

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2019/135052 A1

(43) Date de la publication internationale
11 juillet 2019 (11.07.2019)

(51) Classification internationale des brevets :
G01N 23/2206 (2018.01) G01N 33/2028 (2019.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2019/050008

(22) Date de dépôt international :
04 janvier 2019 (04.01.2019)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
62/614,094 05 janvier 2018 (05.01.2018) US

(71) Déposant : **TECHNOLOGIES DE FRANCE** [FR/FR] ;
avenue Louis Philibert, Technopole Arbois Méditerranée,
13100 AIX-EN-PROVENCE (FR).

(72) Inventeurs : **MENJOUR, Youssef** ; 50, rue du Jas des
Vaches, 13100 AIX-EN-PROVENCE (FR). **LIEN, Aloïs** ;
74, rue Vasco de Gama, 75015 PARIS (FR).

(74) Mandataire : **BRUN, Philippe** ; MED'INVENT
CONSULTING, 297, avenue du Mistral, Espace Mistral -
Bâtiment A, Z.I. ATHELIA IV 13705 LA CIOTAT CEDEX
(FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR QUANTIFYING A METAL OF INTEREST AMONG A PLURALITY OF MATERIALS IN A HETEROGENEOUS SAMPLE

(54) Titre : SYSTÈME ET PROCÉDÉ POUR QUANTIFIER UN MÉTAL D'INTERÊT PARMIS UNE PLURALITÉ DE MATÉRIAUX D'UN ÉCHANTILLON HÉTÉROGÈNE

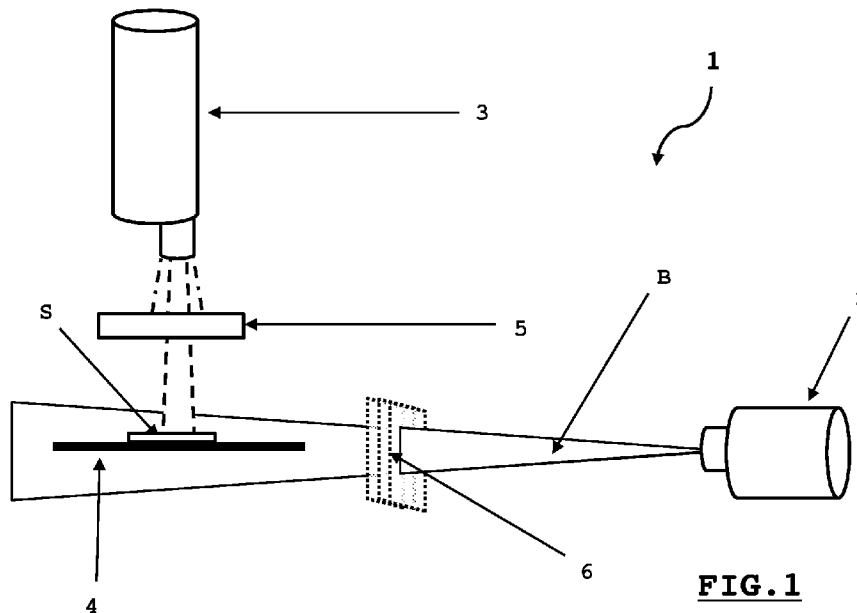


FIG. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method (100) for quantifying a metal of interest among a plurality of materials in a heterogeneous sample (S), said method (100) being implemented by a treatment unit of a system (1) for detecting and quantifying a metal of interest in a heterogeneous sample, characterised in that it comprises a step (140) of estimating the mass quantity (Q_m) of a metal of interest for a unit of volume of the heterogeneous sample (S), based on an item of experimental data (d) describing the material composition of the unit of volume, said experimental data item (d) being produced by means (3) for detecting an electromagnetic wave emitted or transmitted by the unit of volume irradiated by an X-ray source (2). The invention also relates to a system (1) for detecting



WO 2019/135052 A1

SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

- *relative à l'identité de l'inventeur (règle 4.17(i))*
- *relative au droit du déposant de demander et d'obtenir un brevet (règle 4.17(ii))*
- *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17(iii))*

Publiée:

- *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*
- *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))*

and quantifying a metal of interest among a plurality of materials in a heterogeneous sample (S).

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène (S), ledit procédé (100) étant mis en œuvre par une unité de traitement d'un système (1) pour détecter et quantifier un métal d'intérêt au sein d'un échantillon hétérogène, et caractérisé en ce qu'il comporte une étape (140) pour estimer une quantité massique (Q_m) d'un métal d'intérêt pour une unité de volume dudit échantillon hétérogène (S), à partir d'une donnée expérimentale (d) décrivant la composition en matériaux de ladite unité de volume, ladite donnée expérimentale (d) étant produite par des moyens de détection (3) d'une onde électromagnétique émise ou transmise par ladite unité de volume irradiée par une source (2) de rayons X. L'invention concerne en outre un système (1) pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène (S).

**Systeme et procede pour quantifier un metal d'interet
parmi une pluralite de materiaux d'un echantillon
heterogene**

L'invention concerne le domaine des systemes ou dispositifs et procedes de quantification de metaux, eventuellement precieux ou nobles, tels qu'à titre d'exemples non limitatifs, l'or, l'argent, le platine, le
5 cuivre, le zinc, le neodyme, l'etain ou encore le palladium, ou encore d'autres metaux eventuellement qualifiés de strategiques provenant, par exemple, du groupe des terres rares. De tels dispositifs ou systemes sont utilisés pour tous types d'usage et
10 preferentiellement mais non limitativement, en lien avec le recyclage de differents metaux precieux contenus au sein de dechets issus des nouvelles technologies, notamment électroniques, comme par exemple les cartes électroniques integrees, par exemple, au sein de
15 telephones intelligents (egalement connus sous la terminologie anglo-saxonne « *smartphones* »), de tablettes et/ou d'ordinateurs, ou de tous autres dechets pouvant contenir des metaux, tels que l'argenterie, les connecteurs electriques ou électroniques ou encore les
20 cables. De tels dispositifs ou systemes et procedes consistent principalement à caractériser un ou plusieurs dechets, c'est-à-dire à détecter et quantifier les éléments chimiques d'interet et en tirer une analyse de valeur du déchet « à caractériser ».

25 Dans la suite du document, l'invention sera décrite, preferentiellement mais non limitativement, dans le cadre du recyclage des metaux precieux, plus particulierement de l'or, integres au sein de cartes électroniques.

La France, comme de nombreux pays développés, produit chaque année plus de vingt-cinq mille tonnes de cartes électroniques. A l'instar d'une majorité de produits employés dans la vie courante, de telles cartes électroniques ont une durée de vie et/ou d'utilisation limitée. Une fois l'emploi des cartes électroniques terminé, de telles cartes électroniques, plus particulièrement les métaux qui les composent, subissent des traitements de recyclage. Le recyclage s'entend comme tout procédé de traitement, visant à récupérer de la matière première, comme des métaux tels que précédemment mentionnés, au sein de cartes électroniques en fin de vie permettant entre autres de les réintroduire dans le cycle de production d'un ou de plusieurs nouveaux produits. La chaîne de valeur du recyclage des cartes électroniques est actuellement constituée de deux typologies d'acteurs : les collecteurs et les affineurs. Tout d'abord, les collecteurs, également qualifiés d'intermédiaires, ont pour rôle de collecter les déchets électroniques et de les préparer, par exemple en les nettoyant et/ou en les triant, en vue de leur recyclage. Les cartes sont ainsi préparées pour être ensuite vendues aux affineurs. Il existe différentes catégories de collecteurs, classés selon les quantités et/ou produits qu'ils collectent. Les affineurs ont, quant à eux, pour rôle d'extraire desdites cartes électroniques un ou des métaux et de produire, dans une étape finale du processus de recyclage, des lingots de métaux précieux affinés à partir de dizaines de tonnes de cartes électroniques. De tels affineurs, généralement issus des domaines de la sidérurgie, utilisent des procédés industriels basés par exemple sur l'hydrométallurgie, véritables anachronismes environnementaux, puisque de tels

procédés présentent une mauvaise éco conditionnalité de par une énergie consommée importante, la production de gaz à effet de serre, émis suite à la combustion du gaz récupéré à la sortie du gueulard. En France, les cartes électroniques sont rachetées par les affineurs, ces derniers caractérisant et quantifiant les différents métaux, éventuellement précieux, présents au sein desdites cartes électroniques, pendant ou après destruction de ces dernières, en faisant notamment appel à des techniques d'analyse par échantillonnage. L'échantillonnage préalable desdites cartes électroniques entraîne non seulement des quantifications et caractérisations approximatives, puisqu'il peut s'avérer, dans certains cas, difficile d'obtenir des mesures corrélées à une carte électronique particulière suite au traitement de celle-ci. En outre, selon les affineurs, la destruction desdites cartes électroniques peut également entraîner des pertes de matières et/ou de métaux. Par ailleurs, aucun contrôle contradictoire du vendeur n'est possible, ledit vendeur devant alors se fier aux résultats transmis par l'affineur en charge du traitement. Ainsi, la valeur des métaux est déterminée de façon partielle et grossière sans connaître rigoureusement leur quantité exacte, générant des pertes économiques importantes chez tous les acteurs de la filière, notamment les collecteurs et intermédiaires en amont de la chaîne.

Actuellement, pour caractériser et quantifier les métaux précieux, éventuellement au sein des déchets électroniques, les acteurs présents sur le marché emploient des systèmes et procédés destructifs basés sur différentes techniques spectrométriques, telles que, par

exemple, la Spectrométrie à Plasma à couplage inductif (également connue sous les terminologies et abréviations anglo-saxonnes "*Inductively Coupled Plasma - ICP*" et "*Transformed coupled plasma - TCP*") ou encore la Spectrométrie sur plasma induit par laser (également connue sous les terminologies et abréviations anglo-saxonnes "*laser-induced breakdown spectroscopy - LIBS*").

5 Préalablement à de telles analyses, les déchets électroniques sont échantillonnés mécaniquement et transformés en une « pastille échantillon ». La spectrométrie à plasma à couplage inductif consiste en une méthode d'analyse chimique permettant de doser simultanément la pluralité d'éléments présents dans un échantillon. L'échantillon à analyser, sous forme solide

10 ou liquide, est ainsi ionisé en étant injecté dans un plasma d'argon ou, en variante, d'hélium, préférentiellement à hautes températures, entre environ six mille à huit mille degrés Kelvin, et subit alors différents changements d'états : la fusion lorsque l'échantillon est sous forme solide, puis la vaporisation,

20 et enfin l'ionisation. La Spectrométrie sur plasma induit par laser, quant à elle, permet notamment de réaliser une analyse qualitative et quantitative, sur tout type de matériau, de la composition chimique élémentaire ou encore des mesures multi-élémentaires simultanées d'un échantillon, que l'échantillon soit sous forme solide, liquide, de gaz ou encore d'aérosols. Cette technique repose sur l'interaction d'un laser pulsé avec le matériau à analyser, ce qui induit une vaporisation de la matière

30 et une formation d'un plasma. L'analyse du spectre d'émission du rayonnement du plasma permet finalement d'obtenir la composition atomique élémentaire de

l'échantillon. Toutefois, bien que permettant de procéder à des analyses rapides, précises et/ou simultanées d'éléments présents au sein d'un échantillon, tel que par exemple un déchet électronique, de telles technologies s'avèrent actuellement inadaptées à l'application visée de traitement des déchets électroniques, puisque de telles technologies détruisent tout ou partie de l'échantillon à détecter et à quantifier.

10 Un procédé mis en œuvre par les affineurs ou professionnels du secteur, afin d'obtenir des informations quant aux métaux présents dans les déchets électroniques, emploie une succession d'opération, plus particulièrement des étapes d'échantillonnage destructrices des déchets, 15 consistant en, non exhaustivement, des opérations de broyage, éventuellement semi-fin, des opérations de micronisation ou encore des opérations de fusion scorifiante. Aujourd'hui, personne n'est en capacité d'analyser un déchet électronique directement, sans 20 procéder à la destruction de ce dernier. Préalablement à l'analyse, des étapes pour fabriquer un échantillon représentatif, c'est-à-dire des étapes de granulation puis de fabrication d'une pastille, sont mises en œuvre. En outre, les analyses aujourd'hui effectuées produisent des 25 informations relatives à la pureté d'un métal au regard d'autres éléments détectés dans l'échantillon. Par exemple, lors de l'analyse d'un granulé de cuivre, des informations relatives aux proportions des éléments, telles que par exemple 99 % du cuivre, 0,5% de plomb, 0,1 30 % d'argent... seront obtenues. Aucune information relative à la quantité de métal ne sera ainsi fournie.

En effet, recycler et valoriser un déchet électronique nécessite deux prérequis : dans un premier temps, savoir le caractériser, c'est-à-dire en connaître les quantités de matières valorisables telles que par exemple les métaux précieux et, dans un deuxième temps, savoir le traiter. Or, aujourd'hui, aucun acteur dans le monde n'a développé de techniques permettant de détecter et quantifier précisément et rapidement les métaux des déchets électroniques, notamment les cartes électroniques, sans procéder à leur destruction.

