

Les nanoparticules, une nouvelle arme contre le crime ?

Andy Becue

Résumé

La recherche de traces digitales sur les lieux d'un crime ou sur des objets liés à une affaire criminelle constitue l'une des tâches majeures d'une enquête. En effet, l'empreinte digitale, de par son unicité et son immuabilité dans le temps, reste un élément incontournable dans le cadre du processus d'identification de suspects ou de victimes. L'une des difficultés relatives à la découverte de telles traces réside dans le fait que, la plupart du temps, elles ne sont pas visibles à l'œil nu en raison de leur nature chimique et de la faible quantité de matière les constituant. Elles sont dites latentes et requièrent en conséquence l'application de techniques (optiques ou chimiques) permettant leur visualisation. S'il existe actuellement de nombreuses techniques efficaces à la disposition des enquêteurs, il reste néanmoins nécessaire de mettre au point de nouvelles méthodes ou réactifs offrant une sensibilité plus élevée, ainsi qu'une efficacité accrue. Cet article présente un aperçu des recherches basées sur l'utilisation de nanoparticules fonctionnalisées permettant la détection de traces digitales.

Mots-clés

Empreinte digitale, trace latente, détection, nanoparticules, luminescence.

Abstract

Nanoparticles, a new tool to deter crime?

The detection of fingerprints at a crime scene or on evidence related with a criminal affair constitutes one of the main tasks of the investigators. Fingerprints, due to their uniqueness and invariability in time, remain a key element of an identification process (being for suspects or victims). The main difficulty resides in the fact that, most of the time, fingerprints are not visible through naked eye due to their chemical composition and the small amount of material that is left on the scene. There are said to be latent and their detection requires the application of specific techniques (optical or chemical). If numerous efficient techniques currently exist, there is a continuing quest for developing new techniques or reagents with an enhanced sensitivity towards secretions and with an increased efficiency. This article gives an outline about some currently performed researches based on the use of functionalized nanoparticles to detect latent fingerprints.

Keywords

Fingerprint, fingermark, detection, nanoparticles, luminescence.

Avant d'aborder la question de la détection des traces papillaires⁽¹⁾, il apparaît utile de définir ce qu'est une trace digitale et de la caractériser au niveau de sa composition chimique. La problématique de la détection des traces sera ensuite abordée, avant d'entamer la présentation des réactifs de nouvelle génération basés sur l'utilisation de nanoparticules.

Une trace digitale, c'est quoi ?

À tout moment, la peau sécrète un certain nombre de composés organiques et inorganiques sous forme d'humeur aqueuse (la sueur) ou lipidique (sébacée). Il est d'ailleurs possible de distinguer trois types de glandes à l'origine de ces sécrétions [1] :

- les glandes eccrines, présentes sur tout le corps et sécrétant la sueur par l'intermédiaire des pores. Il s'agit des seules glandes présentes au niveau des doigts, de la paumes des mains et de la plante des pieds ;
- les glandes sébacées, présentes partout à l'exception des paumes des mains et de la plante des pieds ;
- les glandes apocrines, localisées au niveau des zones génitales et des aisselles.

La surface des doigts est ainsi constamment recouverte d'une fine pellicule constituée d'un mélange de sécrétions eccrines et sébacées (par contact des doigts avec le visage par exemple), auxquelles s'ajoutent des contaminants tels

que le maquillage ou les graisses alimentaires. Lors du contact entre une main non protégée et une surface quelconque, une certaine quantité de matière organique et inorganique est déposée sur le support touché pour former ce que l'on appelle une trace digitale. En fonction de l'intensité du contact, de sa durée, du sexe de la personne, ou encore de son âge, la composition chimique du résidu déposé varie. Il est cependant possible d'établir une liste de composés présents dans la plus grande majorité des traces digitales, en quantité variable [2].

En règle générale, une trace digitale est avant tout composée d'eau (98 %), dans laquelle sont dissous des composés organiques tels que des acides aminés (sérine, glycine, alanine...), des protéines (kératine, cathepsine, dérivés de nicotine pour les fumeurs...), mais également des lipides (acides gras, stérols, squalène...) et des ions inorganiques (sodium, potassium, chlorures, sulfates...) (voir *tableau I*).

Les techniques de détection de traces digitales

Au regard de leur composition chimique, il est possible de comprendre pourquoi les traces digitales ne sont pas visibles à l'œil nu, principalement sur des supports poreux. Elles sont dites « latentes ». De nombreuses techniques ont donc été développées pour permettre leur visualisation sous

Tableau I - Résumé de la composition des sécrétions eccrines et sébacées (d'après [2]).

