Les rayons X sont émis par un tube sous vide conte-

nant un filament (cathode) et une pièce de métal (anode ou cible). Le filament chauffé produit des électrons qui, accélérés par une très forte différence de potentiel, au moins 40 000 V, vont frapper l'anode. C'est la collision de ces électrons, fortement accélérés, et de ceux des atomes de la cible (l'anode), qui génère les rayons X (illustration #21).

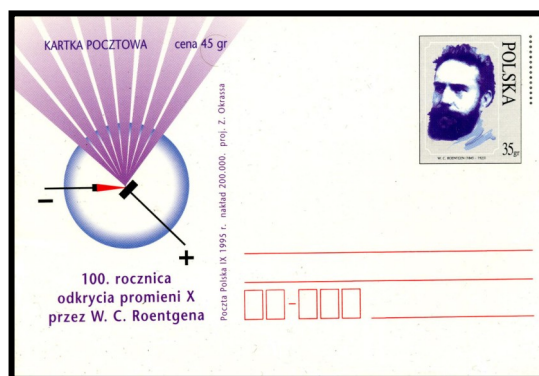


Illustration #21 : L'entier postal de Pologne et les timbres de la République tchèque (Sc 2972, 11 octobre 1985) et de Macédoine (Sc 46, 20 mai 1995) illustrent le tube à rayons X, le filament et la cible ainsi que le faisceau de rayons X.

Tubes à rayons X originaux

Les premiers tubes à rayons X sont, en fait, des tubes cathodiques constitués de simples ampoules vidées d'air et contenant les deux éléments essentiels suivants : le filament et la cible (illustrations #22 et #23).

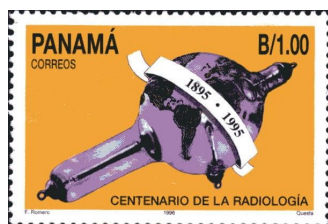


Illustration #22 : Les premiers tubes à rayons X. Finlande (Sc 970, 8 août 1995), Monaco (Sc 1981, 24 octobre 1995), Panama (Sc 833, 23 octobre 1996) et Cap-Vert (Sc 678, 679, 679a, 31 mars 1995).

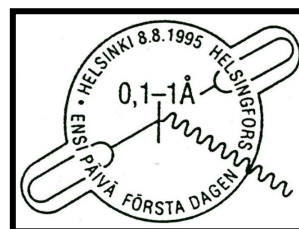
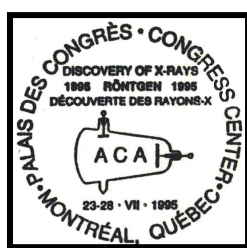


Illustration #23 : Les vieux tubes générateurs de rayons X sur des oblitérations d'Allemagne, du Canada et de Finlande.

Tubes à rayons X modernes

Ces derniers sont beaucoup plus compacts et, même si ce n'est pas reconnaissable sur les timbres, ils contiennent aussi un filament, pour générer les électrons, et une cible, contre laquelle ils sont projetés (illustrations #24 et #25).



Illustration #24 : Tube à rayons X moderne sur un timbre d'Espagne, émis à l'occasion d'un Congrès de radiologie (Sc 1460, 3 avril 1967).



Illustration #25 : Timbre d'Autriche montrant un tube à rayons X, émis en 1991, pour marquer le Congrès européen de radiologie tenu à Vienne (Sc 1545, 13 septembre 1991).

Générateurs de rayons X

Le générateur est l'appareil qui permet de produire les 40 000 volts nécessaires à l'accélération des électrons. Au début, il s'agissait d'une bobine de Ruhmkorff (illustrations #26 et #27). De nos jours, la haute tension est obtenue par des transformateurs.

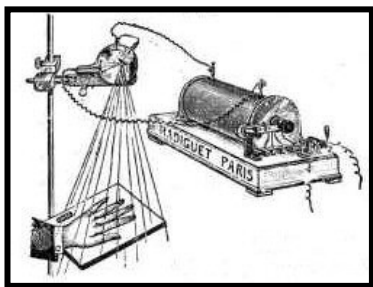


Illustration #26 : Représentation schématique d'un appareil à rayons X. En haut à gauche, le tube et, à droite, la bobine de Ruhmkorff.



Illustration #27 : La bobine de Ruhmkorff est très visible sur ces timbres de Malaisie (Sc 546, 29 mai 1995), d'Italie (Sc 2036, 2 juin 1995) et de France (Sc B439, 11 avril 1970) qui illustrent les premières machines à générer des rayons X.