D'autres techniques peuvent en lieu et place être employées : les techniques de spectrométrie, également qualifiée de spectroscopie, par fluorescence X (également connue sous les abréviations *SFX* et *FX* et les terminologie et abréviation anglo-saxonnes "*X-ray fluorescence- XRF*") s'avèrent être particulièrement intéressantes pour quantifier les métaux précieux des déchets électroniques, notamment les cartes électroniques, puisque elles sont parmi les seules actuellement à pouvoir permettre des analyses continues et non destructives. Un Rayon X (RX) consiste en un rayonnement électromagnétique constitué de photons dont la longueur d'onde λ est comprise en 10^{-12} et 10^{-8} mètres. En principe, lorsqu'un faisceau de rayons X, généralement issu de radio-isotopes, de tubes à rayons X ou de synchrotrons) irradie un échantillon, ce rayonnement peut être aussi bien dispersé qu'absorbé. Le mécanisme d'effet photoélectrique intervient ensuite, c'est-à-dire qu'un électron d'une couche interne de l'atome est arraché et excité, créant un trou électronique, également qualifié de lacune, au même endroit. Cet état excité de l'atome est

instable, l'atome se désexcitant pour recouvrer un état stable, par mouvement d'un électron externe qui va remplir la lacune. Un tel déplacement électronique est accompagné alors de l'émission d'un rayon X d'énergie égale à la différence d'énergie entre les états de l'électron remplissant la lacune, une telle émission correspondant à la fluorescence X. Le tableau périodique, pour chaque élément, mentionne les niveaux d'énergie seuils qu'il faut fournir pour qu'il y ait fluorescence X en fonction des raies dudit élément. Chaque élément du tableau périodique, dont les métaux précieux tels l'or, l'argent, le platine, le cuivre ou encore le palladium, possédant des niveaux énergétiques propres, les spectres d'émission de rayons X correspondants leur sont propres et les caractérisent. La spectroscopie des rayons X entre 1 et 30 keV permet généralement l'identification de tous les éléments chimiques de numéro atomique compris entre $Z=11$ et $Z=92$, par la détection des raies L de leur spectre de rayons X.

Lorsqu'une matière est bombardée avec des rayons X, la matière réémet de l'énergie sous la forme, entre autres, de rayons X, correspondant à la fluorescence X ou émission secondaire de rayons X. Un spectre des rayons X émis par ladite matière est caractéristique de la composition de l'échantillon à analyser. En analysant un spectre, la composition élémentaire dudit échantillon peut être déduite, une telle composition élémentaire correspondant aux concentrations massiques des éléments composant l'échantillon. En effet, l'intensité des raies caractéristiques détectées et émises par un élément chimique particulier est liée à la concentration dudit élément chimique particulier dans l'échantillon,

permettant ainsi d'obtenir la concentration des éléments chimiques dans ledit échantillon. Toutefois, comme d'ores et déjà mentionné, les analyses actuelles ne permettent pas d'obtenir une quantification directe et précise des
5 éléments indépendamment les uns des autres au sein de l'échantillon.

L'analyse du spectre de rayons X peut être réalisée de différentes manières, telles que non exhaustivement : par
10 analyse dispersive en longueur d'onde (également connue sous les terminologie et abréviation anglo-saxonnes "*wavelength dispersive X-ray fluorescence- WD-XRF*") ou encore par analyse dispersive en énergie (également connue sous les terminologie et abréviation anglo-saxonnes
15 "*energy dispersive X-ray fluorescence- ED-XRF*").

En analyse dispersive en longueur d'onde, la dispersion en longueur d'onde est utilisée pour analyser le spectre de rayons X obtenu. Pour ce faire, on utilise un cristal déterminé et choisi pour l'analyse sur lequel
20 vont diffracter les rayons X émis par l'échantillon. L'intensité du signal est ensuite récupérée selon la déviation du faisceau, une telle déviation permettant alors de déterminer, par la loi de Bragg par exemple, l'énergie du photon émis, également qualifié de rayon X.
25 En analysant tout le spectre de cette façon, l'échantillon est identifiable et quantifiable.

En analyse dispersive en énergie, les rayons X émis par l'échantillon sont captés par un détecteur, le plus souvent un semi-conducteur refroidi, par exemple à l'azote
30 ou par effet Peltier. Les photons ou rayons X provoquent alors des ionisations dans le semi-conducteur, provoquant

des impulsions de courant dont l'intensité est proportionnelle à l'énergie du photon. Il est alors possible de compter les photons ou rayons X incidents en fonction de leurs énergies. Une des principales limites de ces détecteurs est leurs résolutions. Toutefois, Cette méthode présente l'avantage d'être rapide, automatisable et nécessite peu ou pas d'échantillonnage, en plus d'être non destructive pour l'échantillon. Plusieurs méthodes de calibration existent : avec une utilisation d'étalons métalliques, qui est généralement à adapter aux échantillons à analyser, ou avec la méthode FP (acronyme pour Paramètres Fondamentaux), basée sur un algorithme de calcul et de modélisation déterminé. Cette dernière méthode FP présente l'avantage de moins dépendre de la taille de l'échantillon analysé, ou de la qualité de préparation de la surface analysée. Elle présente également une meilleure précision statistique quand la géométrie dudit échantillon est irrégulière, mais cette méthode est plus lourde à mettre en œuvre qu'un simple étalonnage. Il est toutefois possible de calibrer l'appareil avec une méthode FP semi-empirique, c'est-à-dire en utilisant des étalons standards pour confirmer une calibration FP.

25 D'autres méthodes ont été développées et peuvent être employées, selon les applications et les échantillons à analyser en lieu et place des analyses dispersives en longueur d'onde et en énergie. De manière non exhaustive, de telles techniques peuvent être sélectionnées parmi :

30 - XRF par induction de Radiation Synchrotron (également connue sous l'abréviation « SR-

- XRF ») : la SR-XRF utilise comme source d'excitation des rayons Synchrotron, idéaux pour une analyse XRF de haute précision, même dans des matrices complexes puisque la gamme d'énergie utilisable est comprise entre 5 à 80 keV, permettant une détection de presque tous les éléments par mesure de la fluorescence de leur couches K respectives. Cette technique n'est applicable qu'avec une source adéquate, nécessitant un considérable investissement ;
- 5
- 10
- XRF double dispersion (également connue sous l'abréviation « D²XRF ») : dans l'optique d'améliorer la détection du platine dans une matrice d'or, une équipe a mis au point un détecteur basé sur la dispersion d'énergie par une puce pnCCD (pn pour semi-conducteur, CCD pour « *Charge Coupled Device* » selon une terminologie anglo-saxonne ou « Dispositif à transfert de charge » selon une terminologie francophone).
- 15
- 20
- 25
- 30
- Principalement, un faisceau de rayons X issu d'une source Synchrotron atteint et irradie un échantillon, puis les rayons X émis par l'échantillon sont dispersés une première fois, avant de rencontrer un cristal qui disperse le rayonnement, puis émis une seconde fois vers un détecteur ;
- Microscopie à balayage électronique couplée à la ED-XRF (également connue sous l'abréviation « SEM-EDX ») : la Microscopie à balayage électronique (« SEM pour Scanning Electron Microscopy » selon des abréviation et

terminologie anglo-saxonnes) couplée à la ED-XRF a été utilisée pour l'étude de pièces d'argent. Cette technique fournit une image détaillée à haute résolution de la surface d'un échantillon analysé, en plus de l'identification et de la quantification qu'offre la ED-XRF. La SEM permet d'obtenir des images à une échelle inférieure au micron (x50 000). Elle peut donc fournir des informations sur la façon dont a été manufacturée un objet ou sur la morphologie de sa surface ;

- PIXE (également connue sous la terminologie anglo-saxonne « Particle-Induced X-ray Emission ») et μ -PIXE : les sondes nucléaires PIXE (également connue sous la terminologie francophone « Emission de RX induite par particules ») produisent des faisceaux de protons accélérés à plusieurs MeV. Le principe d'émission de rayons X par fluorescence est le même que pour la XRF, mais cette fois-ci, ce sont les protons au lieu des électrons qui sont accélérées.

Bien que proposant des solutions pour détecter des éléments compris au sein de tout ou parties des cartes électroniques et/ou évaluer la concentration desdits éléments, les solutions d'ores et déjà connues présentent toutefois un certain nombre d'inconvénients, relatifs notamment à la détection et à la quantification. En effet, caractériser la présence de métaux précieux ne consiste pas seulement à connaître de quels métaux la carte est composée, mais également à connaître la masse précise de chacun des métaux qui la composent, correspondant à une

quantification desdits métaux. Aujourd'hui, aucun industriel ne sait quantifier, par spectrométrie à fluorescence X, les métaux précieux au sein de cartes électroniques. Certes, des technologies par spectrométrie de masse existent et fonctionnent pour détecter un ou plusieurs métaux, mais de telles technologies emploient des méthodes destructives des métaux caractérisés, ne permettant pas ensuite de valoriser les métaux précieux détectés. Comme d'ores et déjà présenté, l'intensité des raies caractéristiques détectées émises par un élément, tel que l'or, est liée à sa concentration dans l'échantillon, permettant ainsi la détermination de la concentration desdits éléments dans l'échantillon, notamment lorsque les éléments sont distribués de façon homogène dans le volume analysé au sein de l'échantillon et/ou lorsque le volume analysé est représentatif de l'échantillon dans sa globalité. Or, les principales cartes électroniques, ou plus généralement les déchets électroniques ne répondent pas à de tels critères. En effet, de telles cartes électroniques sont généralement composées de volumes hétérogènes. Lesdites cartes électroniques peuvent être effectivement composées de différents métaux, tels que non limitativement, l'or, le cuivre, l'argent ou encore le palladium, et éventuellement d'autres matériaux tels que des plastiques. Lors de la détection par spectrométrie à fluorescence X, chaque métal est excité par les rayons X, et émet, selon sa nature, une ou plusieurs raies d'émission. Chaque métal possède ses propres caractéristiques physiques et répond donc différemment à l'excitation par rayons X. Avec les solutions connues, l'absorption des émissions des autres métaux n'est pas toujours prise en considération et/ou est

atténuée. En outre, les raies d'émission peuvent éventuellement se chevaucher dans un spectre de rayons X. Les données ainsi obtenues sont donc peu fiables.

Par ailleurs, comme d'ores et déjà mentionnés, il n'existe pas à l'heure actuelle de dispositifs ou systèmes permettant une quantification, quand bien même approximative, des métaux précieux au sein de déchets électroniques. En outre, lors de l'excitation par rayon X, chaque métal émet une énergie pouvant pour tout ou partie être absorbée par d'éventuels métaux voisins, créant alors un bruit, ledit bruit venant ainsi parasiter le signal de mesure de l'énergie émise et son interprétation.

L'invention permet de répondre à tout ou partie des inconvénients soulevés par les solutions connues.

Parmi les nombreux avantages apportés par l'invention, nous pouvons mentionner que celle-ci :

- offre des dispositifs ou systèmes et procédés de caractérisation de métaux présents au sein de cartes électroniques, permettant de quantifier de façon non destructive, fiable, précise, directe et rapide, d'un ou plusieurs métaux présents au sein desdites cartes électroniques tout en préservant l'intégrité de ces dernières avant traitement ;
- propose des systèmes et des procédés d'analyse s'adaptant à un grand nombre de collecteurs et/ou d'intermédiaires, selon les besoins, les quantités et/ou les types de métaux précieux à détecter, quantifier et/ou récupérer.

Selon un premier objet, il est notamment prévu un procédé pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène, ledit procédé étant mis en œuvre par une unité de traitement

5 d'un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt au sein d'un échantillon hétérogène. Pour permettre d'identifier et de quantifier un métal d'intérêt, éventuellement précieux, au sein d'un échantillon hétérogène, de façon non destructive, fiable, précise,

10 directe et rapide, un tel procédé comporte une étape pour estimer une quantité massique d'un métal d'intérêt pour une unité de volume dudit échantillon hétérogène, à partir d'une donnée expérimentale décrivant la composition en matériaux de ladite unité de volume, ladite donnée

15 expérimentale étant produite par des moyens de détection d'une onde électromagnétique émise ou transmise par ladite unité de volume irradiée par une source de rayons X, ladite étape pour estimer une quantité massique d'un métal d'intérêt consistant à convertir la donnée expérimentale

20 en quantité massique d'un métal d'intérêt pour une unité de volume.

De manière avantageuse mais non limitative, pour permettre la quantification d'un métal d'intérêt dans la totalité d'un échantillon hétérogène, un procédé pour

25 quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention peut être mis en œuvre par itérations successives pour une pluralité d'unités de volumes considérés.

Pour permettre une estimation rapide et particulièrement efficace d'une quantité massique d'un

30 métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène, un procédé pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention peut comporter une

étape pour déclencher la production d'une donnée expérimentale par les moyens de détection.

