

PLASMAS & ACCÉLÉRATEURS AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DES POSSIBILITES DE PLUS EN PLUS VASTES

THOMAS DOLAN, STJEPKO FAZINIC, C.U. ROSENGARD & URSULA SCHNEIDER

La recherche fondamentale et appliquée menée dans certains domaines avancés des sciences et techniques nucléaires a permis à de nombreux pays de réaliser des progrès sociaux, économiques et écologiques dans les secteurs de l'industrie, de la médecine et de l'énergie. La recherche scientifique a permis, par exemple, d'améliorer les procédés industriels d'évacuation des déchets et de production de céramiques, de métaux et de revêtements de haute qualité, et d'améliorer les soins et les traitements médicaux.

Par diverses activités, l'AIEA soutient et coordonne des recherches scientifiques et techniques qui aident à satisfaire les besoins de ses États membres en matière de développement durable. Les programmes de l'Agence englobent des applications ayant trait à l'instrumentation nucléaire, à la physique des plasmas, à la recherche sur la fusion nucléaire et à l'utilisation de réacteurs de recherche et d'accélérateurs. Le présent article porte plus spécialement sur les applications des plasmas et des faisceaux d'accélérateurs, en plaçant l'accent sur les activités qui visent à promouvoir le transfert de technologie et de compétences.

TECHNOLOGIES DU PLASMA

La plupart des gens pensent que les états fondamentaux de la matière sont les états solide, liquide ou gazeux. Or, les physiciens travaillent fréquemment avec un autre état

de la matière, connu sous le nom de plasma, qui est un gaz ionisé. Les processus plasmatiques – la luminescence d'un tube néon ou, à une plus grande échelle, l'énergie du soleil – font partie de la vie quotidienne.

Aujourd'hui, les applications pratiques et bénéfiques des technologies du plasma dans la médecine et dans l'industrie sont multiples :

- nettoyage de surfaces ; revêtements de surfaces ; et essais de matériaux ;
- fabrication de fenêtres en diamant et saphir par synthèse plasma-chimique ;
- usinage et modification de puces électroniques à l'échelle atomique ;
- sources de rayonnements lumineux à haut rendement énergétique ;
- conservation des aliments (barrières anti-diffusion sur les emballages plastiques pour retarder l'oxydation) ;
- matériaux et implants biocompatibles ;
- applications médicales (instruments chirurgicaux et dentaires, implants, valves cardiaques) ;
- destruction de déchets dangereux.

Ces applications industrielles, parmi d'autres, ont un potentiel commercial de dizaines de milliards de dollars. Plusieurs technologies du plasma utilisées pour la recherche sur la fusion trouvent également une utilisation dans d'autres domaines. Le chauffage du plasma par micro-ondes à haute puissance, par exemple, est aujourd'hui largement utilisé dans l'industrie.

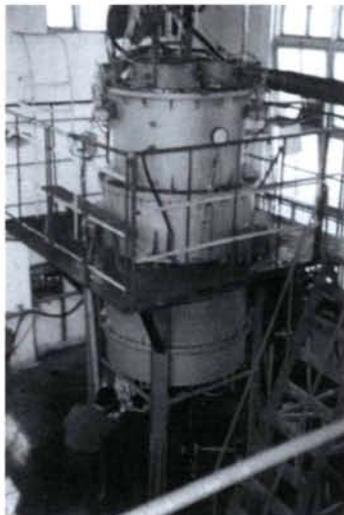
Des techniques de diagnostic plasmatiques sont utilisées à des fins industrielles, et de petites machines à plasma sont utilisées comme sources de neutrons et de rayons X.

Projets de coopération technique. En Chine, l'AIEA a soutenu un projet de coopération technique qui aide ce pays à mettre au point un réacteur à plasma devant traiter des déchets liquides toxiques provenant d'une usine de pâte à papier. Actuellement, une usine pilote est en cours de construction pour tester ce concept sur une plus grande échelle. Cette technologie, si elle se révèle efficace, pourrait être transmise à des milliers d'usines de pâte à papier en Chine et ailleurs.