Appareils à rayons X modernes utilisés dans les hôpitaux



Illustration #28 : Entier postal de Russie émis pour marquer le 100e anniversaire de la découverte des rayons X (6 mars 1995). Le timbre reproduit le portrait de Röntgen tandis que l'illustration est celle d'une installation moderne dans un hôpital.

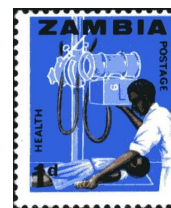
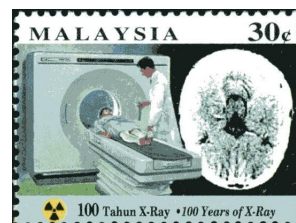


Illustration #29 : Installations d'un équipement radiographique moderne en Malaisie (Sc 547, 29 mai 1995), Allemagne de l'Ouest (Sc 1176, 15 mai 1975) et Zambie (Sc 5, 24 octobre 1964).

LES APPLICATIONS DES RAYONS X

Applications médicales

Les rayons X «mous». Ces radiations, qui sont moins

énergétiques donc moins pénétrantes, sont utilisées pour leurs applications médicales. Ainsi, ce sont les rayons X «mous» qui sont utilisés pour la radiographie des dents, des fractures ou des poumons.

Radiographie d'une main

Dans les tout premiers débuts de sa découverte, Röntgen avait radiographié la main de sa femme (illustration #30).



Illustration #30 : Ce timbre du Mexique (Sc 1912, 8 mai 1995) montre la radiographie de la main gauche de la femme de Röntgen. Non seulement les os y sont clairement reconnaissables, mais on aperçoit aussi la bague qu'elle portait à l'annulaire.

Ce sujet, la radiographie d'une main, est incorporé dans les nombreuses émissions qui marquent le 100^e anniversaire de l'obtention du prix Nobel de physique par C. Röntgen (illustrations #31 à #36). Voir aussi les illustrations #22 (Monaco) et #27 (Malaisie).



Illustration #31 : Timbres du Brésil (Sc 2553, 30 septembre 1995) et d'Allemagne de l'Ouest (Sc 1885, 9 mars 1995).



Illustration #32 : On distingue, sur ce timbre de Grande-Bretagne, la radiographie de la main qui active la souris (Sc 1924, 14 décembre 1999). Émission du millénaire.



Illustration #33 : Symboles associés à de grands chercheurs au service de l'humanité. Le caducée pour Albert Schweitzer, la radiographie d'une main pour Conrad Röntgen et le microscope pour Robert Koch.

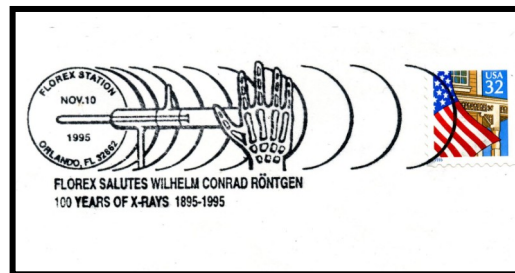


Illustration #34 : La radiographie d'une main sur une oblitération des États-Unis marquant le 100^e anniversaire de la découverte des rayons X.

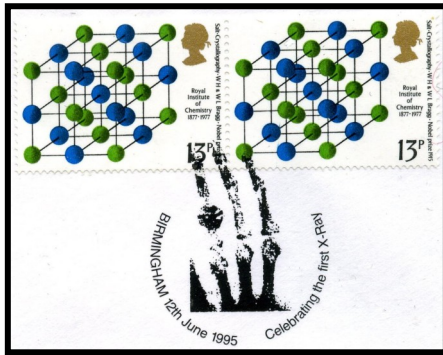


Illustration #35 : Radiographie d'une main sur une oblitération de Grande-Bretagne.



Illustration #36 : Pli du Premier jour d'émission d'un timbre d'Égypte (Sc 1590, 12 mai 1995) où la radiographie d'une main est clairement mise en évidence.

Radiographie des poumons

La tuberculose est une maladie des poumons caractérisée par la toux, la fièvre et l'amaigrissement du patient. La radiographie des poumons est la technique favorite pour la détection de la tuberculose. De nos jours, pratiquement tous les hôpitaux sont équipés pour la radiographie (illustration #37).