Selon un mode de réalisation avantageux mais non
5 limitatif, pour assurer un positionnement optimal de
l'échantillon hétérogène au regard de la source de rayons
X et des moyens de détection, lorsqu'un système pour
détecter et quantifier un métal d'intérêt comporte des
moyens supports de l'échantillon hétérogène et un premier
10 actionneur agencé pour provoquer un déplacement des moyens
supports, ledit procédé pour quantifier un métal d'intérêt
conforme à l'invention peut comporter une étape pour
piloter le premier actionneur, de sorte à provoquer un
déplacement de l'échantillon hétérogène au regard des
15 moyens de détection.

En variante ou en complément, toujours pour assurer
un positionnement optimal de l'échantillon hétérogène au
regard de la source de rayons X et des moyens de détection,
lorsqu'un système pour détecter et quantifier un métal
20 d'intérêt comporte les moyens de détection et un deuxième
actionneur agencé pour provoquer un déplacement des moyens
de détection, un procédé pour quantifier un métal d'intérêt
conforme à l'invention peut comporter une étape pour
piloter le deuxième actionneur, de sorte à provoquer un
25 déplacement des moyens de détection au regard de
l'échantillon hétérogène.

Selon un premier mode de réalisation de l'étape pour
estimer la quantité massique d'un métal d'intérêt d'un
procédé pour quantifier un métal d'intérêt conforme à
30 l'invention, en fonction de la technologie à exploiter,
que celle-ci soit basée sur la fluorescence X ou l'imagerie
par transmission de rayons X, éventuellement la

tomographie par rayons X, l'étape pour estimer une quantité
massique d'un métal d'intérêt peut consister en une
estimation réalisée par un réseau neuronal convolutif de
l'unité de traitement dudit système. Un tel procédé pour
5 quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention peut
alors comporter une étape préalable d'apprentissage dudit
réseau neuronal convolutif.

En variante, selon un deuxième mode de réalisation de
l'étape pour estimer la quantité massique d'un métal
10 d'intérêt d'un procédé pour quantifier un métal d'intérêt
conforme à l'invention, en fonction de la technologie à
exploiter, que celle-ci soit basée sur la fluorescence X
ou l'imagerie par transmission de rayons X, éventuellement
la tomographie par rayons X, l'étape pour estimer une
15 quantité massique d'un métal d'intérêt peut consister en
l'exploitation conjointe de la donnée expérimentale et de
données expérimentales tierces décrivant les compositions
en matériaux d'une pluralité d'échantillons étalons.

Avantageusement mais non limitativement, pour délivrer
20 la quantité massique de manière intelligible à un opérateur
ou utilisateur d'un système pour détecter et quantifier un
métal d'intérêt, un procédé pour quantifier un métal
d'intérêt conforme à l'invention peut comporter une étape
pour délivrer la quantité massique d'un métal d'intérêt
25 estimée à une interface homme-machine de sortie apte à la
délivrer à un utilisateur.

Selon un deuxième objet, l'invention concerne un
produit programme d'ordinateur comportant des instructions
30 de programme exploitables par un ordinateur, qui,
lorsqu'elles sont exécutées ou interprétées par une unité
de traitement dudit ordinateur, provoquent la mise en œuvre

d'un procédé pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène conforme à l'invention.

5 Selon un troisième objet, l'invention concerne en outre un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène comprenant une source à rayons X agencée pour irradier tout ou partie de l'échantillon
10 hétérogène, des moyens de détection agencés pour produire une donnée expérimentale, des moyens supports dudit échantillon, des premier et deuxième actionneurs, une unité de traitement, une mémoire de données, une mémoire de programmes, une interface homme-machine de sortie. Pour
15 permettre la quantification d'un métal d'intérêt au sein d'un échantillon hétérogène, de façon non destructive, fiable, précise, directe et rapide, les instructions de programme d'un produit programme d'ordinateur selon l'invention sont inscrites dans la mémoire de programmes
20 dudit système.

 Selon un mode de réalisation avantageux mais non limitatif, l'unité de traitement, la mémoire de données et/ou la mémoire de programmes d'un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention
25 peut consister en des moyens électroniques d'un objet électronique, un tel objet électronique pouvant consister en un ordinateur personnel ou industriel.

30 D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit et

à l'examen des figures qui l'accompagnent parmi lesquelles :

- 5 - la figure 1 présente un premier exemple non limitatif d'une architecture structurelle d'un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène, conforme à l'invention ;
- 10 - la figure 2 illustre un deuxième exemple non limitatif d'une architecture structurelle d'un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène, conforme à l'invention ;
- 15 - la figure 3 présente un organigramme d'un exemple de réalisation non limitatif d'un procédé pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène, conforme à l'invention.

L'invention concerne un système pour détecter et
20 quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène, tel que, à titre d'exemple non limitatif, un déchet électronique, plus particulièrement une carte électronique. En effet, une telle carte électronique est généralement composée de
25 volumes hétérogènes. Lesdites cartes électroniques peuvent être effectivement composées de différents métaux, tels que non limitativement, l'or, le cuivre, l'argent ou encore le palladium, et éventuellement d'autres matériaux tels que des plastiques. L'invention sera décrite au travers
30 d'une application préférée mais non limitative en lien avec la caractérisation et la quantification de l'or au sein d'une carte électronique. Toutefois, l'invention ne

saurait être limitée à ce seul exemple d'application. L'invention pourra ainsi être transposée à la détection et à la quantification non destructives de tout autre métal noble, tel que non limitativement, le platine, l'argent, le palladium, le tantale, le cuivre, le zinc, le néodyme, l'étain, ou encore de différents métaux, provenant par exemple du groupe des lanthanides ou du groupe des terres rares, ou encore des métaux stratégiques, considérés comme indispensables pour les technologies de l'industrie de pointe verte ou encore de l'high-tech. En variante, l'invention pourra ainsi être transposée à la détection et à la quantification non destructives simultanées d'une pluralité de métaux d'intérêt, tels que, non limitativement un alliage de métaux d'intérêt, comme par exemple le coltan (également connu sous la dénomination « colombite-tantalite »).

Un tel système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène est avantageusement adapté ou agencé pour exploiter, conjointement ou séparément, des technologies d'analyse en lien avec la spectrométrie à fluorescence X ou en lien avec l'imagerie de transmission, plus particulièrement la tomographie à rayons X.

Pour rappel, un rayon X (RX) consiste en un rayonnement électromagnétique constitué de photons dont la longueur d'onde λ est comprise en 10^{-12} et 10^{-8} mètres et émis une source de rayons X. En principe, lorsqu'un faisceau de rayons X, généralement issu de radio-isotopes, de tubes à rayons X ou de synchrotrons, ou plus généralement d'une source de rayons X, irradie un échantillon, ce rayonnement peut être aussi bien dispersé qu'absorbé. Le mécanisme

d'effet photoélectrique intervient ensuite, c'est-à-dire qu'un électron d'une couche interne de l'atome est arraché et excité, créant un trou électronique, également qualifié de lacune, au même endroit. Cet état excité de l'atome est instable, l'atome se désexcitant pour recouvrer un état stable, par mouvement d'un électron externe qui va remplir la lacune. Un tel déplacement électronique est accompagné alors de l'émission d'un rayon X d'énergie égale à la différence d'énergie entre les états de l'électron remplissant la lacune, une telle émission correspondant à la fluorescence X.

En variante, l'invention prévoit qu'un système conforme à l'invention puisse exploiter des technologies d'imageries de transmission. L'imagerie de transmission par rayons X (également qualifiée d'imagerie par transmission de rayons X) se base sur l'exploitation de l'absorption d'un faisceau de photons dans la gamme des rayons X par un objet ou un échantillon, autrement dit sur l'exploitation de la transmission des rayons X au travers des matériaux composant dudit objet ou dudit échantillon. La transmission consiste en une propriété d'un ou plusieurs matériaux, plus particulièrement un métal d'intérêt, compris au sein d'un échantillon ou d'un objet, de laisser passer une ou plusieurs ondes électromagnétiques dans la gamme des rayons X. L'imagerie de transmission par rayons X consiste à balayer un échantillon ou un objet de faisceau de rayons X et à obtenir une image en deux dimensions, en fonction de niveaux d'énergie, ladite image étant produite en niveaux de gris, lesdits niveaux de gris correspondant aux atténuations respectives d'un faisceau de rayons X, ou plus généralement les niveaux d'absorption des rayons X

par les différents matériaux composant l'objet ou l'échantillon à analyser.

Plus particulièrement, la tomographie par rayons X (RX) est une technique d'imagerie par transmission non destructive, inventée en 1972 par Godfrey N. Hounsfield. Elle permet notamment d'obtenir une description en trois dimensions (3D) des structures internes d'un objet ou d'un échantillon, éventuellement hétérogène, à partir d'une série, c'est-à-dire une pluralité, de l'ordre de cinq cents à trois mille, d'images ou radiographies en deux dimensions. Une radiographie conventionnelle consiste en une image en deux dimensions, produites en niveaux de gris, lesdits niveaux de gris correspondant aux atténuations respectives d'un faisceau de rayons X, ou plus généralement les niveaux d'absorption des rayons X par les différents matériaux composant l'objet ou l'échantillon à analyser. Les rayons X pénètrent la matière et forment une image par transmission. Comme d'ores et déjà mentionné, la tomographie par rayons X, ou plus généralement l'imagerie par transmission, se base sur l'exploitation de l'absorption d'un faisceau de photons dans la gamme des rayons X par un objet ou un échantillon, autrement dit sur l'exploitation de la transmission des rayons X au travers des matériaux composant dudit objet ou dudit échantillon. L'absorption des rayons X dépend généralement de l'épaisseur, de la densité et de la composition chimique des différentes parties de l'objet ou de l'échantillon traversées. Lors de l'analyse d'un échantillon ou d'un objet par imagerie par transmission de rayons X, éventuellement tomographie par rayons X, l'objet ou l'échantillon est avantageusement positionné sur des moyens supports, sous la forme par exemple d'un porte-

échantillon rotatif, de tels moyens supports étant généralement placés entre la source de rayons X et des moyens de détection. Afin de réaliser l'analyse, l'objet ou l'échantillon est ensuite mis en rotation par le biais du porte-échantillon. Les moyens de détection procèdent alors à l'acquisition d'une image de radiographie en deux dimensions pour chaque angle de rotation. Selon le cadre d'application, la tomographie par rayons X pourra être avantageusement totale ou partielle. Lorsque la tomographie par rayons X est exploitée pour reconstruire totalement le volume d'un objet ou échantillon en trois dimensions, la qualité de la reconstruction sera d'autant plus élevée que l'intervalle balayé sera important, idéalement entre -90° et $+90^\circ$, et que l'angle d'incrémentation, c'est-à-dire l'angle de rotation entre chaque image acquise, sera faible. La tomographie partielle par rayons X est mise en œuvre lorsque, seules quelques images à angles différents sont acquises, de sorte à pouvoir procéder à une analyse de profondeur de l'échantillon, sans pour autant effectuer des acquisitions d'une rotation complète de l'échantillon.

Les figures 1 et 2 illustrent des premier et deuxième exemples non limitatifs d'architectures structurelles respectives d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène, sous la forme d'un déchet électronique, conforme à l'invention, respectivement basé sur l'exploitation de technologies basées sur la fluorescence X et sur l'imagerie de transmission par rayons X, éventuellement la tomographie par rayons X.

Un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un déchet électronique ou plus généralement d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention, également qualifié de système 1 pour caractériser un déchet électronique, comporte tout d'abord une source 2 de rayons X, une telle source étant adaptée pour produire un faisceau B de rayons X et ainsi irradier tout ou partie de l'échantillon hétérogène S ou du déchet électronique. Préférentiellement mais non limitativement, dans le cadre de l'application préférée mais non limitative en lien avec la caractérisation de l'or, une telle source 2 peut être agencée pour émettre une énergie d'au moins quatre-vingt-un (81) keV, une telle énergie étant particulièrement adaptée pour détecter la raie $K\alpha$ de l'or selon une technique de fluorescence X. Par ailleurs, en variante ou en complément, ladite source 2 dudit système 1 peut être configurée de sorte que le faisceau B de rayons X émis présente une forme de divergence latérale sensiblement égale à 60° et de divergence longitudinale sensiblement égale à 3° . A titre d'exemple non limitatif, une telle source 2 de rayons X peut avantageusement consister en un générateur de rayons X, sous la forme d'un assemblage de tubes à rayons X. L'invention ne saurait toutefois être limitée à ces seuls exemples de réalisation et pourrait, en variante ou en complément, présenter un tout autre agencement pour irradier une raie d'intérêt d'un métal à analyser au sein d'un échantillon hétérogène. En outre, l'invention prévoit qu'une pluralité de sources 2 puissent être conjointement présentes et employées au sein d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon

hétérogène, de mêmes énergies ou éventuellement d'énergies distinctes, afin qu'un système 1 conforme à l'invention puisse permettre la caractérisation et la quantification simultanées de différents métaux précieux présents au sein d'un même échantillon hétérogène. A minima, une telle source doit être suffisamment ionisante pour atteindre l'énergie seuil des rayons X, également qualifiée d'énergie d'activation, afin que des méthodes d'analyse basées sur des technologies en lien avec la fluorescence X ou l'imagerie par transmission de rayons X, éventuellement la tomographie à rayons X puissent être exploitées, après acquisition.