Glandes eccrines			
Principaux composés inorganiques		Composés inorganiques (traces)	
Sodium	34-266 mEq/L	Magnésium	
Potassium	4,9-8,8 mEq/L	Zinc	
Calcium	3,4 mEq/L	Cuivre	
Fer	1-70 mg/L	Cobalt	
Chlorure	0,52-7 mg/mL	Plomb	
Fluorure	0,2-1,18 mg/L	Manganèse	
Bromure	0,2-0,5 mg/L	Molybdène	
Iodure	5-12 µg/L	Étain	
Bicarbonate	15-20 mM	Mercure	
Phosphate	10-17 mg/L		
Sulfate	7-190 mg/L		
Ammoniac	0,5-8 mM		
Composés organiques		Composés organiques (lipides)	
Acides aminés	0,3-2,59 mg/L	Acides gras	0,01-0,1 µg/mL
Protéines	15-25 mg/dL	Sterols	0,01-0,12 µg/mL
Glucose	0,2-0,5 mg/dL		
Lactate	30-40 mM		
Urée	10-15 mM		
Pyruvate	0,2-1,6 mM		
Créatine			
Créatinine			
Glycogène			
Acide urique			
Vitamines			
Autres			
Enzymes			
Immunoglobulines			
Glandes sébacées			
Principaux composés organiques		Composés organiques (traces)	
Triglycérides	30-40 %	Aldéhydes	
Acide gras libres	15-25 %	Cétones	
saturés	50 %	Amines	
monosaturés	48 %	Amides	
polyinsaturés	2 %	Alcanes	
Esters gras	20-25 %	Alcènes	
Squalène	10-12 %	Alcools	
Cholestérol	1-3 %	Phospholipides	
Esters de cholestérol	2-3 %	Pyrroles	
		Pyridines	
		Pipéridines	
		Pyrazines	
		Furanes	
		Haloalcanes	
		Mercaptans	
		Sulfures	

forme de traces colorées ou luminescentes [1]. La plupart d'entre elles sont basées sur une application en phase liquide (aqueuse ou organique), par immersion, garant d'une plus grande sensibilité de détection. D'un point de vue réactionnel, il est possible de distinguer celles se basant sur :

- des réactions chimiques entre un réactif et une famille de molécules contenues dans la trace – la plupart du temps, les acides aminés (1,8-diazafluoren-9-one, ninhydrine) ;
- des processus physico-chimiques pour lesquels la valeur de pH ou la présence de surfactants joue un rôle prédominant (révélateur physique, déposition multimétallique) ;
- des processus physiques (poudrage).

D'autres techniques ont également été développées pour détecter spécifiquement certains types de traces digitales, telles les traces ensanglantées (Acid Yellow 7, noir amido...). Il est à noter que les techniques les plus sensibles à l'heure actuelle sont celles basées sur les processus chimiques et physico-chimiques. En revanche, le poudrage reste l'une des techniques les plus utilisées sur les lieux en raison de sa facilité de mise en œuvre, au dépend d'une sensibilité moindre.

En plus du mécanisme réactionnel (chimique, physico-chimique ou physique), chaque technique est plus ou moins

limitée dans son application par la nature même du support sur lequel les traces sont à détecter. Ainsi, la ninhydrine est strictement limitée aux surfaces poreuses, tel le papier, tandis que le cyanoacrylate est restreint aux surfaces lisses, tel le verre. Certaines techniques présentent toutefois des champs d'application plus larges. C'est le cas par exemple de la déposition multimétallique, qui est l'une des rares techniques à se révéler efficace sur une large gamme de surfaces, qu'elles soient lisses ou poreuses. Plus une technique présente un domaine d'application étendu, plus son application opérationnelle sera couronnée de succès.

Malgré l'efficacité des techniques existantes, il subsiste certaines limitations qu'il convient de repousser par le développement de nouvelles techniques encore plus sensibles et efficaces. La mise au point de nouvelles méthodes de détection de traces digitales constitue donc un challenge continu, dont la principale difficulté réside dans la nature même de la trace ainsi que des éléments avoisinants : un mélange complexe (et en partie inconnu) de composés organiques et inorganiques présents sur des surfaces variées (composition, couleur, luminescence...) et soumis aux effets du temps (de quelques heures à plusieurs années) ainsi qu'aux conditions environnantes (humidité, lumière du jour...). C'est dans ce contexte qu'a émergé une nouvelle génération de réactifs : les nanoparticules.

Les nanoparticules, l'aube d'une nouvelle génération de réactifs

L'utilisation de nanoparticules dans le cadre de la détection de traces digitales fait logiquement suite à leur intégration réussie dans des domaines tels que la biologie et l'électronique. De par leur taille (1-100 nm), leurs propriétés optiques (couleur, luminescence) ainsi que la possibilité de les fonctionnaliser à l'aide de ligands, les nanoparticules combinent tous les éléments requis pour la mise au point de nouveaux réactifs sensibles et efficaces permettant la détection de traces digitales (figure 1).