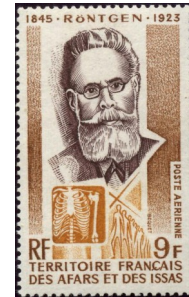
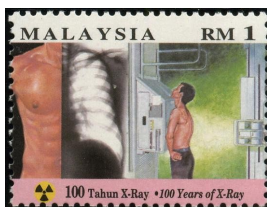


Illustration #37 : Le diagnostic de la tuberculose repose sur les signes cliniques, surtout la radiologie. Les radiographies pulmonaires sont illustrées sur des timbres de Malaisie (Sc 548, 29 mai 1995), les îles Gilbert et Ellice (Sc 164, 26 juin 1970), l'Empire centrafricain (Sc 294, 1^{er} avril 1977) et le Territoire des Afars et Issas (Sc C84, 1973).

La carte, distribuée par le Centre Antoine Béchère de Paris (illustration #38), est affranchie d'un timbre émis en hommage à ce pionnier de la médecine, qui a beaucoup fait pour systématiser l'utilisation de la radiographie afin de dépister la tuberculose. On distingue, sur la droite du timbre, un patient qui subit un examen radiographique des poumons.

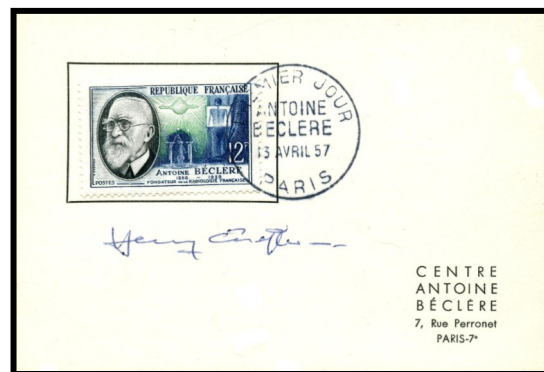


Illustration #38 : Antoine Béchère (1859-1939) est le père de la radiologie en France (Sc 822, 13 avril 1957).

Les rayons X permettent de visualiser les lésions tuberculeuses dans les poumons et se prêtent particulièrement bien au dépistage. La tuberculose est diagnostiquée par un examen radiologique, qui permet de mettre en évidence des inflammations à densité anormale et des cavernes. De nos jours, les hôpitaux sont tous équipés pour la radiographie (illustrations #39 et #40). Par contre dans les zones éloignées, des

unités ambulantes se déplacent, de village en village, pour effectuer l'examen radiographique des patients (illustrations #41 et #42).



Illustration #39 : Examen radiographique en Hongrie (Sc 969, 20 août 1951).



Illustration #40 : Service radiographique de l'hôpital Mulago en Ouganda (Sc 89, 9 octobre 1962).



Illustration #41 : Unité mobile pour l'examen radiographique rapide de la population, en République togolaise (Sc C113, 27 septembre 1969)



Illustration #42 : Le service de la santé aux îles Samoa met l'emphasis sur le dépistage radiographique de la tuberculose (Sc 275-278, 1^{er} décembre 1967).

Au Canada, comme dans bien d'autres pays, la prévention de la tuberculose passe par un examen systématique des poumons. Des appels fréquents apparaissaient souvent sur les slogans apposés sur le courrier des Canadiens (illustration #43).

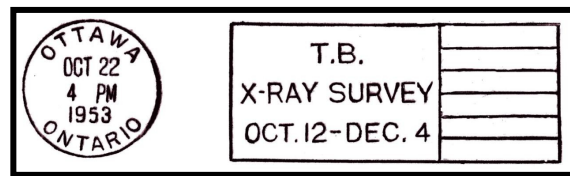


Illustration #42 : Trois slogans du Canada recommandant un examen radiographique en vue de dépister la tuberculose. Edmonton (1948), Hamilton (1948) et Ottawa (1953).

Applications scientifiques des rayons X

La diffraction des rayons X «durs» : la radiocristallographie

Cette particularité, que possèdent les rayons X d'être diffractés par les matériaux ordonnés, est utilisée systématiquement pour mieux connaître les substances solides (comme les métaux, les minerais, les matériaux inorganiques), mais aussi les produits pharmaceutiques, les produits naturels et biologiques, les polymères et les protéines. À cause de la courte longueur d'onde de ces radiations, il n'est pas possible d'obtenir une image directe du contenu. Ce que l'on voit, ou enregistre, est un patron de diffraction (illustration #44). La répartition régulière des taches de diffraction révèle, après interprétation, l'organisation interne des atomes de soufre et de zinc.