A l'heure actuelle, comme d'ores et déjà mentionné, il est impossible d'obtenir une quantification de métaux précieux précise, puisque le bruit engendré par les réactions concomitantes de différents métaux à une même excitation n'est actuellement ni maîtrisé ni atténué suffisamment. Aujourd'hui, cette tâche est complexe, car aucune application n'a encore été développée pour des produits aussi hétérogènes que des cartes ou composants électroniques. L'invention prévoit ainsi que, selon le métal précieux à analyser, la puissance de la source 2 de rayons X puisse être automatiquement augmentée et ce afin de réduire proportionnellement l'importance du bruit dans le signal réémis.

Selon le métal précieux d'intérêt et/ou la structure de l'échantillon hétérogène, sous la forme préférée mais non limitative d'une carte électronique, à analyser, plus précisément la localisation dudit métal au sein de ladite carte électronique, il peut être nécessaire de procéder à un déplacement de la source 2 de rayons X d'un système 1 conforme à l'invention, afin notamment de détecter et

quantifier de manière optimale ledit métal. Pour ce faire, selon un exemple de réalisation non limitatif d'un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène conforme à l'invention, ce dernier peut avantageusement comprendre des moyens de déplacement de ladite source 2 (non représentés sur les figures 1 et 2 à des fins de simplification), comprenant ou coopérant avec un actionneur, permettant alors l'orientation, plus particulièrement l'angle d'incidence, du faisceau B de rayons X émis par la source 2 au regard de l'échantillon hétérogène S à analyser. A titre d'exemples non limitatifs, de tels moyens de déplacement de la source 2 peuvent comprendre un axe rotatif, avantageusement agencé pour modifier l'angle d'incidence du faisceau B de rayons X émis par la source 2. L'invention ne saurait toutefois être limitée à cette seule structure de moyens de déplacement de la source 2. Tout élément apte à réaliser une fonction sensiblement similaire afin de modifier l'angle d'incidence du faisceau pourrait être employé en lieu et place dudit axe rotatif.

Pour assurer un positionnement optimal de l'échantillon hétérogène, notamment du déchet électronique à analyser, plus particulièrement d'une carte électronique, un système 1 pour détecter et quantifier un métal précieux au sein dudit déchet électronique conforme à l'invention peut comporter des moyens supports 4, agencés pour supporter et/ou pour maintenir solidairement le déchet électronique à analyser au regard de la source et/ou de moyens de détection. Selon un exemple de réalisation non limitatif d'un système pour caractériser et quantifier

un métal précieux conforme à l'invention, de tels moyens supports peuvent en outre comporter ou coopérer avec un axe de rotation, permettant avantageusement de positionner le déchet électronique au regard de l'angle d'incidence du faisceau émis par la source. De tels moyens supports peuvent également, en variante ou en complément, comporter une pince, agencé pour serrer et maintenir dans une position déterminée l'échantillon à analyser. En variante, conformément à des premiers et deuxièmes exemples de réalisation d'un système pour caractériser et quantifier un métal précieux conforme à l'invention, décrits notamment et respectivement en lien avec les figures 1 et 2, de tels moyens supports peuvent comporter un plateau 4. L'invention ne saurait toutefois être limitée à ces seuls structures et/ou agencements de moyens supports. Tout élément apte à assurer une fonction sensiblement similaire pourrait être employé.

En variante ou en complément, l'invention prévoit que les moyens supports 4 d'un système pour caractériser et quantifier un métal précieux conforme à l'invention, puissent eux-mêmes coopérer avec des moyens de déplacement, comportant ou coopérant avec un premier actionneur, afin de mouvoir directement l'échantillon hétérogène S à analyser, en translation et ou en rotation. En variante, l'invention prévoit que de tels moyens supports et moyens de déplacement puissent consister en une seule et même entité physique. Selon la figure 2, le plateau 4 des moyens supports d'un échantillon hétérogène SS peut être avantageusement être monté rotatif, de sorte que la source de rayons X puisse irradier à 360° l'échantillon hétérogène, plus particulièrement la carte électronique, à analyser. En variante (non représentée sur

les figures à des fins de simplification), lorsque des moyens de détection, présentés ultérieurement, comportent une pluralité de détecteurs ou capteurs, de tels moyens de déplacement peuvent être agencés pour mouvoir en translation ledit échantillon hétérogène. L'invention ne saurait toutefois être limitée à ces seuls structures et/ou agencements de moyens de déplacement. Tout élément apte à assurer une fonction sensiblement similaire pourrait être employé.

10

Comme d'ores et déjà mentionné, l'un des buts de l'invention est de détecter et quantifier un métal précieux au sein d'un déchet électronique, plus précisément, selon une application préférée mais non limitative, l'or au sein d'une carte électronique. Pour ce faire, un système 1 pour détecter et quantifier un métal précieux au sein d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention comporte des moyens de détection 3 adaptés ou agencés en fonction du métal précieux d'intérêt et/ou du déchet électronique à analyser, ou encore de la technologie exploitée en lien avec l'application visée. De tels moyens de détection 3 sont avantageusement agencés pour produire une ou plusieurs données expérimentales à partir d'une ou plusieurs ondes électromagnétiques émises ou transmises par l'échantillon hétérogène S irradié par une source de rayons X. Selon la technologie exploitée, que celle-ci consiste en de la fluorescence X ou de l'imagerie de transmission par rayons X, plus particulièrement la tomographie par rayons X, et/ou la structure et/ou l'agencement des moyens de détection, la nature et les informations liées à une ou de telles données expérimentales pourront être différentes. Ainsi, selon la

30

technologie exploitée, une donnée expérimentale, dans le cas de l'imagerie par transmission de rayons X ou plus particulièrement de la tomographie, pourra consister en un pixel d'une représentation numérique matricielle, traduisant une intensité lumineuse proportionnelle à la quantité de rayonnement transmis par une unité de volume de l'échantillon hétérogène. En variante, dans le cas de la fluorescence X, ladite donnée expérimentale associée à une telle unité de volume pourra décrire un spectre décrivant l'amplitude des ondes électromagnétiques émises à nouveau sous la forme de raies par l'échantillon pour un nombre de métaux donnés, soit pour des longueurs d'ondes données.

A titre d'exemples non limitatifs, les moyens de détection 3 d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention peuvent comprendre, cumulativement ou séparément :

- un ou plusieurs capteurs de caractérisation, agencés pour lire des informations relatives aux raies $K\alpha$ et/ou $K\beta$ du spectre d'énergie du métal à quantifier ;
- un ou plusieurs capteurs de détection, agencés pour lire des informations relatives aux raies $L\alpha$ et/ou $L\beta$ du spectre d'énergie du métal à détecter.

L'invention ne saurait être limitée aux types, agencements et/ou nombre de capteurs présents au sein d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention. Un tel système 1 conforme à l'invention et exploitant la fluorescence X comprend au minimum un capteur agencé pour lire une raie

caractéristique du spectre d'énergie du métal d'intérêt. Préférentiellement mais non limitativement, une telle raie caractéristique consistera en la raie $K\alpha$ du métal à quantifier.

5 A titre d'exemples non limitatifs, lorsqu'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S exploite une technologie basée sur la fluorescence X, les moyens de détection 3 dudit système 1 peuvent comprendre
10 un capteur ou détecteur à rayons X et à diode Cadmium-Telluride (également connu sous la terminologie anglo-saxonne « CdTe-EDX detector »). Un tel capteur ou détecteur à rayons X et à diode Cadmium-Telluride peut comprendre un détecteur à rayons X thermo électriquement
15 refroidi et un pré-amplificateur employant une diode à Cadmium-Telluride (CdTe). En variante ou en complément, les moyens de détection 3 dudit système 1 peuvent comprendre un ou plusieurs tubes compteurs à filtre à platine.

20 En variante, les moyens de détection 3 d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention peuvent comprendre un ou plusieurs capteurs matriciels et/ou linéaires, les capteurs pouvant
25 être agencés linéairement. Un tel capteur matriciel permet de délivrer in fine une ou plusieurs images relatives à une ou plusieurs unités de volume de l'échantillon hétérogène. En l'espèce, ledit capteur matriciel délivre une représentation numérique s'apparentant à une matrice
30 où chaque élément est associé à un pixel, décrivant ou traduisant une intensité lumineuse proportionnelle à la quantité de rayonnement de rayons X transmis par une unité

de volume de l'échantillon hétérogène. Aussi, un tel capteur matriciel peut s'appuyer sur des modalités d'imagerie par transmission qui peut éventuellement allier le principe de la tomographie par rayon X, et de l'utilisation de plusieurs niveaux d'énergies, permettant in fine de pouvoir identifier la composition de l'échantillon hétérogène S et plus particulièrement la quantité d'un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux dudit échantillon hétérogène. A titre d'exemples non limitatifs, un tel capteur matriciel peut consister en une caméra RX à résolution spectrale ou un détecteur à pixels de photons.

L'invention ne saurait toutefois être limitée à ces seuls exemples de réalisation et pourrait en variante ou en complément présenter tout autre agencement de moyens de détection. En outre, l'invention prévoit qu'une pluralité de capteurs puisse être employée, lesdits capteurs pouvant être identiques ou différents, afin qu'un système conforme à l'invention puisse caractériser et quantifier simultanément différents métaux d'intérêt. Selon un exemple de réalisation non limitatifs, lesdits moyens de détection peuvent comprendre trois capteurs placés de manière tridimensionnelle, afin d'augmenter la résolution et de diminuer le bruit de mesure.

Selon le métal précieux d'intérêt et/ou la structure de la carte électronique à analyser, plus précisément la localisation dudit métal au sein de ladite carte électronique, il peut être nécessaire de procéder à un déplacement des moyens de détection 3 d'un système 1 conforme à l'invention, afin notamment de détecter et quantifier de manière optimale ledit métal. Pour ce faire, selon un exemple de réalisation non limitatif d'un système

1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention, ce dernier peut avantageusement comprendre des moyens de déplacement (non représentés sur
5 les figures à des fins de simplification) desdits moyens de détection 3, de tels moyens de déplacement comprenant ou coopérant avec un deuxième actionneur. Selon un exemple de réalisation non limitatif d'un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de
10 matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention, de tels moyens de déplacement desdits moyens de détection, comprenant un ou plusieurs capteurs, peuvent comprendre un rail vertical coopérant de manière solidaire avec le ou les capteurs, avantageusement agencé pour
15 modifier la hauteur des capteurs au regard des moyens supports. En variante ou en complément, de tels moyens de déplacement desdits moyens de détection peuvent comprendre un axe rotatif coopérant de manière solidaire avec les moyens de détection, de sorte à modifier l'angle de mesure
20 desdits moyens de détection. L'invention ne saurait toutefois être limitée à ce seul agencement et/ou cette seule structure de moyens de déplacement des moyens de détection. Tout élément apte à réaliser une fonction sensiblement similaire pourrait être employé en lieu et
25 place dudit rail vertical. En variante ou en complément, de tels moyens de déplacement desdits moyens de détection peuvent éventuellement comprendre un rail horizontal, afin d'analyser une pluralité de cartes électroniques, ou plus largement d'échantillons hétérogènes, insérés au sein
30 dudit système. Également, selon une autre variante (non représentée à des fins de simplification) de réalisation d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal

d'intérêt conforme à l'invention, l'invention prévoit que lesdits moyens de détection 3 et moyens de déplacement dudit système 1 puissent consister en une seule et même entité physique.

5

L'invention prévoit par ailleurs qu'un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention puisse comprendre d'autres
10 accessoires, tels que présentés non exhaustivement dans la suite du document.

Généralement, une source 2 de rayons X d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S
15 conforme à l'invention est agencé pour produire un faisceau B de rayons X à un niveau d'énergie déterminé. Selon le métal d'intérêt, dans le cas où la technologie exploitée consiste en la fluorescence X notamment, la donnée expérimentale produite par les moyens de détection
20 consiste en spectre décrivant l'amplitude des ondes électromagnétiques émises à nouveau sous la forme de raies par l'échantillon S. Un tel spectre peut éventuellement comporter des raies correspondant à un des matériaux de l'échantillon hétérogène S que l'on ne souhaite pas
25 détecter et quantifier, de telles raies venant alors réduire la qualité du signal, en bruitant le spectre ou en saturant celui-ci dans le cas où l'un desdits matériaux de moindre intérêt est particulièrement présent. Selon la figure 1, un système 1 pour détecter et quantifier un métal
30 d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S peut avantageusement comprendre un ou plusieurs filtres 6, positionnées entre la source 2

de rayons X et l'échantillon hétérogène S à analyser, de sorte à atténuer les éventuels bruits induits des raies pertinentes, qui auraient été atténuées par la présence de raies parasites en l'absence de tels filtres, lesdites
5 raies pertinentes étant alors discriminées, améliorant ainsi le signal relatif à la donnée expérimentale produite par les moyens de détection 3. A titre d'exemples non limitatifs, de tels filtres 6 peuvent comprendre une ou plusieurs plaques de cuivre ou d'aluminium de différentes
10 épaisseurs. L'invention ne saurait être limitée à ces seuls exemples de structures et/ou de composition de filtres 6.