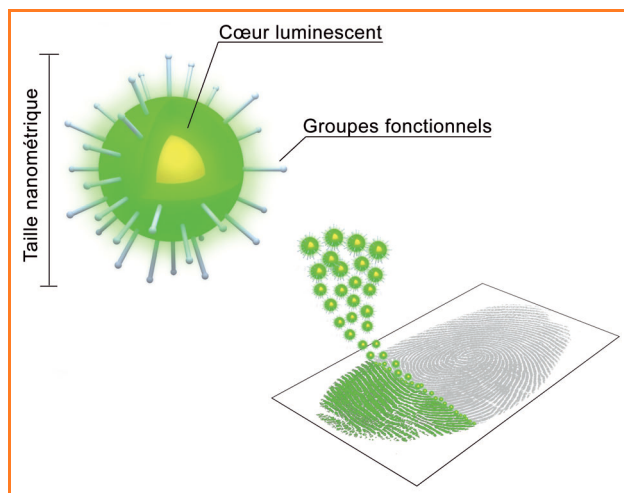


Figure 1 - Les principales caractéristiques des nanoparticules pouvant être exploitées lors de la détection de traces digitales latentes.

La taille

Par définition, la taille des nanoparticules est généralement comprise entre 1 et 100 nm. Cette limite peut

être élargie en fonction du domaine d'intérêt ; cependant, elle correspond bien aux besoins liés à la détection des traces digitales. Cette valeur est à mettre en relation avec la largeur d'une crête papillaire, que l'on peut estimer entre 300 et 400 microns. En règle générale, il est donc observé une différence de taille d'un facteur 10 000, garantissant ainsi un excellent résultat en termes de résolution de crêtes⁽²⁾. À titre de comparaison, les poudres utilisées couramment sur les scènes de crime sont constituées de particules dont la taille avoisine le micron ou la dizaine de microns. L'utilisation de nanoparticules (sous forme de poudre ou en solution) permet donc la révélation de traces à l'aide de particules 100 à 1 000 fois plus petites.

Pour illustrer un peu plus la différence de taille entre les nanoparticules et une crête papillaire, il suffit d'imaginer devoir recouvrir un terrain de football avec des petits pois. Si à première vue cette tâche peut se révéler aisée, il faut aussi tenir compte du fait que les nanoparticules ne doivent montrer aucune affinité, ou la plus faible possible, pour les zones d'inter-crête (ou pour revenir à l'analogie, pour l'extérieur du terrain de football). En effet, si les nanoparticules sont présentes au niveau des crêtes ainsi qu'entre les crêtes, le contraste résultant entre la trace et le support s'en trouvera considérablement diminué, au point de ne plus pouvoir être en mesure d'observer la trace. Dans la majorité des cas, cette zone d'inter-crête constitue le support même sur lequel la trace est présente. Selon sa composition ou sa porosité, ce dernier peut donc représenter un environnement propice à une déposition non sélective des nanoparticules si ces dernières ne sont pas correctement choisies ou élaborées.

La fonctionnalisation de surface

L'obtention d'un bon contraste entre une trace et un support particulier requiert une sélectivité accrue des nanoparticules pour les résidus de sécrétions, conjointement à une diminution de la déposition non sélective sur le support. Étant donné que l'affinité des nanoparticules en tant que telles pour des composés organiques ou inorganiques n'est généralement pas suffisamment sélective, le recours aux chaînes latérales, ou ligands, greffés au niveau de leur surface extérieure s'avère nécessaire. L'objectif consiste donc à adjoindre des groupements qui se montreront affins pour les sécrétions digitales afin de transformer les nanoparticules en senseurs ciblant spécifiquement les traces et non le support sous-jacent (figure 2).

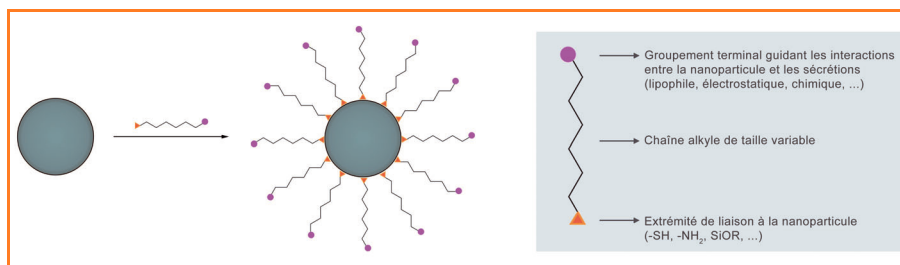


Figure 2 - Fonctionnalisation des nanoparticules à l'aide de ligands afin d'augmenter leur affinité pour les traces digitales.

Un des avantages des nanoparticules est la relative facilité avec laquelle le processus de greffage de chaînes latérales peut être effectué. Par exemple, pour des nanopar-

cules métalliques (d'or ou d'argent), il est possible de former des couches auto-assemblées à l'aide de chaînes thiolées ou aminées (figure 3). Les liens ainsi formés entre le métal et l'atome de soufre ou d'azote sont de nature covalente et sont donc relativement résistants à toute modification ultérieure. Une autre possibilité consiste à utiliser des nanoparticules de silice et d'y condenser une couche extérieure supplémentaire par l'ajout de silanes fonctionnalisés (ex. aminopropyltriméthoxysilane, voir figure 3). Ici aussi, la nature covalente de la liaison assure une fonctionnalisation durable et résistante aux différentes conditions expérimentales.