Illustration #44 : Diagramme de diffraction d'un cristal unique de sulfure de zinc (Allemagne de l'Ouest, Sc 1885, 9 mars 1995).

Dans les débuts de la radiocristallographie, les patrons de diffraction étaient enregistrés sur des films photographiques, placés dans une chambre plane ou encore dans une chambre cylindrique (illustration #45). Ce système d'enregistrement, qui a servi jusque dans les années 1990, était la création de deux scientifiques : Paul Scherrer et Peter Debye (illustration #46). Par la suite, l'enregistrement se fit grâce à un détecteur électronique (illustration #47).



Illustration #45 : Chambre Debye-Scherrer pour l'enregistrement photographique des diagrammes de poudre. Empreinte de machine à affranchir (EMA).

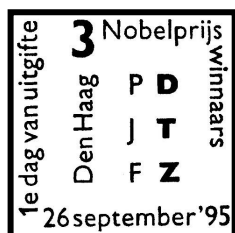
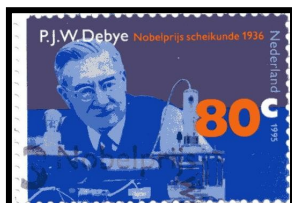


Illustration #46 : Une série de trois timbres a été émise par les Pays-Bas en hommage à trois de ses prix Nobel. L'un d'entre eux est Peter Debye (Sc 26

septembre 1995). L'oblitération n'identifie les prix Nobel que par leurs initiales.



Illustration #47 : La trace illustrée sur cette oblitération est le résultat de l'enregistrement électronique d'un diagramme de poudre. Cette trace est équivalente à un enregistrement photographique sur un film cylindrique (Autriche, Sc 1563, 27 mars 1992)

C'est par une longue série de calculs, qui se font cependant très rapidement de nos jours, qu'il est possible d'interpréter les patrons de diffraction. Le résultat de ces calculs est une description de l'arrangement interne des atomes dans le matériau cristallin. De nos jours, un ordinateur fait apparaître, sur son écran, des images formées de boules et de bâtons comme on en trouve des exemples sur les timbres qui suivent.

Structures cristallines de métaux et de minéraux

- La structure du fer

L'Atomium, le symbole de l'Exposition universelle de Bruxelles en 1958, représente la structure interne de plusieurs métaux. C'est celle du fer, qui est illustrée ici (illustration #48 et #49).



Illustration #48 : L'Atomium sur un feuillet-souvenir de France (2007) consacré à la Belgique.



Illustration #49 : L'Atomium est une structure métallique érigée pour marquer l'Exposition universelle de Bruxelles en 1958 (Sc 500-503). Cette construction décrit parfaitement la structure cristalline du fer.

Le minerai de fer est fort abondant sur la terre et il est extrait en très grande quantité, car il sert pratiquement dans toutes les constructions importantes. Une mine de fer, à l'île Bell, est illustrée sur un timbre de Terre-Neuve (illustration #50). Les minerais courants sont soit les oxydes, soit les sulfures de fer (illustration #51). Le fer est aussi le constituant majeur des météorites (illustration #52).

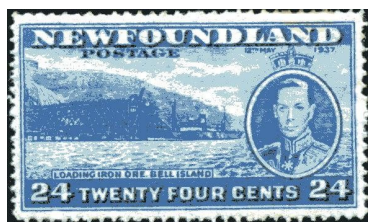


Illustration #50 : Chargement du minerai de fer à l'île Bell, Terre-Neuve (Sc 241, 2 mai 1937).



Illustration #51 : Oxyde de fer et sulfure de fer de la Corée du Nord (2002).



Illustration #52 : Météorite de fer du Groenland (Sc 107, 20 janvier 1978).

- La structure de l'aluminium

L'aluminium, sous forme combinée avec d'autres éléments, est très répandu sur la terre. La bauxite, son principal minerai, n'a pas une très belle apparence. Il ressemble à de la terre. Il est presque toujours de couleur rougeâtre, à cause de l'oxyde de fer (rouille) qu'il contient (illustrations #53 à #55).



Illustration #53 : C'est aux Baux-de-Provence, en France (Sc 2034, 7 mars 1987), que fut trouvée la bauxite, le minerai de l'aluminium.