Également, pour améliorer la qualité et la résolution de la donnée expérimentale produite par les moyens de détection 3 d'un système 1 pour détecter et quantifier un
15 métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention, ledit système 1 peut avantageusement comporter des moyens de collimation ou un collimateur 5 du champ capturable par lesdits moyens de détection 3, de sorte que les moyens de
20 détection puissent détecter une unité de volume déterminée. A titre d'exemples non limitatifs, un tel collimateur 5 peut avantageusement mais non limitativement comprendre une ou plusieurs lentilles convergentes.

En variante ou en complément, selon la nature ou la
25 composition du ou des échantillons hétérogènes, en fonction également de l'application visée, il peut être avantageux d'adapter le système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S en conséquence.
30 Pour ce faire, l'invention prévoit que la source 2 et/ou les moyens de détection 3 dudit système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de

matériaux d'un échantillon hétérogène S puissent
avantageusement être des éléments modulaires et/ou
amovibles, lesdits éléments étant avantageusement agencés
et/ou sélectionnés suivant le matériau que l'on souhaite
5 détecter.

Par ailleurs, un système pour détecter et quantifier
un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un
échantillon hétérogène S conforme à l'invention peut
avantageusement être compact et agencé pour traiter de
10 faibles quantités de cartes électroniques, celles-ci étant
analysées l'une après l'autre. En variante ou en
complément, l'invention prévoit qu'un tel système puisse
être agencé pour traiter des lots de cartes électroniques,
celles-ci étant analysées concomitamment.

15 En outre, afin de répondre à certaines normes en
matière de sécurité et de préserver un ou plusieurs
opérateurs d'un système pour détecter et quantifier un
métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un
échantillon hétérogène S conforme à l'invention, ce
20 dernier peut comprendre également une enveloppe,
enceignant les différents éléments précédemment cités
dudit système. L'invention prévoit notamment qu'une telle
enveloppe est avantageusement agencée pour répondre aux
exigences en matière de sécurité, notamment en lien avec
25 les technologies basées sur l'exploitation d'une source à
rayons X, afin de préserver l'intégrité d'un opérateur
humain.

Par ailleurs, comme d'ores et déjà mentionné, selon
les applications, de nombreux lots de cartes électroniques
30 peuvent être à analyser. Il peut être ainsi relativement
fastidieux, pour un opérateur d'un système pour détecter
et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de

matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention de placer chaque carte électronique à analyser ou plus généralement échantillon hétérogène, l'un après l'autre dans ledit système. Afin de pallier un tel
5 inconvénient, un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention peut comprendre des moyens d'acheminement d'une pluralité de déchets ou cartes électroniques, de tels moyens
10 d'acheminement coopérant de manière solidaire avec les moyens supports du système précédemment mentionnés. En variante, l'invention prévoit que lesdits moyens d'acheminement et moyens supports puissent être confondus et ne former qu'une seule et même entité physique. Selon
15 un exemple de réalisation non limitatif d'un système pour détecter et quantifier un métal précieux conforme à l'invention (non représenté à des fins de simplifications), de tels moyens d'acheminement peuvent comprendre un convoyeur, avantageusement agencé pour
20 positionner le déchet ou la carte électronique à analyser relativement à la source et/ou aux moyens de détection d'un système conforme à l'invention de manière optimale et maintenir ledit déchet ou ladite carte électronique dans cette position durant le temps nécessaire à son analyse.
25 L'invention ne saurait toutefois être limitée à cette seule structure de moyens d'acheminement de déchets ou de cartes électroniques. Tout élément apte à réaliser une fonction sensiblement similaire pourrait être employé en lieu et place dudit convoyeur.

30

Selon un exemple de réalisation avantageux mais non limitatif, un système pour détecter et quantifier un métal

d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène, tel que par exemple au sein d'un déchet électronique, conforme à l'invention, plus particulièrement pour caractériser et/ou quantifier l'or au sein d'une carte électronique, peut être avantageusement conçu de manière modulaire, notamment selon les fonctionnalités que le système cherche à remplir, comme par exemple, non exhaustivement :

- 10 - une analyse estimative : une telle analyse consiste à estimer si une carte électronique et/ou un lot de cartes électroniques sont faiblement, moyennement ou fortement concentré en or, sans pour autant quantifier précisément la concentration en or dans la ou lesdites cartes.
- 15 - une caractérisation complète : une telle caractérisation consiste à estimer une valeur et/ou une quantification approximatives, voire dans certains cas relativement exactes, de l'or au sein d'une carte électronique.

20 Pour ce faire, un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène conforme à l'invention, plus particulièrement pour quantifier l'or d'un ou plusieurs déchets électroniques, peut avantageusement comporter une unité de traitement, une telle unité de traitement 25 coopérant avec les différents éléments éventuels d'un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention, c'est-à-dire non 30 limitativement la source de rayons X, les moyens de détection, les moyens supports de l'échantillon, les actionneurs ou encore les moyens de déplacement, tels que

les rails ou l'axe, par couplage et/ou par bus filaire, et mettant en œuvre différents procédés ou méthodes, tel que par exemple un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S, qui sera décrit dans la suite du document.

Plus précisément, l'invention concerne en outre un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S.

Ledit procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt est avantageusement mis en œuvre par un objet électronique (non représenté sur les figures à des fins de simplification), ledit objet étant avantageusement communicant. Un tel objet électronique peut avantageusement être compris au sein, voire coopérer par toute liaison adaptée avec, un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S conforme à l'invention. A titre d'exemples d'application préférée mais non limitatifs, un tel objet électronique peut consister en un téléphone intelligent, une tablette informatique et/ou un ordinateur personnel ou industriel. Plus précisément, l'objet électronique comporte une unité de traitement, consistant en un ou plusieurs microcontrôleurs ou microprocesseurs, chargés de mettre en œuvre ledit procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt ou tout autre traitement sur des données expérimentales telles que précédemment mentionnées. En variante, l'invention prévoit que ledit procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt par l'unité de traitement d'un serveur informatique distant accessible depuis un poste client,

par exemple selon la technologique SAAS (acronyme de la terminologie anglo-saxonne « *Software As A Service* »). Au sens de l'invention et dans tout le document, on entend par « serveur », un serveur informatique sous la forme

5 d'un dispositif matériel et logiciel agencé pour délivrer des services de stockage ou calculatoire pour un ou plusieurs clients. Ces derniers sont généralement des ordinateurs ou objets électroniques nomades, tel qu'un

10 téléphone portable par exemple, coopérant avec ledit serveur via un réseau de communication filaire ou sans fil, lorsque les moyens de communication émettent une communication sans fil, en mettant en œuvre des protocoles de communication Internet, Intranet, WiFi, etc. L'objet électronique comporte en outre une mémoire de programmes,

15 ladite mémoire coopérant avantageusement avec l'unité de traitement au moyen de bus de communication internes ou par couplage, agencée pour comporter, sous la forme d'un produit programme d'ordinateur préalablement chargé au sein de ladite mémoire, un tel produit programme

20 d'ordinateur comportant des instructions de programme dont l'exécution par ladite unité de traitement provoque la mise en œuvre d'un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention. Lesdites données expérimentales peuvent avantageusement être, pour toutes

25 ou parties, enregistrées sur une ou plusieurs mémoires de données, généralement électriquement effaçables et inscriptibles. La mémoire de données peut avantageusement coopérer avec l'unité de traitement au moyen de bus de communication internes et/ou ne former qu'une seule et

30 même entité avec la mémoire de programmes préalablement mentionnée.

Par ailleurs, l'objet électronique comprend des moyens d'entrée et/ou de sortie coopérant avantageusement avec l'unité de traitement au moyen de bus de communication internes. De tels moyens d'entrée et/ou de sortie permettent in fine de délivrer à un opérateur ou plus généralement un utilisateur, un rendu ou une représentation graphique de la quantité massique d'un métal d'intérêt estimée, éventuellement formatée sous la forme d'un contenu, tel que par exemple une représentation graphique de l'échantillon hétérogène S mettant en exergue le métal d'intérêt au regard d'une pluralité de matériaux composant ledit échantillon hétérogène. De telles représentations graphiques peuvent préférentiellement mais non limitativement être restituées en deux ou trois dimensions. Une telle représentation graphique peut, avantageusement et préalablement à son affichage, être paramétrée, afin que soient automatiquement ou manuellement sélectionnées, par exemple une palette de couleurs, la taille et/ou la forme d'une telle représentation. L'invention ne saurait toutefois être limitée à ces seuls paramétrages. Aussi, à titre d'exemples non limitatifs, de tels moyens d'entrée et/ou de sortie peuvent avantageusement consister en une interface homme-machine ou interface graphique, un écran, éventuellement tactile, ou tout autre moyen équivalent adapté pour afficher ladite représentation graphique.

De plus, afin de réceptionner des données du monde extérieur, un objet électronique mettant en œuvre un procédé pour quantifier un métal d'intérêt selon l'invention comporte des moyens de communication avec le monde extérieur, assurant une communication, éventuellement de proximité, avec tout objet ou dispositif

proche, c'est-à-dire à portée de communication radio par exemple, lesdits moyens de communication coopérant également avec l'unité de traitement au moyen de bus de communication internes. Lesdits moyens de communication peuvent ainsi assurer une communication, éventuellement filaire ou sans fil, par exemple lorsque les moyens de communication émettent une communication sans fil, en mettant en œuvre sans contact de proximité, tel que de manière non exhaustive, Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi (régis par les normes du groupe IEEE 802.11), ou encore Li-Fi (pour « Light Fidelity » selon une terminologie anglo-saxonne), technologie de communication sans fil basée sur l'utilisation de la lumière visible, de longueur d'onde comprise entre 480 nanomètres et 650 nanomètres, à destination de tout dispositif distant, comme par exemple, un ou plusieurs actionneurs aptes à provoquer un déplacement relatif des moyens supports 4 de l'échantillon hétérogène au regard des moyens de détection 3 et/ou de la source 2 de rayons X, ou encore une activation de ladite source 2. Par l'intermédiaire desdits moyens de communication, l'objet électronique, ou plus précisément son unité de traitement, peut émettre et/ou recevoir des messages ou signaux, ci-après dénommés messages par mesure de simplification, encodant par exemple un signal de commande interprétable par le ou les actionneurs.

En outre, pour que l'objet électronique puisse fonctionner en totale autonomie, ce dernier peut comporter avantageusement une source d'énergie électrique propre, sous la forme d'un ou plusieurs accumulateurs préalablement chargés et aptes à délivrer l'énergie électrique suffisante pour permettre le fonctionnement de l'objet électronique.

Comme nous l'étudierons plus en détails en lien avec la figure 3, illustrant un exemple de procédé 100 mis en œuvre par l'unité de traitement telle que précédemment

5 décrite d'un objet électronique ou plus généralement d'un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention, un tel procédé conforme à l'invention peut manipuler de nombreuses données, découlant de captures multiples d'un échantillon

10 hétérogène S lorsque les moyens de détection 3 comprennent un capteur matriciel, de la mise en œuvre de traitements divers visant à détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux dudit échantillon hétérogène S, pour délivrer rapidement des informations

15 pertinentes à l'utilisateur ou l'opérateur de l'objet électronique d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt mettant en œuvre ledit procédé. De telles opérations pour produire et/ou exploiter lesdites données nécessitent parfois un temps de calcul qui peut être

20 conséquent, voire rédhibitoire, selon les ressources matérielles disponibles de l'unité de traitement de l'objet électronique, ou plus généralement du système et/ou selon la complexité de certaines opérations mathématiques. De tels temps de calcul peuvent être

25 particulièrement préjudiciables si l'on souhaite obtenir des informations caractéristiques pertinentes et intelligibles rapidement. Pour cela, l'invention prévoit que de manière avantageuse, l'unité de traitement puisse comporter ou exécuter un produit programme d'ordinateur

30 complémentaire, permettant un traitement accéléré d'analyse des données expérimentales ou des représentations numériques délivrées par les moyens de

détection 3, pour par exemple quantifier un ou plusieurs métaux d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S. Pour maintenir un haut niveau de performances et de précisions nécessaire à la pertinence des informations, un tel produit programme d'ordinateur 5 complémentaire peut consister par exemple en un réseau neuronal convolutif, également connu sous l'appellation « réseau de neurones à convolution », avantageusement profond ou multicouches. L'invention n'a pas pour 10 fondement la conception de ce type de réseaux ou plus généralement de toute solution technique d'analyse ou d'extraction de caractéristiques similaire. Au contraire, l'invention s'appuie sur une exploitation avantageuse et optionnelle de ce type de solutions techniques. A ce titre, 15 les modalités précises de mise en œuvre et autres descriptions techniques desdites solutions ne seront pas détaillées dans le présent document. Nous pouvons toutefois d'une manière synthétique, voire minimaliste, rappeler brièvement que l'objectif d'un tel réseau 20 neuronal consiste principalement à prédire une caractéristique à travers un ensemble de données en entrée, que l'on appelle généralement des observations, en simulant une réponse d'un neurone que l'on pourrait qualifier d'"artificiel" à de telles observations, afin de 25 mettre en œuvre un procédé idoine permettant de traiter et/ou de pondérer lesdites observations pour en prédire ladite caractéristique. Un tel réseau doit être préalablement "entraîné", c'est-à-dire nourri d'exemples, tels que des données expérimentales d'échantillons 30 hétérogènes et homogènes étalons, pour qu'en fonction d'une prédiction souhaitée, les poids respectifs affectés à différentes entrées évoluent de sorte à trouver une

valeur optimale pour chaque entrée. Ainsi, lorsqu'un procédé conforme à l'invention s'appuie, pour la mise en œuvre de certaines de ses étapes, sur un tel réseau neuronal, une étape préalable d'apprentissage sera
5 généralement requise. Selon l'invention, l'exploitation avantageuse d'un tel réseau neuronal ou équivalent, en tant que moyens de calculs ou d'estimations d'une ou plusieurs quantités respectives d'un ou plusieurs métaux d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un
10 échantillon hétérogène notamment, à partir de données expérimentales ou de représentations numériques, en lien avec ledit échantillon hétérogène produites par des moyens de détection, permet en outre d'utiliser ces caractéristiques extraites durant le processus
15 d'entraînement. Lesdites caractéristiques calculées ou estimées à partir des données expérimentales peuvent ainsi constituer des données d'entrée ou des paramètres pour une machine à vecteurs de support, également connue sous les termes anglo-saxons « Support Vector Machine », implantée
20 dans l'unité de traitement d'un objet électronique d'un système conforme à l'invention.