Un autre projet, mis en œuvre en Argentine, met au point une source intense de neutrons pulsés, qui pourrait être utilisée dans diverses applications concrètes telles que la prospection de minéraux et la détection d'explosifs.

Projets de recherche coordonnée. L'AIEA a également mis en œuvre un projet de recherche coordonnée sur les applications techniques, industrielles et environnementales de la physique des plasmas et des techniques de fusion. Des résultats notables ont été enregistrés dans nombre des pays participants :

M. Dolan est chef de la Section de physique à la Division des sciences physiques et chimiques du Département des sciences et des applications nucléaires, et M. Fazinic, M. Rosengard et Mme Schneider sont fonctionnaires de cette section.



■ **Argentine.** On a étudié la modification de surface d'aciers, de titanes et d'autres alliages. D'autres études faisant appel à la diffraction de rayons X émis par des synchrotrons ont été consacrées à l'amélioration de la dureté superficielle de l'acier.

■ **Brésil.** On a étudié la microstructure de revêtements durs à base de carbone tels que du carbure de bore afin d'améliorer leurs propriétés mécaniques, y compris leur résistance à l'usure.

■ **Chine.** Une étude de plasmas contaminés par de la poussière aidera à contrôler la qualité dans le traitement des matériaux. En outre, on tente de mettre au point un appareil à plasma pouvant servir de source de rayons X et de faisceaux d'ions.

■ **Égypte.** Un appareil (connu sous le nom d'appareil de décharge à barrière diélectrique silencieuse) a été testé comme générateur d'ozone gazeux pour traiter les eaux usées, désulfurer le charbon, et extraire la vapeur d'eau du gaz naturel présent dans le pétrole brut.

■ **Allemagne.** Des films de carbone hydrogénés amorphes déposés sur des polymères ont

réduit la perméabilité de 80% à 95%. Ce résultat est comparable aux réductions obtenues à l'aide d'autres revêtements imperméabilisants tels que l'alumine et le silicone.

■ **Grèce.** Une source luminescente de faisceaux d'atomes métalliques a été mise au point pour la construction d'équipements nano-structurés tels que des détecteurs de gaz semi-conducteurs.

■ **Inde.** Un prototype de système de torche à plasma pour la pyrolyse au plasma de déchets médicaux est en cours d'essais sur le terrain. Les gaz produits ont été mesurés et des méthodes mises au point pour empêcher toute pollution de l'environnement.

■ **Japon.** Des instruments spéciaux ont été conçus pour mesurer les fonctions de distribution d'énergie de plasmas d'ondes de surface et de plasmas induits par hautes fréquences. Les concentrations résultantes de molécules d'hydrocarbures et de molécules fluorées ont été étudiées pour apprendre à optimiser les paramètres de traitement des semi-conducteurs.

■ **Roumanie.** Il a été conçu un réacteur à plasma destiné au traitement des matériaux.

■ **Fédération de Russie.** On a démontré qu'il était possible d'injecter des pastilles dans des plasmas en fusion pour mesurer les paramètres de ce dernier.

Ces applications de la physique des plasmas offrent d'importantes possibilités pour ce qui est de la protection des matériaux grâce à l'étude des surfaces ; de la mise au point de techniques de fabrication propres ; de la production de nouveaux matériaux aux fins des futures technologies ; et de la remise en état de l'environnement.

APPLICATIONS DES ACCÉLÉRATEURS

Des milliers d'accélérateurs sont utilisés dans le monde dans le cadre de diverses applications (voir encadré, page 44).