Illustration #54 : Échantillons de bauxite sur des timbres de Grèce (Sc 1373, 22 septembre 1980) et du Ghana (Sc 1268, 2 mai 1971).

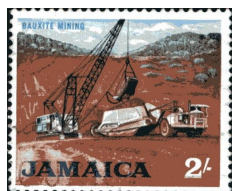


Illustration #55 : Exploitation de la bauxite à la Jamaïque (Sc 228, 9 mai 1964).

Sa structure cristalline, c'est-à-dire la disposition relative des atomes d'aluminium, est reproduite sur un timbre d'Italie (illustration #56).



Illustration #56 : Timbre d'Italie (Sc 1756, 18 octobre 1988) montrant la structure hexagonale de l'aluminium.

- La structure de l'uraninite

L'uraninite est un des minerais d'uranium dont le Canada regorge. Plusieurs mines sont exploitées dans la région du Grand lac de l'Ours (illustration #57). Il y a même un village, dans les Territoires du Nord-Ouest, qui porte le nom d'Uranium City. Le principal minerai est l'uraninite, un oxyde d'uranium. La structure interne de l'uraninite, révélée par la diffraction des rayons X, est décrite de manière conventionnelle par l'assemblage des boules rouges (oxygène) et noires (uranium) (illustration #58).



Illustration #57 : Le Grand lac de l'Ours (Canada, Sc 269, 16 septembre 1946).



Illustration #58 : Représentation de la structure cristalline de l'uraninite UO_2 , sur un timbre du Canada (Sc 865, 3 septembre 1980).

De nombreux pays africains, comme le Zaïre ou le Gabon, sont de riches producteurs d'uranium. Les minerais sont illustrés sur plusieurs séries de timbres émis par ces pays (illustration #59).



Illustration #59 : Minerais d'uranium trouvés au Zaïre (Sc 1105, 13 février 1983) et en République gabonaise (Sc C117, 20 juillet 1971).

- La structure de la halite

Le sel gemme, la halite, est un matériau qui résulte de l'évaporation de l'eau de mer. Il en existe des quantités impressionnantes à Syracuse, dans l'État de New York, et aussi à Salt Lake City, en Utah. Les cristaux de sel, qui ont une forme cubique, sont maintes fois illustrés sur des timbres (illustration #60). Ils sont souvent colorés par des impuretés. Le sel, utilisé en cuisine, a été purifié et il est incolore.



Illustration #60 : Halite (sel gemme ou chlorure de sodium), NaCl. Cristaux de sel sur un entier postal d'Autriche et sur un timbre de Guinée équatoriale (Sc 209, 1994).

La structure de la halite est illustrée par des boules vertes, représentant les atomes de chlore (Cl), et des boules bleues, pour les atomes de sodium (Na), sur un timbre de Grande-Bretagne (illustration #61).

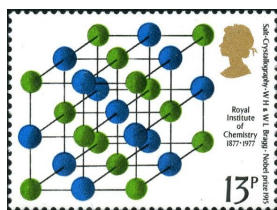


Illustration #61 : Structure cristalline du sel de cuisine sur un timbre de Grande-Bretagne (Sc 809, 2 mars 1977).

- La structure de la chalcoppyrite

La chalcoppyrite est un minéral qui contient à la fois du soufre, du fer et du cuivre. C'est surtout pour ce dernier élément qu'il est exploité. Ces minerais se trouvent presque partout dans le monde. Il y en a à Sudbury, au Canada, aux États-Unis, en Amérique du Sud, surtout au Chili, et dans le sud de l'Afrique (illustration #62).

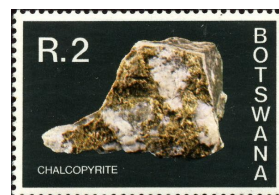


Illustration #62 : Minéral de chalcoppyrite trouvé en Zambie (Sc 264, 1^{er} juillet 1982) et au Botswana (Sc 127, 22 mai 1974).

Ce minéral de fer et de cuivre se trouve en abondance au Chili. La structure du minéral est illustrée sur un feuillet-souvenir émis pour marquer la *Conférence internationale sur le cuivre*, qui se tenait à Vina del Mar, en 1987. Les grosses sphères jaunes représentent les atomes de soufre, alors que les billes grises sont les atomes de fer tandis que les billes oranges sont les atomes de cuivre (illustration #63).