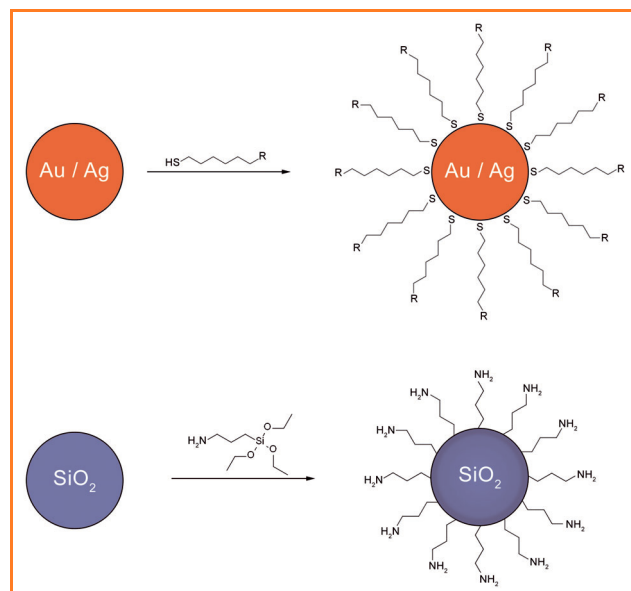


Figure 3 - Possibilités de fonctionnalisation de la surface externe des nanoparticules métalliques (en haut) ou de silice (en bas) à l'aide de ligands.

La question de la nature du groupement chimique terminal, à l'autre extrémité du ligand, sera abordée plus loin.

Les propriétés optiques

Parmi les techniques de détection les plus efficaces à l'heure actuelle, celles basées sur l'observation en luminescence permettent d'accroître considérablement la sensibilité d'une méthode. De même, elles offrent l'avantage de pouvoir faire abstraction des illustrations ou inscriptions présentes sur la surface sous-jacente (dans le cas de la détection de traces sur une lettre ou un magazine par exemple). Ce dernier aspect est certainement le point faible des techniques chromophoriques, particulièrement efficaces sur les surfaces claires et non illustrées mais souffrant d'une diminution de contraste et de détails visibles sur les autres types de surfaces. Dans le cadre de la mise au point de nouvelles techniques de détection basées sur les nanoparticules, il apparaît donc indispensable d'utiliser des nanoparticules luminescentes.

Certaines nanoparticules sont luminescentes par nature. C'est le cas notamment des *quantum dots* [3-4], nanocristaux semi-conducteurs de taille < 10 nm et dont la longueur d'émission est directement reliée au diamètre. Leur avantage réside dans le fait que le domaine d'excitation est commun à toutes les tailles. Ceci signifie que des *quantum dots* de différentes tailles vont émettre en même temps dans leurs couleurs respectives, à partir d'une seule source d'excitation. L'avantage qui découle de cette caractéristique est la possibilité d'effectuer une détection multi-colorée simultanée de divers éléments, comme c'est déjà le cas en bio-imagerie (figure 4).

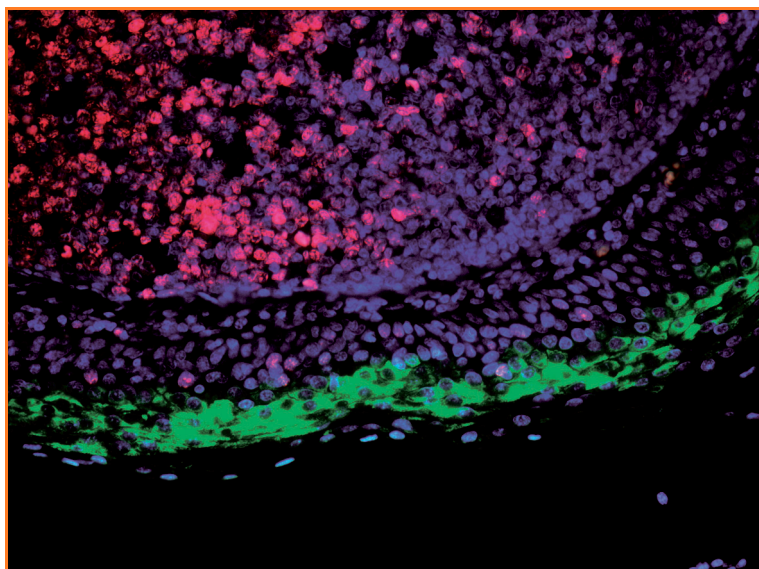


Figure 4 - Section d'une amygdale humaine visualisée à l'aide d'un kit commercial contenant divers *quantum dots*, de taille variable, visualisés simultanément (© 2009 Invitrogen Corporation, tous droits réservés).

D'autres nanoparticules ne sont pas luminescentes par nature, par exemple les nanoparticules de silice, mais peuvent le devenir par incorporation de colorants luminescents organiques. Une telle procédure présente deux avantages :

- les colorants organiques peuvent ainsi être isolés du milieu environnant et notamment de l'oxygène responsable de leur dégradation ;
- une nanoparticule peut contenir plusieurs centaines ou milliers de colorants luminescents, augmentant par la même occasion l'intensité de détection [5].