L'Agence élabore actuellement une base de données sur les accélérateurs à faible énergie et leurs applications. Ces applications sont notamment les suivantes :

Générateurs de neutrons. Des faisceaux de deutérons de haute intensité ayant une énergie de 0,1 à 3 MeV sont injectés dans des cibles de titane tritié, où des réactions de fusion nucléaire produisent des neutrons. Ces

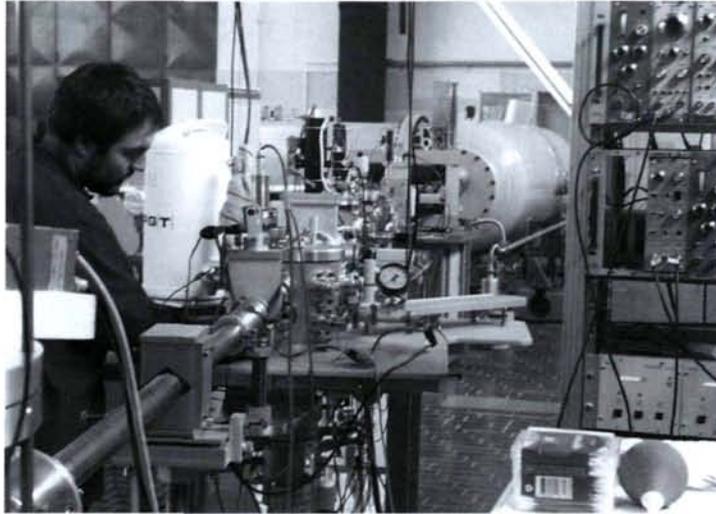
Photos : À gauche, réacteur à plasma pour l'évacuation et le recyclage de déchets de pâte à papier à Chengdu (Chine). À droite, système conçu par la Western Kentucky University (États-Unis) pour identifier des objets enfouis. Ce système est en cours d'essais pour la détection des mines enfouies.

“générateurs de neutrons” sont utilisés pour analyser des matériaux par absorption et dispersion de neutrons. Ils sont notamment utilisés dans le cadre des activités suivantes : expériences de physique ; détection d’explosifs et de drogues ; déminage humanitaire ; analyse globale de charbon, de ciment, de verre, de métaux et de produits agricoles ; diagraphe de puits de pétrole ; prospection minière ; examens non destructifs par neutronographie ; et soins médicaux.

Les activités de l’Agence comprennent un projet de recherche coordonnée sur l’analyse globale de l’hydrogène au moyen de neutrons. Il a également été publié un document technique consacré au fonctionnement et à l’entretien des générateurs de neutrons. Dans le cadre d’un autre projet de recherche coordonnée portant sur l’application des techniques nucléaires à l’identification des mines antipersonnel, on met au point des instruments nucléaires servant à localiser et à identifier les objets enfouis. Un système de détection des mines sera testé sur le terrain.

Implantation d’ions. Un traitement par faisceaux d’ions peut être utilisé à la fois pour synthétiser et pour modifier des matériaux, y compris des métaux, des semi-conducteurs, des céramiques et des isolants, et ce avec un haut degré de précision. Des implanteurs d’ions sont utilisés pour fabriquer des puces électroniques avancées équipant des ordinateurs et des systèmes de communication.

Environ 7000 accélérateurs d’implantation sont en service dans l’industrie des semi-conducteurs. L’implantation d’ions nécessite des accélérateurs spéciaux capables d’implanter des ions de la plupart des éléments du tableau de classification périodique, et de balayer le



faisceau uniformément sur un échantillon.

Cette technique est également utilisée pour déposer de fines pellicules de revêtement destinées à améliorer la résistance à l’usure, au frottement et à la corrosion d’outils spécialisés utilisés dans l’industrie et en médecine. Par exemple, les alliages de titane, d’aluminium et de vanadium ont une excellente biocompatibilité, une haute résistance et une bonne résistance à la corrosion, mais manquent de dureté et de résistance à l’usure. Une implantation d’azote améliore de 1000 fois la résistance à l’usure de ces alliages, ce qui permet de les utiliser bien plus longtemps dans des prothèses de hanche.

Analyse par faisceaux d’ions. Les méthodes les plus courantes d’analyse par faisceaux d’ions sont les méthodes PIXE (émission de rayons X induite par particules), RBS (spectrométrie à rétrodiffusion de Rutherford), ERDA (analyse par détection de recul élastique) et NRA (analyse par réaction nucléaire). L’analyse par faisceaux d’ions permet de détecter tous les éléments. Les méthodes NRA et ERDA conviennent mieux aux éléments légers, en particulier à l’hydrogène ; les méthodes RBS et PIXE peuvent détecter des éléments plus lourds.