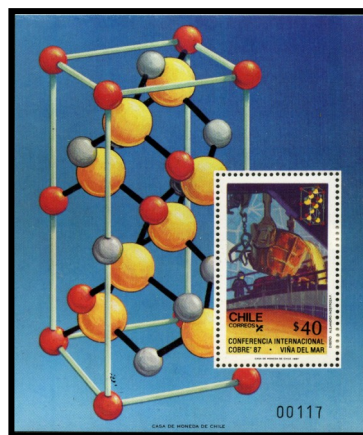


Illustration #63 : Chalcoppyrite sur un feuillet-souvenir du Chili (sulfure de cuivre et de fer), CuFeS₂ (Sc 765a, 23 novembre 1987).

Structures de nouveaux matériaux synthétiques

Tout matériau (qu'il soit minéral, polymérique ou biologique), pourvu qu'on puisse le faire cristalliser, pourra être soumis à l'analyse par diffraction des rayons X en vue d'en établir sa structure. Ainsi les nouveaux matériaux, synthétisés en laboratoire, sont caractérisés de cette manière (illustrations #64 et #65).

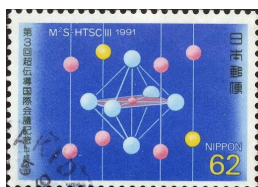


Illustration #64 : Matériau supraconducteur découvert au Japon (Sc 2115, 22 novembre 1987).



Illustration #65 : Structure d'une molécule contenant du rhénium, découverte presque simultanément aux États-Unis et en Union soviétique, en 1987.

Identification, caractérisations et structures de matériaux biologiques et pharmaceutiques

De très nombreux produits naturels, dont les applications sont importantes, ont pu être synthétisés, une fois que leur structure cristalline établie ou confirmée par diffraction des rayons X (illustrations #66 à #69).

- La vitamine C

La vitamine C, si chère à Linus Pauling et ici superposée à une orange, a été synthétisée par Walter Norman Haworth. Cette découverte lui a valu le prix Nobel de chimie, en 1937 (illustration #66).

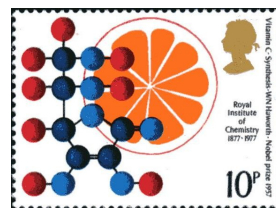


Illustration #66 : La vitamine C montrée par un timbre de Grande-Bretagne (Sc 807, 2 mars 1977).

- L'urée

Cette molécule, contenant des atomes de carbone (noir), d'azote (bleu), d'hydrogène (gris) et d'oxygène (rouge), a été synthétisée par Friedrich Wöhler. Par la suite, sa structure fut confirmée par la diffraction des rayons X (illustration #67).

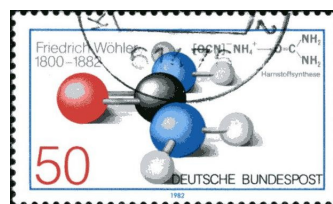


Illustration #67 : Une molécule d'urée sur un timbre d'Allemagne de l'Ouest (Sc 1379, 12 août 1982).

- La pénicilline

La pénicilline, un antibiotique très important, a été découverte par sir Alexander Fleming. De nombreux pays ont émis un timbre pour marquer l'importance médicale de ce composé (illustration #68).

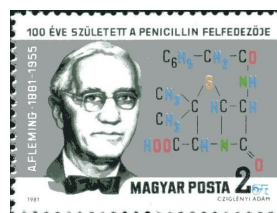


Illustration #68 : La pénicilline découverte par sir Alexander Fleming est présentée sur un timbre de Hongrie (Sc 2688, 7 août 1981).

- La quinine

La quinine, une autre médication importante pour la lutte contre la malaria, a été découverte par Pierre-Joseph Pelletier et Joseph-Bienaimé Caventou (illustration #69). Ces chimistes sont bien connus pour leurs travaux sur les alcaloïdes. C'est aussi Caventou, qui a isolé la chlorophylle.



Illustration #69 : La structure de la quinine est présentée sur ce timbre de France (Sc 1268, 21 mars 1970).

Polymères

- Le tergal

Le tergal est un polymère synthétique, que les chimistes connaissent sous le nom de *polyéthylène téréphtalate*. La structure de ce matériau fibreux a été établie grâce aux rayons X. Elle est reproduite sur un timbre-poste d'Allemagne de l'Ouest (illustration #70).



Illustration #70 : La structure du tergal est schématisée sur un timbre de l'Allemagne de l'Ouest (Sc 1054, 18 février 1971).

