

> comme s'ils étaient libres. Dans cette situation, le photon X cède une (faible) partie de son énergie et de sa quantité de mouvement à l'électron: ce dernier est bien éjecté de l'atome, mais le photon X est juste dévié, pas absorbé. C'est le régime dit de diffusion Compton. Il se traduit par une diminution de l'intensité du faisceau dans sa direction de propagation, puisqu'une partie de l'onde incidente est diffusée dans d'autres directions.

Le second mécanisme est celui de photo-ionisation: le photon X est absorbé et cède toute son énergie à l'électron. Ce mécanisme concerne surtout les électrons des couches plus profondes de l'atome, où l'énergie de liaison n'est plus négligeable (plusieurs keV).

Comment se comparent ces deux mécanismes? Pour la diffusion Compton et à des énergies incidentes inférieures à l'énergie de masse de l'électron (500 keV), la probabilité que le photon X soit diffusé (et ne parvienne donc pas au détecteur) ne dépend pas de son énergie: tout se passe comme si chaque électron était un minuscule écran de 10^{-28} mètre carré.

Pour la photo-ionisation, la probabilité d'absorption est maximale si l'énergie du photon X est égale à l'énergie d'ionisation pour l'électron en question. Elle diminue ensuite très vite lorsque l'énergie du photon augmente (de façon inversement proportionnelle à l'énergie).

En résumé, dans le domaine d'énergie considéré, le taux de diffusion Compton est pratiquement constant. Cet effet domine aux hautes énergies. À plus basse énergie, c'est la photo-ionisation, dont le taux varie fortement avec l'énergie, qui l'emporte.

ÉNERGIES DIFFÉRENTES, IMAGES DIFFÉRENTES

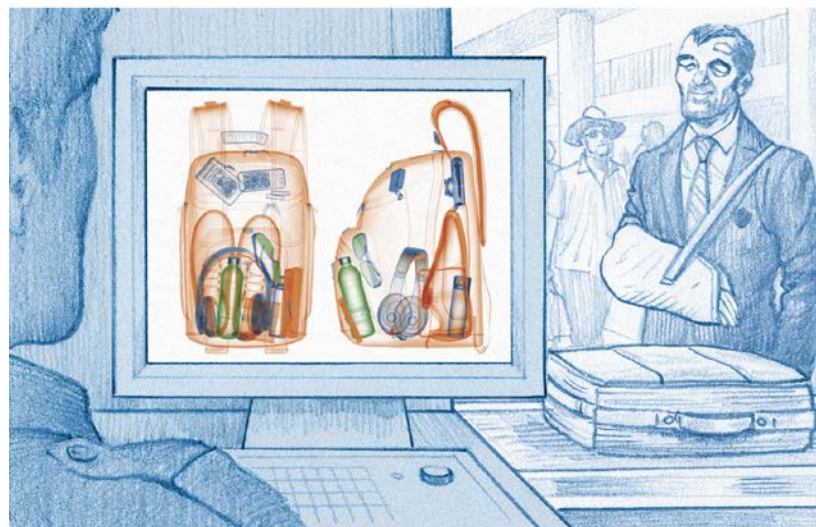
La transition d'un régime à l'autre dépend de la nature de l'atome (vers 20 keV pour des éléments légers tels que le carbone, à 130 keV pour le cuivre par exemple). En fonction de l'énergie de faisceau utilisée, on n'aura donc pas la même image selon les atomes présents.

C'est pourquoi les inspections de sûreté s'effectuent à plusieurs énergies: on prend simultanément deux radiographies (parfois plus) avec des rayons X d'énergies différentes. La comparaison des deux images permet de remonter au numéro atomique (nombre de protons de l'atome) moyen du matériau traversé.

On traduit alors cette information en couleur afin de distinguer trois grands groupes de matériaux. On marque en

CONTRÔLES SUBSTANTIELS

En effectuant des radiographies avec des rayons X de deux énergies différentes, on accède au numéro atomique moyen de la substance traversée, ce qui renseigne sur sa nature. On visualise ainsi en orange les substances de faible numéro atomique, en particulier les matériaux organiques dont font partie les drogues et les explosifs. Il est même possible, par des algorithmes appropriés, de distinguer ces derniers, en s'appuyant sur le fait que les molécules des drogues sont riches en carbone, oxygène et hydrogène, tandis que celles des explosifs ont beaucoup plus d'azote.



orange les éléments de faible numéro atomique, ce qui correspond à de la matière organique: aliments, vêtements (ce sont des polymères), mais aussi drogues ou explosifs.

On indique en vert les éléments de numéro atomique intermédiaire, typiquement l'aluminium, et en bleu les éléments de numéro atomique élevé, tels que le cuivre ou le fer. On utilise en outre la gamme clair-sombre pour visualiser le degré d'absorption, c'est-à-dire l'épaisseur traversée. Et pour résoudre en partie le problème de la superposition des ombres, on prend deux images dans des directions perpendiculaires.

Il est possible de faire encore mieux. Certains dispositifs détectent les rayons X diffusés par l'objet vers l'arrière (en direction de la source), qui renseignent sur les éléments légers, donc sur les substances organiques. C'est notamment le cas avec les scanners corporels, qui doivent minimiser l'absorption de rayons X.

Et l'on peut effectuer de la tomographie, c'est-à-dire prendre des images à l'aide de détecteurs qui tournent autour de l'objet afin d'avoir des vues dans toutes les directions, ce qui permet de reconstruire le contenu dans les trois dimensions. Ce type de scanner est maintenant obligatoire dans les aéroports pour contrôler les bagages allant en soute. ■

BIBLIOGRAPHIE

O. E. Wetter, **Imaging in airport security: Past, present, future, and the link to forensic and clinical radiology**, *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, vol. 1(4), pp. 152-160, 2013.

H. Vogel et D. Haller, **Luggage and shipped goods**, *European Journal of Radiology*, vol. 63(2), pp. 242-253, 2007.

V. Rebuffel et J.-M. Dinten, **Dual-energy X-ray imaging: Benefits and limits**, *Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, vol. 49(10), pp. 589-594, 2007.