Généralement, on utilise de petits accélérateurs électrostatiques de 2 à 3 MV de tension. On recense environ deux cents installations dans le monde, y compris celles utilisées dans une vingtaine de pays en développement. La plupart des méthodes d’analyse par faisceaux d’ions peuvent, au moyen d’un faisceau d’ions finement focalisé, produire des images de concentrations élémentaires. Des moyens de faible intensité peuvent être utilisés comme détecteurs contrôlables de sources de rayonnements pour représenter la morphologie, la structure cristalline et la densité de matériaux, ou pour étudier les propriétés d’appareils électroniques.

Les applications les plus répandues ont trait à l’étude de matériaux, à l’étude de la pollution de l’environnement, à la recherche biomédicale, à la géologie et à l’archéométrie. En raison des renseignements qu’elles fournissent, les méthodes RBS, ERDA et NRA sont un complément précieux aux techniques plus traditionnelles d’analyse de surfaces, et possèdent des caractéristiques uniques qui les rendent indispensables pour

Photo : L’accélérateur d’analyse par faisceaux d’ions de l’Institut Josef Stefan (Slovénie).

APPLICATIONS DES ACCÉLÉRATEURS

ACCÉLÉRATEURS D'ÉLECTRONS

■ **Accélérateurs d'électrons de faible à moyenne énergie.** *Application* : hôpitaux, radiotraitement, radiothérapie. Utilisés pour la cancérothérapie, le renforcement des matériaux, la stérilisation d'équipements médicaux, la conservation des aliments, la réduction de la pollution. 7000 appareils disponibles dans le monde (6000 hôpitaux, 1000 pour le renforcement des matériaux, la stérilisation et la prévention de la pollution).

■ **Sources de rayonnements à synchrotron.** *Application* : Recherche. Utilisées pour l'étude des matériaux et les sciences de la vie. Moins de 50 appareils disponibles dans le monde.

ACCÉLÉRATEURS D'IONS

■ **Générateurs de neutrons.** *Application* : analyse par activation de neutrons. Utilisés pour la diagraphie des puits de pétrole, le contrôle et l'analyse de procédés industriels, et la détection d'explosifs et de drogues.

■ **Implanteurs d'ions.** *Application* : traitement des matériaux par faisceaux d'ions. Utilisés pour la production de puces électroniques, l'amélioration de la résistance à l'usure et à la corrosion, et l'implantation de prothèses humaines. Environ 7000 appareils de ce type dans le monde.

■ **Accélérateurs d'ions de faible à moyenne énergie.** *Application* : analyse par faisceaux d'ions & spectrométrie de masse par accélérateur. Utilisés pour la détection d'éléments traces, la production de radio-isotopes à des fins diagnostiques et thérapeutiques, la cancérothérapie par faisceaux d'ions. Plusieurs centaines de ces appareils disponibles dans le monde.

■ **Sources de neutrons de spallation.** *Application* : Recherche. Utilisées pour l'étude de matériaux avancés et la transmutation de déchets nucléaires. Environ dix appareils de ce type dans le monde.

résoudre certains problèmes. Elles permettent d'analyser une grande variété d'échantillons dans des domaines tels que l'étude des matériaux, l'art, l'archéologie et la biologie.

L'AIEA appuie plusieurs projets dans les États membres.

■ **Slovénie.** Dans le cadre d'un projet de coopération technique mis en œuvre avec l'Institut Josef Stefan de Ljubljana, il a été créé un centre moderne de recherche et de formation à l'analyse par faisceaux d'ions. L'Institut prévoit d'équiper l'accélérateur de cinq lignes de faisceaux pour appliquer les techniques d'analyse, mettre en œuvre un programme d'assurance de la qualité intéressant ces techniques, puis proposer des services d'analyse aux établissements de recherche et aux industriels.