Ce faisant, la nanoparticule devient en quelque sorte un transporteur de luminescence (figure 5).

En considérant ces trois caractéristiques de manière combinée (taille, fonctionnalisation, luminescence), il est possible d'évaluer les avantages substantiels qu'offrent les nanoparticules sur les réactifs classiques : véritables nano-senseurs, transporteurs de luminescence et capables de cibler spécifiquement des composés présents en très faible quantité, tout en évitant les zones d'inter-crête. De plus, leur modularité est très vaste de par la capacité de pouvoir modifier, lors de la synthèse, la nature des ligands greffés en surface ou celle de la longueur d'onde d'émission (pour les *quantum dots*) ou du colorant organique incorporé (pour les nanoparticules non luminescentes). Ceci explique l'intérêt grandissant des sciences forensiques⁽³⁾ pour l'utilisation des nanoparticules, notamment comme nouveau moyen de détection des traces digitales.

Aperçu de quelques techniques basées sur l'utilisation de nanoparticules

L'utilisation de nanoparticules pour la détection de traces digitales a connu un essor particulièrement marqué cette dernière décennie. Il est possible de classer les différentes recherches en fonction du mécanisme d'interaction entre les nanoparticules et les résidus de sécrétion. Pour rappel, l'un des avantages des nanoparticules est la possibilité de fonctionnaliser leur surface extérieure. Dans la partie introductive, il a été question du greffage de ligands à la surface des nanoparticules. Cependant, la question du groupement fonctionnel terminal, à l'autre extrémité du ligand, n'a pas encore été abordée (figure 2). Ce choix est capital car la nature du ligand ainsi greffé sur la nanoparticule d'intérêt va déterminer le mode d'interaction avec les sécrétions latentes.

En passant en revue les différents travaux publiés jusqu'à présent, il est possible d'identifier trois modes d'interactions privilégiés : interactions lipophiles, interactions électrostatiques, et réactions chimiques.

Interactions lipophiles

L'addition de chaînes alkyles (non fonctionnalisées au niveau du carbone terminal) à des nanoparticules permet d'accentuer leur caractère hydrophobe. En conséquence de quoi, l'affinité de ces nanoparticules pour les composés gras des traces digitales latentes s'en trouve accrue. Deux modes d'application peuvent être envisagés : par saupoudrage ou par immersion.

Le mode d'application le plus simple consiste à sécher les nanoparticules pour ensuite les appliquer sous forme de poudre. Certains chercheurs ont ainsi greffé des molécules d'oléylamine à la surface de nanoparticules d'or (et d'argent) (figure 6, gauche) avant de les faire sécher et les appliquer au pinceau sur des traces digitales [6]. Selon leur étude, les « nanopoudres » ainsi obtenues présentent une affinité augmentée pour les sécrétions, avec une résolution accrue et un bruit de fond quasi inexistant en comparaison des poudres classiques. Cependant, le contraste final obtenu est moindre qu'avec les poudres classiques, notamment en raison de la couleur grisâtre des nanoparticules d'or et d'argent utilisées (figure 6, droite). Dans le même ordre d'idée, d'autres chercheurs ont

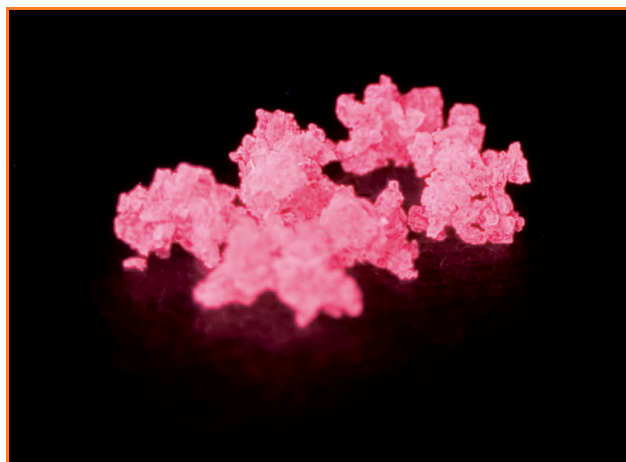


Figure 5 - Agrégat de nanoparticules de silice dans lesquelles un composé à base de ruthénium, luminescent, a été intégré.

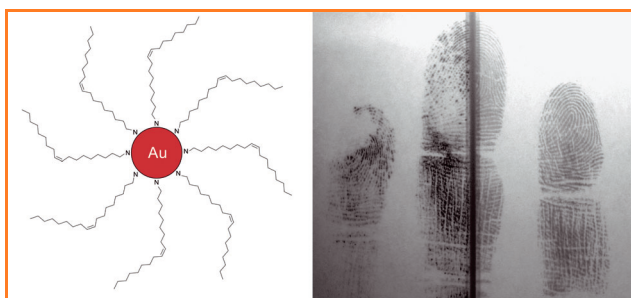


Figure 6 - À gauche : illustration du type de nanoparticule utilisée par Choi *et al.* [6] pour détecter des traces digitales ; à droite : comparaison entre l'utilisation d'une poudre classique (moitié gauche de la trace) et les nanoparticules d'or fonctionnalisées (moitié droite de la trace) [6].

basé leurs travaux sur l'adsorption de molécules d'éosine Y (pour la luminescence) et de phospholipides (pour l'interaction lipophile avec les sécrétions) sur des nanoparticules d'oxyde d'aluminium [7]. Leurs conclusions étaient identiques, à savoir que le saupoudrage de nanoparticules permettait une bonne définition des crêtes des traces fraîches.