- Le caoutchouc

Le caoutchouc est un polymère naturel, la *gutta percha*, qui est tiré de l'hévéa qui pousse dans des pays chauds de l'Asie (comme la Malaisie, le Viêt Nam et d'autres). La structure de ce polymère a été déterminée en se servant des rayons X (illustration #71).



Illustration #71 : L'hévéa et la structure du caoutchouc sur un timbre de Malaisie (Sc 53, 29 août 1968).

- Giulio Natta

Ce scientifique italien a beaucoup contribué à l'application des rayons X dans l'étude des matériaux fibreux, comme les polymères. Des techniques spéciales ont dû être utilisées car, comme les polymères ne sont généralement pas cristallins, les méthodes conventionnelles ne s'appliquaient pas. Pour ses efforts, Natta a reçu le prix Nobel de chimie, en 1963 (illustration #72).

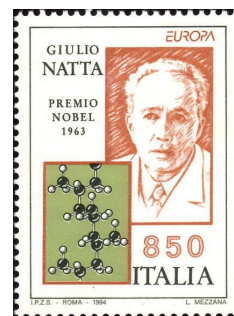


Illustration #72 : Giulio Natta, prix Nobel de chimie en 1963, sur un timbre d'Italie (Sc 1977, 2 mai 1994).

Produits naturels et protéines

- Les acides aminés

Les acides aminés sont des petites molécules qu'utilise la cellule pour fabriquer des protéines. Ainsi, les protéines sont constituées d'une série, ou séquence, d'acides aminés liés les uns aux autres comme on peut le voir sur le timbre-poste du Japon (illustration #73). Il existe 20 acides aminés naturels. Le corps humain peut en générer onze. Les neuf autres viennent de notre alimentation.



Illustration #73 : Structure d'une séquence d'acides aminés sur un timbre du Japon (Sc 927, 19 août 1967).

- L'ADN

L'acide désoxyribonucléique ou ADN, un constituant majeur de nos chromosomes, est le support de l'information génétique de chaque individu. Il est constitué de deux brins enroulés en double hélice. La structure de l'ADN a été établie par Crick et Watson (la double hélice). Le timbre de Suède (illustration #74), qui souligne le prix Nobel attribué, en 1962, à ces chercheurs, est illustré par la structure en double hélice et du diagramme de diffraction caractéristique en forme de X qui a permis cette découverte. Le timbre d'Israël reproduit, d'une autre manière, la structure en double hélice de l'ADN (illustration #75).

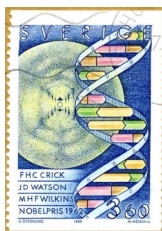


Illustration #74 : Structure et diagramme de rayons X de l'ADN sur un timbre du Suède (Sc 1773, 24 novembre 1989).

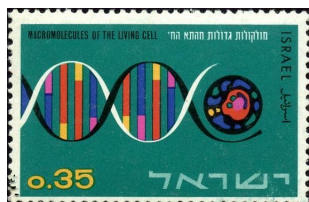


Illustration #75 : Autre représentation de l'ADN (Israël, Sc 257, 13 avril 1964).

- Les protéines

Il s'agit de molécules géantes qui sont présentes chez tous les êtres vivants. Elles sont indispensables à la vie des cellules et de l'organisme. Elles sont fabriquées par les cellules, à partir de l'ADN. Le timbre de Chine, ci-dessous, illustre un modèle de la structure d'une protéine, la première à être établie par un groupe de chercheurs chinois (illustration #76).



Illustration #76 : Structure d'une protéine établie en Chine (Sc 1266, 12 juin 1976).

- L'insuline

Frederick Banting et Charles Best, de l'Université de Toronto, isolèrent l'insuline en 1921. Pour ce travail, ils reçurent, conjointement, le prix Nobel de médecine, en 1923 (illustration #77). L'insuline est utilisée dans le traitement du diabète, car elle permet de recréer artificiellement les échanges de sucre. La structure de l'insuline a été établie, après 35 ans de travail acharné, par Dorothy Hodgkin (illustration #78). Cette scientifique est considérée comme la fondatrice de la cristallographie des protéines. On lui doit aussi d'avoir découvert la structure de la pénicilline et de la vitamine B12. Son portrait et un fragment de la molécule d'insuline sont reproduits sur le timbre de Grande-Bretagne émis en son honneur, en 1996. Elle a reçu le prix Nobel de chimie, en 1969.