Deux lignes de faisceaux sont en service, et une ligne de microsondes nucléaires est en construction pour faciliter l'analyse de divers échantillons à l'aide de faisceaux de protons de diamètre inférieur ou égal à un micromètre. Ces systèmes faciliteront la mesure de la distribution spatiale d'éléments traces, par exemple sur des

matériaux électroniques et des appareils micro-électroniques. Une autre ligne est en cours de préparation afin de réaliser des mesures RBS et ERDA qui permettront d'étudier de fines couches de revêtements, des revêtements durs et d'autres matériaux.

■ **Israël.** L'Agence a aidé Israël à améliorer ses accélérateurs existants aux fins de diverses applications. Les capacités de l'accélérateur 3 MeV Van de Graaff du Weizmann Institute ont été augmentées en affectant deux de ses trois lignes de faisceaux à l'analyse par faisceaux d'ions aux fins d'applications liées au contrôle de l'air, de l'eau et des matières dangereuses. La troisième ligne est réservée aux applications PIXE, PIGE (émission de rayons X induite par particules) et RBS.

■ **Iran.** L'Agence a aidé l'Iran à améliorer les capacités d'analyse du Laboratoire Van de Graaff du Centre de recherches nucléaires de l'Organisation de l'énergie atomique de Téhéran. Les capacités ont été améliorées par l'introduction d'une microsonde nucléaire.

L'Agence a également appuyé des projets de coopération

technique liés à l'utilisation de l'analyse par faisceaux d'ions dans de nombreux autres pays : Brésil, Croatie, Chili, Grèce, Liban, Mexique, Portugal, Roumanie et Thaïlande.

Les laboratoires de l'AIEA à Seibersdorf (Autriche) utilisent, à l'accélérateur Van de Graaff de l'Institut Rudjer Boskovic de Zagreb (Croatie), une ligne de faisceaux réservée pour l'analyse d'échantillons environnementaux ; un projet a d'ailleurs aidé à y mettre au point une ligne de microsondes. En outre, l'AIEA soutient un projet de recherche coordonnée portant sur l'analyse par faisceaux d'ions de matériaux semi-conducteurs, et elle publie actuellement un document technique consacré aux méthodes PIXE et RBS.

Spectrométrie de masse par accélérateur. Il s'agit là de la technique d'analyse des éléments traces la plus sensible, avec des sensibilités pouvant atteindre, dans certains cas, quelques particules par billion. Les accélérateurs requis pour appliquer cette technique sont comparables à ceux utilisés pour l'analyse par faisceaux d'ions, mais des améliorations sont nécessaires au

niveau de la source d'ions et du jet de haute énergie.

On recense dans le monde environ 50 laboratoires disposant de leur propre système de spectrométrie de masse par accélérateur. Cette technique présente deux caractéristiques intéressantes : elle permet d'analyser de très faibles volumes d'échantillons, et d'utiliser des nucléides stables au lieu de nucléides radioactifs.

La spectrométrie de masse par accélérateur est l'une des méthodes les plus rapides de dosage du carbone (30 minutes contre plusieurs semaines pour les méthodes de datation traditionnelles) et seuls des échantillons de l'ordre d'un milligramme sont requis (contre plusieurs grammes avec les méthodes traditionnelles). Cette technique utilise également les nucléides cosmogéniques que sont le béryllium 10, l'aluminium 26 et l'iode 129, et elle sera de plus en plus utilisée en océanographie, en paléoclimatologie et en géohydrologie (ressources en eaux souterraines).

Le carbone 14 peut, dans un système biologique, être utilisé comme traceur avec une sensibilité un million de fois supérieure à celle des méthodes traditionnelles de comptage à scintillation. Les impuretés de fer à raison de quelques particules par milliard peuvent poser des problèmes dans la fabrication des puces électroniques ; on utilise donc la spectrométrie de masse par accélérateur pour diagnostiquer la teneur en impuretés.