Un défaut de l'application par saupoudrage est le manque de sélectivité. Si les traces ne sont pas très fraîches, une augmentation du bruit de fond peut apparaître. Pour cela, la détection des traces par immersion est généralement préférée au saupoudrage. Les nanoparticules fonctionnalisées par des chaînes alkyles n'étant plus solubles dans l'eau, l'utilisation d'un solvant organique s'avère nécessaire. Par le biais d'interactions lipophiles, on s'attend à une déposition importante de nanoparticules dans la matrice lipidique des traces latentes et non au niveau de la surface sous-jacente. Ainsi, des chercheurs ont observé que l'ajout de chaînes alkyles thiolées à des nanoparticules d'or (figure 7, gauche) permettait la déposition sélective de ces dernières sur des traces latentes lorsqu'elles étaient mises en solution dans de l'éther de pétrole [8]. Les particules n'étant pas luminescentes par elles-mêmes, une seconde étape était nécessaire pour permettre leur visualisation : la déposition *in situ* d'argent à la surface de l'or pour permettre la visualisation des traces sous forme noires/grises (figure 7, droite).

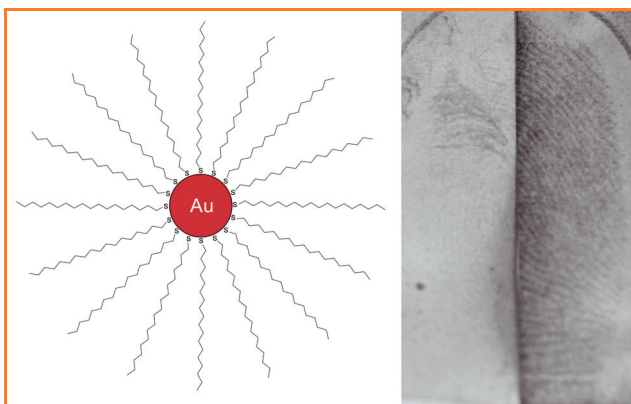


Figure 7 - À gauche : illustration du type de nanoparticule utilisée par Sametband *et al.* [8] pour détecter des traces digitales ; à droite : comparaison entre le révélateur physique dans sa version classique (moitié gauche de la trace) et la version améliorée à l'aide des nanoparticules (moitié droite de la trace) [8].

Processus physico-chimique et interactions électrostatiques

L'ajout de groupements ionisés, de charge opposée à celle des cibles contenues dans les résidus de sécrétion, est à la base des techniques physico-chimiques les plus utilisées en matière de détection de traces digitales latentes. Ainsi, la déposition multimétallique (MMD) – dont le protocole simplifié est illustré à la figure 8 – consiste dans un premier temps à immerger des échantillons dans une solution d'or colloïdal⁽⁴⁾ dont le pH a été fixé entre 2,5 et 3. Ce faisant, certains composés organiques contenus dans les sécrétions latentes présentent une charge positive. Au même instant, les ions citrates adsorbés à la surface des nanoparticules d'or confèrent à ces dernières une charge négative permettant l'établissement d'une force électrostatique d'attraction. Les nanoparticules d'or ainsi déposées n'étant pas visibles en l'état (ou très faiblement, sous la forme de traces rose pâle), une seconde étape consiste à faire réduire un sel d'argent en argent métallique à la surface des nanoparticules d'or. Le résultat final est l'obtention de traces digitales colorées en marron foncé/gris noir (figure 9, gauche).

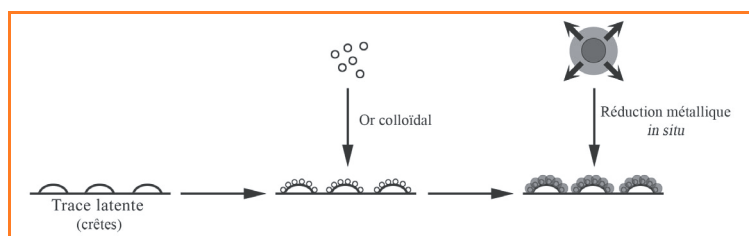


Figure 8 - Protocole d'application de la déposition multimétallique (MMD).