Selon un mode de réalisation préféré mais non limitatif, la figure 3 illustre un exemple de mise en œuvre
25 d'un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène conforme à l'invention. Comme mentionné précédemment, un tel procédé 100 est agencé pour être mis en œuvre par l'unité de traitement d'un objet électronique, un tel objet
30 coopérant avec, par toute liaison adaptée, ou étant compris au sein d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt selon la figure 1 ou 2.

Conformément au mode de réalisation décrit en lien avec la figure 3, un tel procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène conforme à l'invention comporte
5 tout d'abord une étape 140 pour estimer une quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt pour une unité de volume dudit échantillon hétérogène S. Au sens de l'invention et dans tout le document, l'unité de volume peut correspondre à tout ou partie du volume total de l'échantillon
10 hétérogène, plus particulièrement du volume total du déchet électrique, une telle unité de volume comprenant avantageusement un métal d'intérêt à analyser. Une telle unité de volume peut, avantageusement et préalablement à la mise en œuvre d'une étape 140 pour estimer une quantité
15 massique Q_m d'un métal d'intérêt, faire l'objet d'un paramétrage, afin que soient automatiquement ou manuellement sélectionnées, la taille et/ou la forme d'une telle unité de volume.

Une telle étape 140 pour estimer une quantité massique
20 Q_m d'un métal d'intérêt pour une unité de volume dudit échantillon hétérogène S est mise en œuvre, par l'unité de traitement, à partir d'une donnée expérimentale décrivant la composition en matériaux, notamment la composition en métal d'intérêt, de ladite unité de volume,
25 ladite donnée expérimentale d'étant produite par des moyens de détection 3 d'une onde électromagnétique émise ou transmise par ladite unité de volume irradiée par une source 2 de rayons X. Selon la technologie exploitée par les moyens de détection 3, comme décrit précédemment, une
30 ou plusieurs ondes électromagnétiques d'un faisceau B de rayons X produit par une source 2 de rayons X peuvent irradier l'unité de volume de l'échantillon hétérogène S

et être soit transmises, lorsque la technologie exploitée par un système conforme à l'invention, tel que celui décrit en lien avec la figure 2, est basée sur l'imagerie par transmission de rayons X, éventuellement la tomographie par rayons X, soit faire l'objet d'une émission secondaire, lorsque la technologie exploitée par un système conforme à l'invention, tel que celui décrit en lien avec la figure 1, est basée sur la fluorescence X. Ainsi, selon la technologie exploitée, une donnée expérimentale d, dans le cas de l'imagerie par transmission de rayons X, éventuellement la tomographie, peut consister en un pixel d'une représentation numérique matricielle, traduisant une intensité lumineuse proportionnelle à la quantité de rayonnement transmis par une unité de volume de l'échantillon hétérogène S. En variante, dans le cas de la fluorescence X, ladite donnée expérimentale d associée à une telle unité de volume pourra décrire un spectre décrivant l'amplitude des ondes électromagnétiques émises à nouveau sous la forme de raies par l'échantillon S pour un nombre de métaux donné, soit pour des longueurs d'ondes données. Une telle donnée expérimentale d peut avantageusement être stockée dans un serveur, ou plus généralement dans une mémoire de données en coopération par toute liaison adaptée avec l'unité de traitement mettant en œuvre ledit procédé, lors de leur acquisition, pour être traitées plus tard par un utilisateur ou opérateur d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S. En variante ou en complément, pour permettre une estimation rapide et particulièrement efficace d'une quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon

hétérogène, l'invention prévoit qu'un procédé pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention puisse comporter une étape 130 pour déclencher la production d'une donnée expérimentale d par les moyens de
5 détection 3 d'un système 1 conforme à l'invention, consistant donc à acquérir ladite donnée expérimentale d, préalablement à l'étape 140 pour estimer une quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt pour une unité de volume dudit échantillon hétérogène S. En effet, ladite
10 production 130 de la donnée expérimentale d peut être continue, ladite donnée expérimentale d pouvant être lue et exploitée à l'étape 140 à un instant t déterminé ou bien unitaire sur commande. Dans ce cas, à titre d'exemple non limitatif, une telle étape 130 pour déclencher la
15 production d'une donnée expérimentale d par les moyens de détection 3 peut consister à générer et émettre un signal de commande interprétable par lesdits moyens de détection 3 ou, en variante, un actionneur agencé pour provoquer le déclenchement de la production d'une donnée expérimentale
20 d, une tel actionneur coopérant avec, par toute liaison adaptée, avec lesdits moyens de détection 3.

Préalablement à une telle étape 130 pour déclencher la production d'une donnée expérimentale par les moyens de détection 3 d'un système 1 conforme à l'invention, de
25 manière à minimiser les dépenses en énergies et préserver un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention, un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention prévoit une étape
30 110 optionnelle pour provoquer l'activation de la source 2 de rayons X, si seulement la mise en œuvre successive de l'étape 130 est réalisée, ladite source 2 demeurant active durant une durée déterminée et suffisante pour irradier

l'unité de volume de l'échantillon hétérogène S durant la capture des ondes électromagnétiques par les moyens de détection 3. A titre d'exemple non limitatif, une telle étape 110 pour provoquer l'activation de la source 2 de rayons X peut consister à générer et émettre un signal de commande interprétable par ladite source 2 de rayons X ou, en variante, un actionneur agencé pour provoquer l'activation d'une telle source 2 de rayons X, un tel actionneur coopérant avec, par toute liaison adaptée, avec ladite source 2 de rayons X.

Une telle étape 140 pour estimer une quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène peut consister finalement à convertir la donnée expérimentale d en une quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt pour une unité de volume. Selon la technologie exploitée, que celle-ci soit basée sur de la fluorescence X ou de la transmission, plus particulièrement de la tomographie par rayons X, différents traitements peuvent être effectués pour mettre en œuvre ladite étape 140 pour estimer une quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène.

Selon un premier mode de réalisation de l'étape 140 pour estimer la quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt d'un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention, en fonction de la technologie à exploiter, que celle-ci soit basée préférentiellement sur la fluorescence X ou encore sur la transmission, plus particulièrement sur la tomographie par rayons X, une telle étape 140 peut résulter d'une sollicitation 141 d'un réseau neuronal convolutif de l'unité de traitement, mettant en

œuvre ledit procédé 100, de l'objet électronique ou plus généralement d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention et/ou d'une machine à vecteurs de support de ladite unité de traitement, ledit
5 réseau neuronal ayant fait l'objet d'une étape, non représentée en figure 3, d'entraînement ou apprentissage profond. Un tel entraînement ou apprentissage profond peut résulter, par exemple, de la mise en œuvre d'un même procédé, de sorte à produire des estimations préalables de
10 quantités massiques Q_m connues et respectives d'un même métal d'intérêt d'échantillons hétérogènes ou homogènes étalons à partir de données expérimentales tierces. L'estimation 140 d'une quantité massique Q_m est avantageusement réalisée par un tel réseau neuronal
15 convolutif de l'unité de traitement dudit dispositif électronique ou plus généralement d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention.

Selon un deuxième mode de réalisation de l'étape 140
20 pour estimer la quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt d'un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention, que celle-ci soit basée préférentiellement sur la fluorescence X ou encore sur l'imagerie par transmission de rayons X, éventuellement la
25 tomographie par rayons X, une telle étape 140 pour estimer la quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt peut consister en l'exploitation 142 conjointe de la donnée expérimentale d et de données expérimentales tierces décrivant les compositions en matériaux d'une pluralité d'échantillons
30 hétérogènes étalons. Une telle exploitation 142 peut, par exemple, résulter de la mise en œuvre d'un même procédé, de sorte à produire des estimations préalables de quantités

massiques Q_m connues et respectives d'un même métal d'intérêt d'échantillons hétérogènes et/ou homogènes étalons à partir de données expérimentales tierces. L'exploitation 142 peut alors consister en la mise en œuvre, par l'unité de traitement, d'une méthode d'analyse mathématique par interpolation numérique. Dans le cas où la technologie exploitée est basée sur la tomographie par rayons X, l'exploitation 142 peut consister préalablement à reconstruire en trois dimensions l'unité de volume à partir des données expérimentales d produites pour chaque pixel de l'unité de volume.

Selon un troisième mode de réalisation de l'étape 140 pour estimer la quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt d'un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention, lorsque celle-ci est basée sur l'imagerie par transmission de rayons X, éventuellement la tomographie par rayons X, une telle étape 140 pour estimer la quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt peut consister, dans un premier temps, en la reconstitution spatiale 143 de la répartition d'un métal d'intérêt au sein de l'unité de volume, comprenant plus particulièrement, la localisation dudit métal d'intérêt par pixel de l'unité de volume. La reconstitution 143 peut consister, au préalable, à reconstruire en trois dimensions l'unité de volume à partir des données expérimentales d produites pour chaque pixel de l'unité de volume, via un algorithme de reconstruction, tels qu'à titre d'exemples non limitatifs un algorithme de type FDK (pour Feldkamp, David et Klauss) ou encore un algorithme basé sur la transformée de Radon. Dans un deuxième temps, une fois la reconstitution spatiale de la répartition dudit métal d'intérêt au sein de l'unité de volume réalisée,

l'étape 140 pour estimer la quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt peut consister en la détermination, par calcul de la quantité massique Q_m dudit métal d'intérêt à l'aide de la masse volumique dudit métal d'intérêt.

5

Selon la technologie exploitée, notamment lorsque celle-ci est basée sur l'imagerie par transmission de rayons X, éventuellement la tomographie par rayons X ou, en variante ou en complément, selon la taille et/ou la forme de l'échantillon hétérogène S à analyser par un système pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux dudit échantillon hétérogène S conforme à l'invention, il peut être nécessaire de déplacer l'échantillon hétérogène S, via les moyens supports 4 dudit échantillon hétérogène S au regard des moyens de détection 3 et/ou de la source 2 de rayons X, de sorte à assurer un positionnement optimal de l'échantillon hétérogène au regard de la source de rayons X et des moyens de détection.

Pour ce faire, un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention peut comporter une pluralité 120 d'étapes pour piloter des actionneurs, de tels actionneurs coopérant, par toute liaison adaptée, avec divers éléments d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention, tels que, par exemple, non exhaustivement les moyens supports 4 de l'échantillon hétérogène S. En variante ou en complément, l'invention prévoit de déplacer ladite source 2 de rayons X et ou lesdits moyens de détection 3 au regard de l'échantillon hétérogène S. Ladite étape 120 peut ainsi comporter une ou plusieurs sous-étapes pour piloter un ou plusieurs actionneurs pour provoquer de tels déplacements

de ladite source 2 et/ou desdits moyens de détection 3. L'invention ne saurait être limitée aux seules variantes de réalisation d'étapes pour piloter des actionneurs décrites ci-après, pour provoquer un déplacement relatif
5 de l'échantillon au regard de la source 2 et/ou des moyens de détection 3.