■ **Israël.** L'AIEA a aidé le Racah Institute of Physics de l'Université hébraïque de Jérusalem à mettre au point des procédures d'analyse par spectrométrie de masse du strontium 90 présent dans des échantillons de l'environnement en utilisant l'accélérateur du Weizmann Institute of Science. L'Agence a offert, pour améliorer

les installations existantes, des services d'experts, une formation et certains équipements.

Une étude de faisabilité a montré que la spectrométrie de masse par accélérateur améliorerait de deux fois le seuil de détection du strontium 90 par rapport au comptage bêta. Une procédure améliorée de préparation des échantillons accroîtra encore la sensibilité de cette méthode. Le projet a permis d'améliorer la capacité locale de détection des éléments traces dans les échantillons d'environnement.

Production de radio-isotopes.

La production de radio-isotopes par accélérateur offre une alternative intéressante à la production de radio-isotopes par réacteur de fission. Les accélérateurs utilisés pour produire ces isotopes sont généralement des cyclotrons produisant des faisceaux de protons de 15 à 60 MeV. Les radio-isotopes à court période produits par les accélérateurs sont largement utilisés en médecine nucléaire en raison de la dose réduite reçue par le patient. Il s'agit notamment d'isotopes de tomographie à émission de positons (TEP) tels que le fluor 18 et le sodium 22 (utiles pour le diagnostic et la recherche médicale), le gallium 67 en citrate, le rubidium 81/krypton 81 (pour l'imagerie pulmonaire) et divers isotopes d'iode, en particulier l'iode 123. Les radiopharmaceutiques utilisant ces isotopes à courte période permettent d'obtenir un diagnostic optimal tout en produisant le minimum de déchets radioactifs. L'Agence soutient plusieurs activités de recherche et projets de coopération technique dans ce domaine.

■ **Israël.** Un cyclotron destiné à la production de radio-isotopes a été mis en place en Israël à l'Organisation médicale Hadassah et dans des laboratoires de radiochimie. L'Agence aide à

mettre sur pied des installations de production de radiopharmaceutiques marqués au fluor 18 et destinés à diagnostiquer des troubles cardiologiques, oncologiques, neurologiques et psychiatriques.

■ **Argentine.** L'Agence aide l'Argentine à développer, pour les services de médecine nucléaire du pays, la production par cyclotron de radiopharmaceutiques à iode 123 de grande pureté.

■ **Iran.** En Iran, des projets de coopération technique portent sur la production par cyclotron des radio-isotopes à courte période que sont le titane 201, le gallium 67, le krypton 81 et l'indium 111. La prochaine ligne de produits, à base de fluor 18 et d'iode 123, sera utilisée dans le cadre de services de tomographie à émission de positons.

Thérapie anticancéreuse.

Environ 6000 accélérateurs linéaires d'électrons ont été installés dans le monde à des fins de thérapie anticancéreuse et quelques accélérateurs de protons sont également utilisés à des fins thérapeutiques (voir article, page 33). Dans le cadre de ses activités, l'Agence a récemment réuni un groupe consultatif sur l'utilisation thérapeutique des protons.

Sources de neutrons de spallation. Lorsque des faisceaux de protons émis par de puissants accélérateurs rencontrent des cibles en métaux lourds tels que le plomb, de nombreux neutrons sont éjectés (par "spallation"). La qualité des expériences de dispersion de neutrons est limitée par le flux de neutrons disponible.

Plusieurs applications, dont les suivantes, nécessitent des flux élevés de neutrons :

Dispersion de neutrons pour l'étude des matériaux.

Les neutrons étant capables de pénétrer profondément la matière, la dispersion de neutrons est largement utilisée pour déterminer la structure interne de céramiques,



d'alliages métalliques, de matériaux magnétiques, de superconducteurs et d'échantillons biologiques.

Essais d'irradiation des matériaux. Des flux élevés de neutrons sont nécessaires pour tester la durée de vie de matériaux utilisés dans le cœur de réacteurs de fission et dans les parois de réacteurs de fusion.