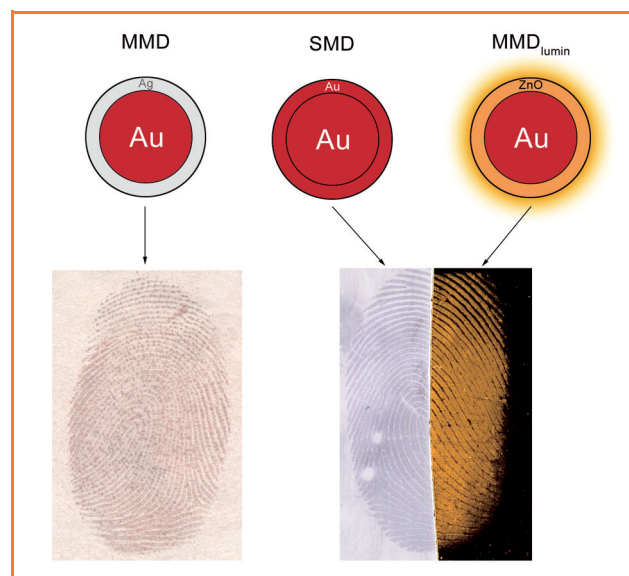


Figure 9 - Évolution de la déposition multimétallique (MMD), avec le développement de la déposition monométallique (SMD) [11] et de la MMD luminescente [13].

Cette technique a été proposée en 1989 par Saunders [9], puis optimisée en 2001 [10]. Elle a ensuite fait l'objet de plusieurs recherches et évolutions diverses (figure 9, centre et droite). Premièrement, une alternative à la MMD a été proposée : la déposition monométallique, nommée « SMD » [11-12]. Dans cette variante de la MMD, l'étape de renforcement

à l'argent a été remplacée par un renforcement à l'or. Une diminution des produits chimiques utilisés, des coûts moindres ainsi qu'une efficacité identique en termes de qualité de détection font de la SMD une alternative avantageuse à la MMD. Malgré leur efficacité, la MMD et la SMD mènent à l'obtention de traces colorées et sombres. L'efficacité de ces techniques est donc diminuée pour des surfaces autres que claires et/ou transparentes. Récemment, la mise au point d'une MMD luminescente a cependant permis d'entrevoir la possibilité d'élargir le champ d'application de cette technique aux surfaces de tout type [13]. Actuellement limitée aux surfaces non poreuses (claires, sombres ou illustrées), cette variante se base sur la déposition d'une couche de ZnO en lieu et place de l'argent (pour la MMD) ou de l'or (pour la SMD) sur les nanoparticules d'or localisées au niveau des traces digitales.

L'interaction électrostatique est également à la base de l'affinité des *quantum dots* en solution aqueuse pour les résidus de sécrétions, comme observé récemment [14-16]. Le succès de la détection des traces digitales réside dans l'adsorption de molécules d'acide thioglycolique autour des *quantum dots*, permettant leur solubilisation en solution aqueuse. En plus de l'attraction électrostatique, l'affinité naturelle des *quantum dots* pour l'hémoglobine a permis de détecter avec succès des traces ensanglantées sur support noir [14] (figure 10).

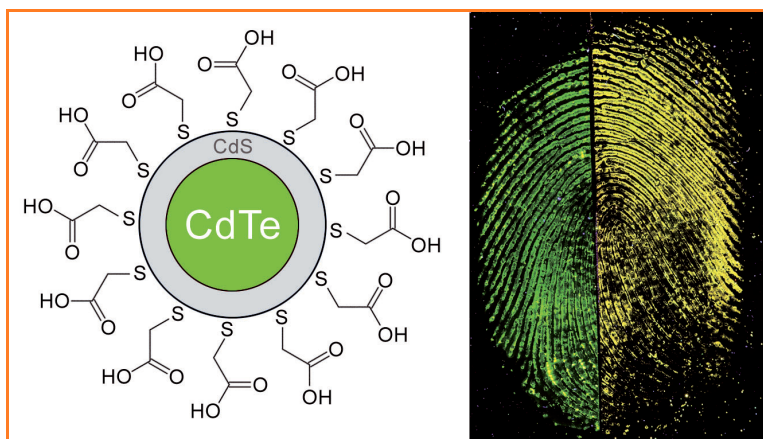


Figure 10 - À gauche : illustration du type de nanoparticule utilisée par Becue *et al.* [14] pour détecter des traces digitales ; à droite : comparaison entre l'utilisation de l'Acid Yellow 7, un colorant au sang actuellement utilisé, (moitié droite de la trace) et les *quantum dots* (moitié gauche de la trace) pour la détection d'une trace ensanglantée [14].

Enfin, l'utilisation de nanoparticules fonctionnalisées avec des anticorps a récemment permis la détection de sites antigéniques présents au sein des résidus de sécrétion, notamment certains métabolites (par exemple la cotinine, un dérivé de nicotine sécrété par les fumeurs) [17-18]. Ce type de détection est hautement spécifique de par la relation intrinsèque liant les anticorps à leurs antigènes. Dans ce cas, les nanoparticules ne présentent pas de propriétés optiques, mais jouent plutôt le rôle de convoyeurs d'anticorps, permettant ainsi d'augmenter la concentration *in situ* d'anticorps sur les crêtes et d'intensifier le signal de détection de ces derniers.