Selon une première variante de réalisation, lorsqu'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention comporte des moyens supports 4 de
10 l'échantillon hétérogène S et un premier actionneur agencé pour provoquer un déplacement des moyens supports 4, un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention peut comporter une étape 121 pour piloter le premier actionneur, de sorte à provoquer un déplacement de
15 l'échantillon hétérogène S au regard des moyens de détection 3. A titre d'exemple non limitatif, une telle étape 121 pour piloter le premier actionneur peut consister à générer et émettre un signal de commande interprétable par le premier actionneur.

20 Selon une deuxième variante de réalisation, lorsqu'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention peut comporter les moyens de détection 3 et un deuxième actionneur agencé pour provoquer un déplacement des moyens de détection 3, un procédé 100
25 pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention peut comporter une étape 122 pour piloter le deuxième actionneur, de sorte à provoquer un déplacement des moyens de détection 3 au regard de l'échantillon hétérogène S. A titre d'exemple non limitatif, une telle étape 122 pour
30 piloter le deuxième actionneur peut consister à générer et émettre un signal de commande interprétable par ledit deuxième actionneur. Une telle étape 122 pourrait en outre,

en variante ou en complément, consister à générer et émettre un signal de commande interprétable par un troisième actionneur agencé pour provoquer un déplacement de la source 2 de rayons X.

5

L'un des objectifs finaux de l'invention consiste à produire et fournir à un opérateur d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S, une
10 information intelligible et transmissible, de manière rapide et fiable. Pour délivrer la quantité massique Q_m estimée d'un métal d'intérêt de manière intelligible à un opérateur ou utilisateur d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt, un procédé 100 pour
15 quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention peut comporter une étape 150 subséquente pour délivrer la quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt estimée à une interface homme-machine de sortie apte à la délivrer à un utilisateur ou à un opérateur, par exemple sous une forme
20 graphique. Une telle étape 150 permet in fine de délivrer à un opérateur ou plus généralement un utilisateur, un rendu ou une représentation graphique de la quantité massique d'un métal d'intérêt estimée, éventuellement formatée sous la forme d'un contenu, tel que par exemple
25 une représentation graphique de l'échantillon hétérogène S mettant en exergue le métal d'intérêt au regard d'une pluralité de matériaux composant ledit échantillon hétérogène. La délivrance d'un tel rendu ou d'une telle représentation graphique peut avantageusement s'effectuer
30 en deux ou trois dimensions et consiste principalement en l'affichage du contenu, éventuellement formaté, dont les paramètres peuvent être définis ou prédéterminés. La

représentation graphique d'un tel contenu dépend généralement d'un grand nombre de facteurs, notamment et à titre d'exemples non limitatifs, de l'opérateur, des éléments paramétrables sur l'interface homme-machine de sortie, etc. Ainsi, préalablement à l'étape 150 pour 5 délivrer la quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt estimée, un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention peut éventuellement comprendre une étape de configuration des paramètres respectifs de ladite 10 interface homme-machine de sortie, notamment et éventuellement de la représentation graphique d'un telle quantité massique estimée, notamment mais non limitativement la forme, la texture ou encore la palette de couleurs utilisées pour représenter, par exemple, un 15 gradient de masse.

Comme mentionné précédemment, l'unité de volume d'un échantillon hétérogène S à analyser peut correspondre à tout ou partie du volume total de l'échantillon hétérogène, 20 plus particulièrement du volume total du déchet électrique, une telle unité de volume comprenant avantageusement un métal d'intérêt à analyser. Comme le décrit l'exemple illustré par la figure 3, un tel procédé 100 conforme à l'invention peut provoquer une mise en œuvre 25 itérative des étapes 130 et 140 susmentionnées pour une pluralité d'unités de volumes considérées. Selon l'invention, ladite quantité massique Q_m d'un métal d'intérêt peut être estimée pour chaque unité de volume au moyen d'un procédé 100 conforme à l'invention tel que 30 décrit précédemment mis en œuvre itérativement pour chaque unité de volume par l'unité de traitement. Il est ainsi possible, d'estimer une quantité massique globale d'un

métal d'intérêt résultant de la somme de quantités massiques Q_m respectivement estimées pour une pluralité d'unités de volumes définissant tout ou partie du volume de l'échantillon hétérogène S considéré. L'invention ne saurait toutefois être limitée aux itérations de ces seules 5 étapes 130 et 140. En effet, l'invention prévoit que toutes les étapes susmentionnées 110 à 150 d'un procédé 100 pour quantifier un métal d'intérêt conforme à l'invention puissent être mises en œuvre par itérations successives 10 pour une pluralité d'unités de volumes considérées.

Un tel procédé 100 peut très avantageusement être transcrit sous la forme d'instructions d'un produit programme d'ordinateur P exploitables par l'unité de 15 traitement d'un objet électronique ou plus généralement d'un système 1 pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène S , tel que celle décrite précédemment. Pour adapter un tel équipement ou ordinateur 20 et rendre ce dernier conforme à l'invention, lesdites instructions de programme peuvent être enregistrées dans la mémoire de programmes dudit objet électronique ou dudit système 1, de sorte que lorsqu'elles sont exécutées ou interprétées par ladite unité de traitement, lesdites 25 instructions de programme provoquent la mise en œuvre d'un procédé pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène, conforme à l'invention, tel que le procédé 100 décrit en lien avec la figure 3.

30

L'invention a été décrite lors de son utilisation en lien avec des applications de traitement de déchets

électroniques, notamment des cartes électroniques, plus particulièrement la détection et la quantification de métaux précieux, tels que, par exemple, l'or, l'argent, le platine, le cuivre ou encore le palladium. Elle peut également être mise en œuvre pour détecter et quantifier tout autre métal précieux ou stratégiques. Également, un système selon l'invention pourrait être adapté et/ou agencé pour identifier et quantifier un ou plusieurs métaux d'intérêt, éventuellement précieux ou stratégiques, au sein d'un échantillon hétérogène, de manière continue et non destructive. En variante ou en complément, des système et/ou procédé conformes à l'invention peuvent être agencés pour détecter et quantifier, de manière non destructive, simultanément une pluralité de métaux d'intérêt, tels que, non limitativement un alliage de métaux d'intérêt, comme par exemple le coltan (également connu sous la dénomination « colombite-tantalite »). En variante, l'invention prévoit que des système et/ou procédé conformes à l'invention puissent être exploitées en lien avec des échantillons extraits de carrières minières. L'invention ne saurait ainsi être limitée aux seuls exemples de réalisation et/ou d'application précédemment décrits.

REVENDICATIONS

1. Procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène (S), ledit procédé (100) étant mis en œuvre par une unité de traitement d'un système (1) pour détecter et
5 quantifier un métal d'intérêt au sein d'un échantillon hétérogène, et caractérisé en ce qu'il comporte une étape (140) pour estimer une quantité massique (Q_m) d'un métal d'intérêt pour une unité de volume dudit échantillon hétérogène (S), à partir d'une donnée
10 expérimentale (d) décrivant la composition en matériaux de ladite unité de volume, ladite donnée expérimentale (d) étant produite par des moyens de détection (3) d'une onde électromagnétique émise ou transmise par ladite unité de volume irradiée par une
15 source (2) de rayons X.
2. Procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt selon la revendication précédente, un tel procédé (100) étant mis en œuvre par itérations successives pour une
20 pluralité d'unités de volumes considérées.
3. Procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant une étape (130) pour déclencher la
25 production d'une donnée expérimentale (d) par les moyens de détection (3).

4. Procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt selon l'une quelconque des revendications précédentes, ledit système comportant des moyens supports (4) de l'échantillon hétérogène (S) et un premier actionneur agencé pour provoquer un déplacement des moyens supports (4), ledit procédé comportant une étape (121) pour piloter le premier actionneur, de sorte à provoquer un déplacement de l'échantillon hétérogène (S) au regard des moyens de détection (3).
- 5
- 10
5. Procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt selon l'une quelconque des revendications précédentes, ledit système comportant les moyens de détection (3) et un deuxième actionneur agencé pour provoquer un déplacement des moyens de détection (3), ledit procédé (100) comportant une étape (122) pour piloter le deuxième actionneur, de sorte à provoquer un déplacement des moyens de détection (3) au regard de l'échantillon hétérogène (S).
- 15
- 20
6. Procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt selon l'une quelconque des revendications précédentes, pour lequel l'étape (140) pour estimer une quantité massique d'un métal d'intérêt consiste en une estimation (141) réalisée par un réseau neuronal convolutif de l'unité de traitement dudit système.
- 25
7. Procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt selon la revendication précédente, comportant une étape

préalable d'apprentissage dudit réseau neuronal convolutif.

5 8. Procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, pour lequel l'étape (140) pour estimer une quantité massique (Q_m) d'un métal d'intérêt consiste en l'exploitation conjointe (142) de la donnée expérimentale d et de données expérimentales tierces décrivant les
10 compositions en matériaux d'une pluralité d'échantillons étalons.

15 9. Procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant une étape (150) pour délivrer la quantité massique (Q_m) d'un métal d'intérêt estimée à une interface homme-machine de sortie apte à la délivrer à un utilisateur.

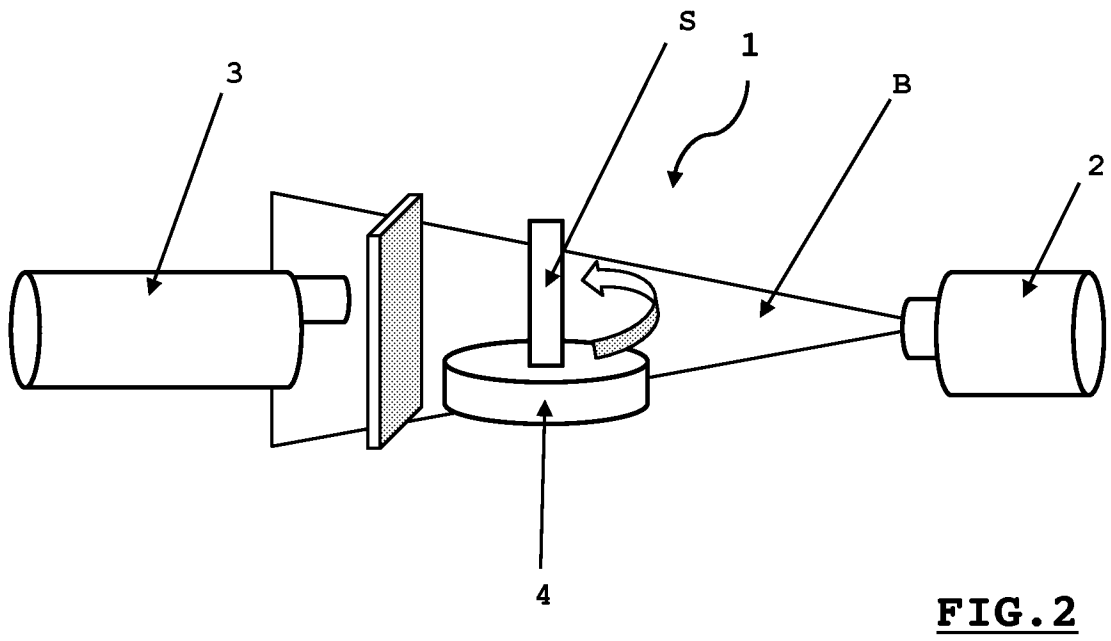
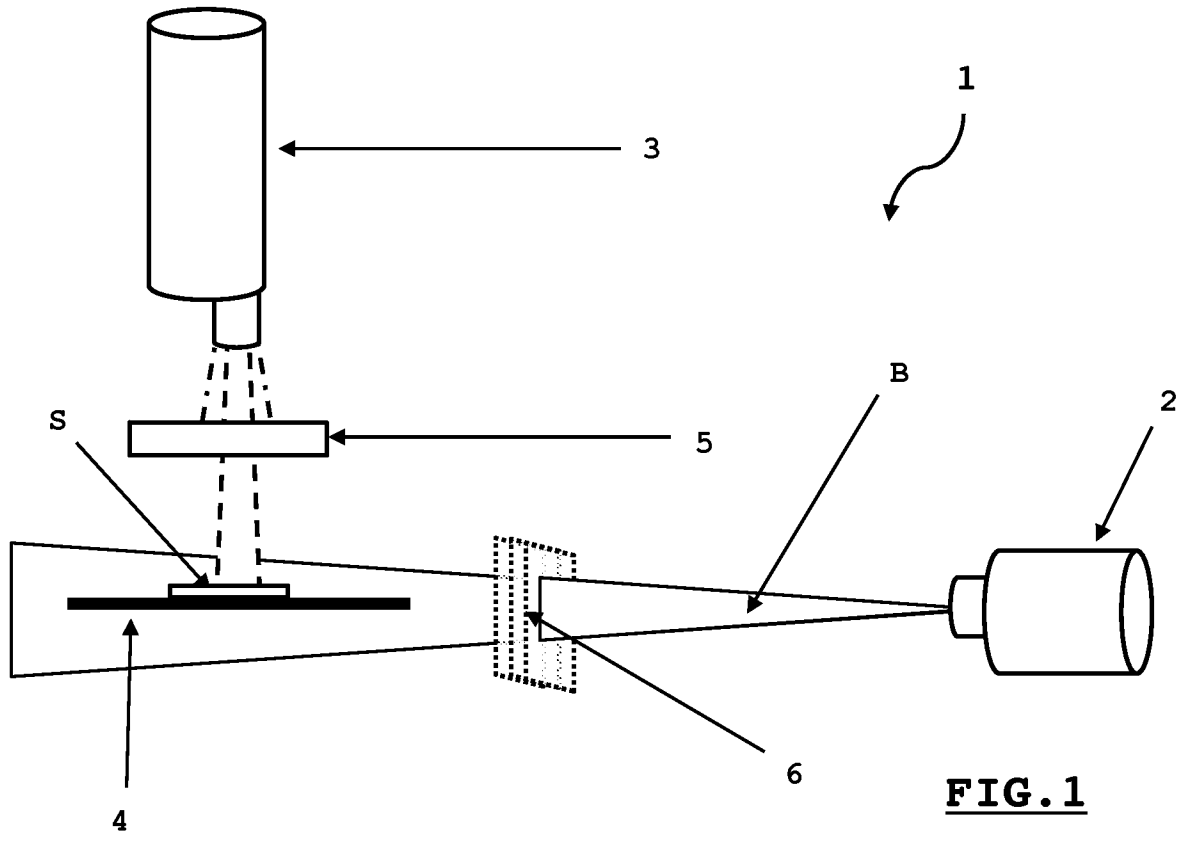
20 10. Produit programme d'ordinateur (P) comportant des instructions de programme exploitables par un ordinateur (1), qui, lorsqu'elles sont exécutées ou interprétées par une unité de traitement dudit ordinateur (1), provoquent la mise en œuvre d'un
25 procédé (100) pour quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un échantillon hétérogène selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.