Transmutation de déchets radioactifs. Les sources de neutrons de spallation peuvent être utilisées pour brûler les actinides excédentaires du combustible irradié provenant de réacteurs de fission ou pour éliminer du plutonium provenant d'armements.

Médocothérapie. Une forte puissance de la source de neutrons permettrait de réduire le temps d'irradiation du patient dans le cadre de la thérapie par capture de neutrons à bore. Étant donné que les puissantes sources de neutrons de spallation sont onéreuses, leurs faisceaux de neutrons sont souvent partagés par des utilisateurs provenant de plusieurs pays ; la coopération internationale joue donc un rôle important.

Accélérateurs d'électrons et rayonnements synchrotrons. Le traitement par faisceaux d'électrons est une méthode polyvalente et économique permettant d'améliorer les

caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de nombreux matériaux. On utilise généralement des énergies de 0,3 à 10 MeV et des puissances de 1 à 100 kW. Les électrons ionisent les atomes, rompant les liens chimiques et entraînant des réactions chimiques, la dislocation d'atomes ou une stérilisation.

Les faisceaux d'électrons sont utilisés, notamment, pour réticuler des câbles et des isolants de câbles ; réticuler des films plastiques, des mousses et des tubes ; désinfecter des boues d'épuration et des eaux usées ; modifier des polymères en vrac ; vulcaniser du caoutchouc ; dépolymériser de la cellulose ; conserver les aliments ; durcir des revêtements ; modifier des textiles ; polymériser des greffes sur des films, des fibres ou du papier ; modifier des semi-conducteurs ; et stériliser du matériel médical.

Des systèmes à faisceaux d'électrons spécialement conçus ont été utilisés pour extraire des polluants des gaz d'échappement. La plupart des centrales électriques brûlent des combustibles fossiles qui émettent des gaz contenant des oxydes d'azote et de soufre, qui provoquent des emphysèmes et des pluies acides. La Pologne teste actuellement des faisceaux d'électrons destinés à extraire ces polluants des gaz de combustion. Dans le cadre d'un projet mis en œuvre en Iran, il sera mis en place un accélérateur national d'électrons destiné à introduire les traitements par faisceaux d'électrons dans la production industrielle de polymères, notamment.

Les accélérateurs d'électrons sont également utilisés pour l'étude des matériaux. Les faisceaux d'électrons émis par des machines telles que des microtrons ou des accélérateurs linéaires produisant des énergies supérieures à 25 MeV peuvent servir à produire des rayons gamma à haute énergie pour

l'activation des photons de divers échantillons, dont on peut ensuite déterminer les concentrations élémentaires.

Les accélérateurs à synchrotrons d'électrons à haute énergie (plusieurs GeV) servent de sources intenses de rayonnement lumineux synchrotron, qui peut être utilisé pour analyser la structure de nombreux matériaux, aussi bien organiques qu'inorganiques. L'Agence collabore avec le Centre international de physique théorique de Trieste (Italie) pour proposer aux chercheurs de pays en développement une formation aux applications des rayonnements synchrotrons.

DES PROGRÈS À SOUTENIR

Grâce à divers mécanismes, l'AIEA aide ses États membres à appliquer la technologie du plasma et des accélérateurs dans différents domaines. Ces applications présentent des avantages concrets dans l'industrie, la recherche, la surveillance de l'environnement, l'enseignement et les soins de santé, soutenant ainsi les plans et programmes nationaux de développement durable.

En plus d'aider les États membres à mettre au point leurs propres installations d'application du plasma et des accélérateurs, l'Agence peut favoriser la coopération internationale pour ce qui est d'utiliser des installations importantes telles que des installations de rayonnement synchrotron ou de spallation de neutrons, qui sont trop onéreuses à construire pour de nombreux pays. Comme l'utilisation de la technologie du plasma et des accélérateurs devrait se développer au cours de la prochaine décennie, il faudrait intensifier la coopération internationale pour que davantage de pays puissent profiter de ces applications. □

Photo : Un accélérateur d'électrons de l'Université de Miami/Jackson Memorial Medical Center est utilisé pour désinfecter des déchets hospitaliers infectieux.