Illustration #77 : Timbre du Canada marquant la découverte de l'insuline par Frederick Banting et Charles Best (Sc 533, 3 mars 1971).

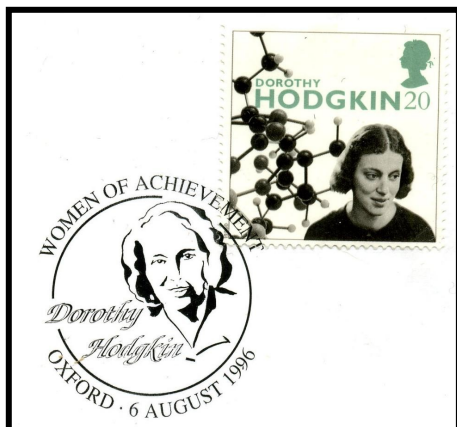


Illustration #78 : Dorothy Hodgkin, la scientifique qui a établi la structure tridimensionnelle de l'insuline, sur un timbre de Grande-Bretagne (Sc 1693, 6 août 1996).

Fournisseurs d'appareillage utilisant les rayons X

De nombreuses firmes commerciales se disputent ce champ d'applications. Les empreintes de machines à affranchir (EMA), de quelques-unes d'entre elles, sont présentées ci-dessous (illustrations #79 à #81).

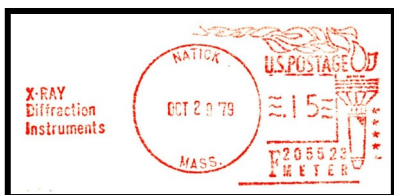


Illustration #79 : La firme Charles Supper, de Natick MA, a fait le design et la fabrication de nombreux appareils pour l'enregistrement photographique des diagrammes de diffraction.



Illustration #80: Fabricant de spectromètres à dispersion d'énergie (système EDAX) pour la micro-analyse.



Illustration #81 : Firma qui manufacture des systèmes permettant l'analyse automatique des phases par réflectométrie des rayons X.

Une application inédite

Pour se protéger contre l'anthrax, certaines lettres étaient passées aux rayons X en vue de déterminer si elles contenaient des substances nuisibles. Un tampon, signalant ce traitement, était appliqué à l'encre rouge sur ces lettres (illustration #82 et #83). Le gouvernement fédéral des États-Unis avait acheté, en 2001, huit machines à irradier pour son Service postal (USPS). Le but était de détruire les substances nocives, en les soumettant à une dose massive de rayons X.



Illustration #82 : Lettre postée en novembre 1977 venant de Jérusalem, Israël, à destination de New York. Elle porte en rouge la mention «THIS MAIL WAS X-RAYED».

«THIS MAIL WAS X-RAYED»

Illustration #83 : La marque apparaissant sur les lettres passées aux rayons X.

CONCLUSION

Cette recherche thématique raconte tout d'abord la découverte des rayons X par Wilhelm Conrad Röntgen. Ensuite, on y décrit les travaux des chercheurs qui contribuèrent à la caractérisation de cette nouvelle radiation. Les retombées, tant médicales que scientifiques, des rayons X sont décrites en détail.

Ses applications médicales sont considérables : tous les hôpitaux sont équipés d'appareils à rayons X, dont l'emploi est de plus en plus généralisé. En ce qui concerne ses applications scientifiques, on constate que tout laboratoire de recherche, qu'il soit un laboratoire de chimie, de physique ou de biologie, fait appel à la diffraction des rayons X pour identifier et caractériser les nouveaux matériaux qui y sont découverts.

Finalement, il est bon de signaler que bien des chercheurs, qui ont participé soit à la découverte et à la caractérisation des rayons X ou encore ceux qui s'en sont servis pour établir des structures de plus en plus gigantesques, sont devenus très souvent des récipiendaires de prix Nobel (en chimie, biochimie, physique ou médecine).

RÉFÉRENCES

- Asimov, I., *Biographical Encyclopedia of Science and Technology*, Doubleday, (1982)
- Brisse, F. CHM385. *Éléments de cristallographie*, Les Presses de l'Université de Montréal (1985).
- Scott, *Standard Postage Stamp Catalogue*, Scott Publishing Co., Sidney, OH, USA (2005).
- www.alertnet.org/environment

François BRISSE
Fauteuil DUMONT D'URVILLE
écrit spécialement pour
les Cahiers de l'Académie

Date : **29 février 2008**