30 11. Système (1) pour détecter et quantifier un métal d'intérêt parmi une pluralité de matériaux d'un

échantillon hétérogène (S), comprenant une source (2) à rayons X agencée pour irradier tout ou partie de l'échantillon hétérogène (S), des moyens de détection (3) agencés pour produire une donnée expérimentale (d), des moyens supports (4) dudit échantillon (S), des premier et deuxième actionneurs, une unité de traitement, une mémoire de données, une mémoire de programmes, une interface homme-machine de sortie, caractérisé en ce que les instructions de programme d'un produit programme d'ordinateur (P) selon la revendication précédente sont inscrites dans la mémoire de programmes dudit système (1).

12. Système (1) pour détecter et quantifier un métal d'intérêt selon la revendication précédente, pour lequel l'unité de traitement, la mémoire de données et/ou la mémoire de programmes consistent en des moyens électroniques d'un objet électronique, un tel objet électronique pouvant consister en un ordinateur personnel ou industriel.

1/2



2/2

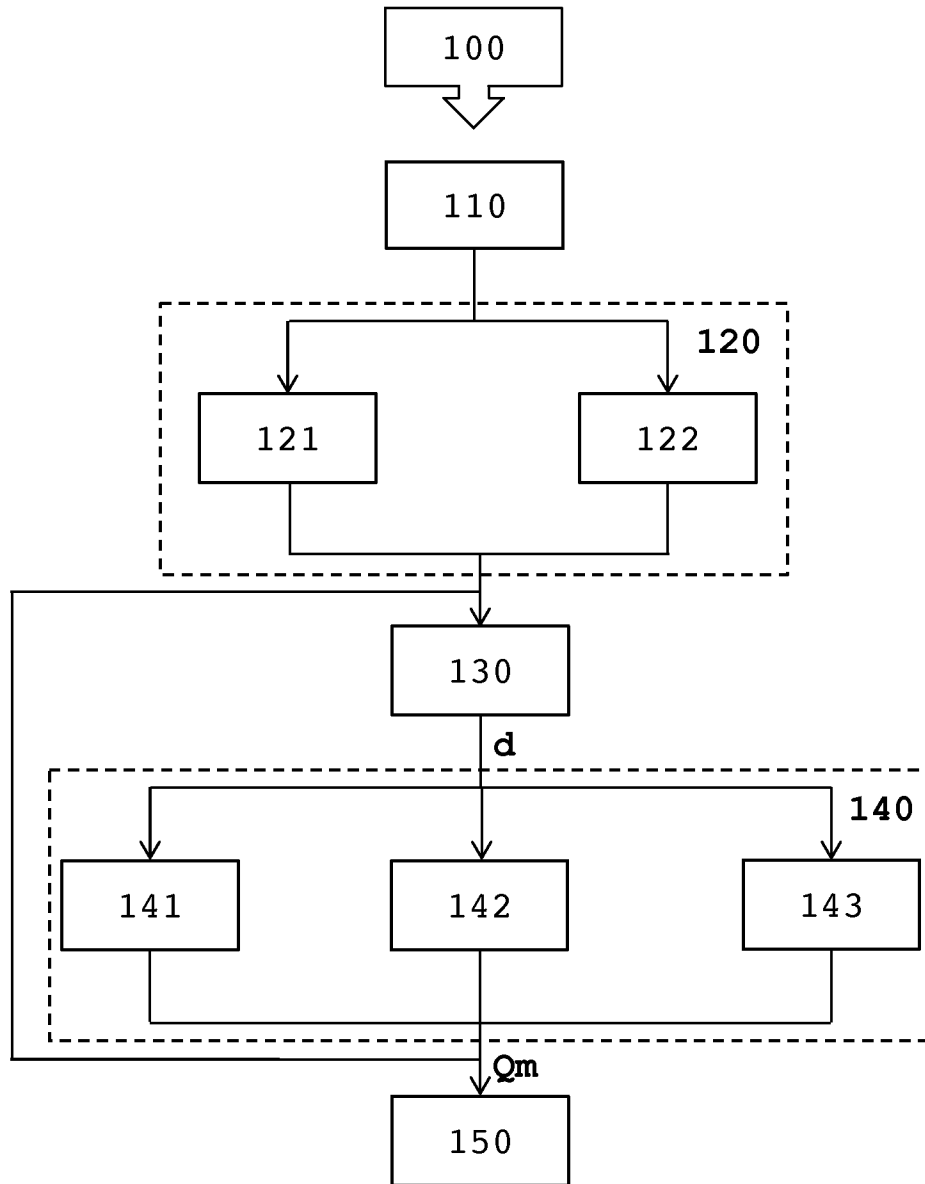


FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2019/050008

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01N 23/2206 (2018.01)i; G01N 33/2028 (2019.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01N		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Roald Tagle ET AL. "Lab Report XRF 447 - Distribution analysis of electronic components" 01 January 2015 (2015-01-01), Retrieved from the Internet: https://www.brucker.com/fileadmin/user_upload/8-PDF-Docs/X-rayDiffraction_ElementalAnalysis/mXRF/LabReports/LR_m4_tornado_xrf_447_PCB_rev1_1_lores.pdf [retrieved on 2019-05-07] XP055586341 the whole document	1-12
X	YOSHIYUKI KATAOKA. "Standardless X-ray fluorescence spectrometry" <i>RIGAKU JOURNAL, RIGAKU DENKI K.K, JP</i> , Vol. 6, No. 1, 01 January 1989 (1989-01-01), pages 33-39 ISSN: 0913-543X, XP002428173 page 37, right-hand column, line 37 - page 39, right-hand column, line 42; table 6	1-12
X	WO 2007041639 A2 (THERMO NITON ANALYZERS LLC [US]; GRODZINS LEE [US]) 12 April 2007 (2007-04-12) page 2, line 19 - page 3, line 19 page 10, line 2 - page 11, line 18; figure 3	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 09 May 2019		Date of mailing of the international search report 17 May 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Gilow, Christoph Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2019/050008

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2015173220 A1 (ROCHE DIAGNOSTICS GMBH [DE]; HOFFMANN LA ROCHE [CH] ET AL.) 19 November 2015 (2015-11-19) abstract; figure 1	1-12
A	WO 9723776 A1 (PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; PHILIPS NORDEN AB [SE]) 03 July 1997 (1997-07-03) abstract	6,7
A	ALEXANDER SASOV ET AL. "<title>A compact MicroCT/MicroXRF scanner for non-destructive 3D chemical analysis</title>" <i>PROCEEDINGS OF SPIE</i> , Vol. 7078, 28 August 2008 (2008-08-28), pages 70780R-70780R-9 DOI: 10.1117/12.793208 ISSN: 0277-786X, XP055088309 the whole document	1-12
A	TOBIAS ERNST ET AL. "Analysis of eco-relevant elements and noble metals in printed wiring boards using AAS, ICP-AES and EDXRF" <i>ANALYTICAL AND BIOANALYTICAL CHEMISTRY</i> , DE, Vol. 375, No. 6, 28 February 2003 (2003-02-28), pages 805-814 DOI: 10.1007/s00216-003-1802-8 ISSN: 1618-2642, XP055586534 the whole document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2019/050008

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2007041639	A2	12 April 2007	CA	2623927	A1	12 April 2007
				CN	101283268	A	08 October 2008
				EP	1931977	A2	18 June 2008
				EP	2138832	A1	30 December 2009
				JP	2009510479	A	12 March 2009
				US	2007092060	A1	26 April 2007
				WO	2007041639	A2	12 April 2007

WO	2015173220	A1	19 November 2015	EP	3143385	A1	22 March 2017
				US	2016377560	A1	29 December 2016
				WO	2015173220	A1	19 November 2015

WO	9723776	A1	03 July 1997	NONE			

<p>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01N23/2206 G01N33/2028 ADD.</p>		
<p>Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB</p>		
<p>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</p>		
<p>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01N</p>		
<p>Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche</p>		
<p>Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data</p>		
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</p>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>Roald Tagle ET AL: "Lab Report XRF 447 - Distribution analysis of electronic components", 1 janvier 2015 (2015-01-01), XP055586341, Extrait de l'Internet: URL:https://www.bruker.com/fileadmin/user_upload/8-PDF-Docs/X-rayDiffraction_ElementalAnalysis/mXRF/LabReports/LR_m4_tornado_xrf_447_PCB_rev1_1_lores.pdf [extrait le 2019-05-07] le document en entier ----- -/--</p>	1-12
<p><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</p>		
<p>* Catégories spéciales de documents cités:</p>		
<p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p>		<p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>
<p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p>		
<p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p>		
<p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p>		
<p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p>		
<p>Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée</p>		
<p>9 mai 2019</p>		<p>Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale</p> <p>17/05/2019</p>
<p>Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale</p> <p>Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016</p>		<p>Fonctionnaire autorisé</p> <p>Gilow, Christoph</p>

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>YOSHIYUKI KATAOKA: "Standardless X-ray fluorescence spectrometry", RIGAKU JOURNAL, RIGAKU DENKI K.K, JP, vol. 6, no. 1, 1 janvier 1989 (1989-01-01), pages 33-39, XP002428173, ISSN: 0913-543X page 37, colonne de droite, ligne 37 - page 39, colonne de droite, ligne 42; tableau 6</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
X	<p>WO 2007/041639 A2 (THERMO NITON ANALYZERS LLC [US]; GRODZINS LEE [US]) 12 avril 2007 (2007-04-12) page 2, ligne 19 - page 3, ligne 19 page 10, ligne 2 - page 11, ligne 18; figure 3</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
X	<p>WO 2015/173220 A1 (ROCHE DIAGNOSTICS GMBH [DE]; HOFFMANN LA ROCHE [CH] ET AL.) 19 novembre 2015 (2015-11-19) abrégé; figure 1</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>WO 97/23776 A1 (PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; PHILIPS NORDEN AB [SE]) 3 juillet 1997 (1997-07-03) abrégé</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	6,7
A	<p>ALEXANDER SASOV ET AL: "<title>A compact MicroCT/MicroXRF scanner for non-destructive 3D chemical analysis</title>", PROCEEDINGS OF SPIE, vol. 7078, 28 août 2008 (2008-08-28), pages 70780R-70780R-9, XP055088309, ISSN: 0277-786X, DOI: 10.1117/12.793208 le document en entier</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>TOBIAS ERNST ET AL: "Analysis of eco-relevant elements and noble metals in printed wiring boards using AAS, ICP-AES and EDXRF", ANALYTICAL AND BIOANALYTICAL CHEMISTRY, vol. 375, no. 6, 28 février 2003 (2003-02-28), pages 805-814, XP055586534, DE ISSN: 1618-2642, DOI: 10.1007/s00216-003-1802-8 le document en entier</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2019/050008

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2007041639	A2	12-04-2007	CA 2623927 A1 12-04-2007
			CN 101283268 A 08-10-2008
			EP 1931977 A2 18-06-2008
			EP 2138832 A1 30-12-2009
			JP 2009510479 A 12-03-2009
			US 2007092060 A1 26-04-2007
			WO 2007041639 A2 12-04-2007

WO 2015173220	A1	19-11-2015	EP 3143385 A1 22-03-2017
			US 2016377560 A1 29-12-2016
			WO 2015173220 A1 19-11-2015

WO 9723776	A1	03-07-1997	AUCUN