Réactions chimiques

L'introduction de groupements susceptibles de former des liaisons covalentes entre les nanoparticules et les résidus

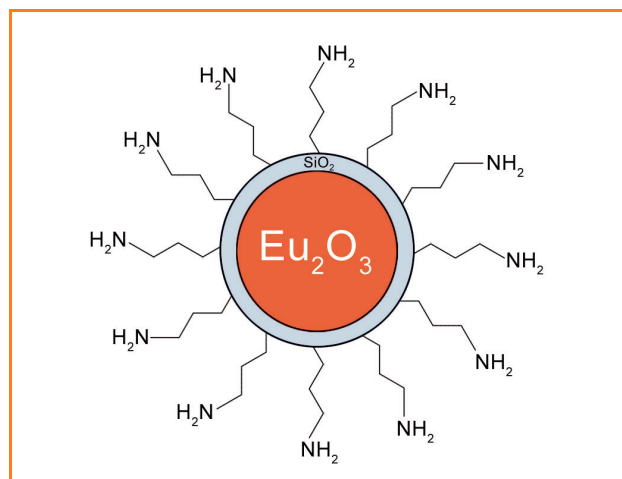


Figure 11 - Type de nanoparticule utilisée par Menzel *et al.* [19] pour détecter des traces digitales.

de sécrétion constitue certainement le mode le plus spécifique en termes de détection de traces digitales. Cette stratégie a cependant été très peu utilisée jusqu'alors. Seuls les travaux de Menzel peuvent être associés à une reconnaissance chimique au sens strict du terme, à savoir : la formation de liens covalents par réaction chimique entre les traces digitales et les nanoparticules fonctionnalisées [19]. Ses travaux ont consisté à greffer des chaînes alkyles présentant une fonction amine en bout de chaîne sur des nanoparticules d'oxyde d'euprécium luminescentes (figure 11). Le but recherché était la formation de liens peptidiques entre les nanoparticules et les acides aminés contenus dans les résidus de sécrétion. Le protocole développé requerrait d'immerger l'échantillon pendant 30 min (voire plus) en chauffant à 70-80 °C, ce qui n'est pas compatible avec une application opérationnelle de la technique. Cependant, les résultats encourageants peuvent laisser supposer que ce type d'interactions sera considéré dans des travaux futurs, après optimisation.

Conclusions

Les nanoparticules présentent un intérêt certain et grandissant dans la lutte contre le crime, notamment en termes de détection des traces digitales. Les travaux publiés ces dernières années, dont un petit aperçu a été illustré dans cet article, permettent de se rendre compte de la diversité offerte aux chercheurs en termes de structures chimiques, mais également en termes de modes de détection (luminescence...). Les résultats très encourageants laissent à présager la venue prochaine de méthodes modernes et efficaces basées sur les nanoparticules en application opérationnelle.

Remerciements

L'auteur souhaite remercier le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique pour le soutien apporté à la recherche dédiée à la mise au point de nouvelles techniques de détection de traces digitales basées sur l'utilisation de nanoparticules fonctionnalisées luminescentes (Financement Ambizione no. PZ00P2_121907/1).

Notes et références

- (1) Les *traces « papillaires »* incluent implicitement les traces « digitales », issues du contact du bout des doigts avec une surface, mais également toute trace issue du contact avec une autre surface papillaire du corps humain, telles la paume des mains ou la plante des pieds par exemple. Dans cet article, le terme « trace digitale » sera utilisé pour faciliter la compréhension, en gardant à l'esprit que l'ensemble des techniques décrites s'appliquent également aux traces papillaires dans leur sens large.
- (2) Le lien entre une technique de détection et la résolution d'une crête peut être défini comme la capacité d'une méthode à pouvoir reproduire parfaitement la topologie des bords de crêtes ainsi que la présence et la forme des pores au sein de ces dernières.
- (3) Les *sciences forensiques* sont définies comme l'ensemble des principes scientifiques et des techniques appliqués à l'investigation criminelle, pour prouver l'existence d'un crime et aider la justice à déterminer l'identité de l'auteur et son mode opératoire (Pierre Margot, communication personnelle).
- (4) L'*or colloïdal* consiste en une suspension de nanoparticules d'or – ici d'un diamètre de 14 nm – dans une solution aqueuse ou organique.
- [1] Champod C., Lennard C., Margot P., Stoilovic M., *Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions*, CRC Press, **2004**.
- [2] Ramotowski R.S., Composition of latent print residue, in *Advances in Fingerprint Technology*, 2nd ed., H.C. Lee, R.E. Gaensslen (eds), CRC Press, **2001**, p. 63-104.
- [3] Gaponik N., Rogach A.L., Aqueous synthesis of semiconductor nanocrystals, in *Semiconductor Nanocrystal Quantum Dots - Synthesis, Assembly, Spectroscopy and Applications*, A.L. Rogach (ed.), Springer, **2008**, p. 73-99.
- [4] Reiss P., Synthesis of semiconductor nanocrystals in organic solvents, in *Semiconductor Nanocrystal Quantum Dots - Synthesis, Assembly, Spectroscopy and Applications*, A.L. Rogach (ed.), Springer, **2008**, p. 35-72.
- [5] Tan W., Wang K., He X. *et al.*, Bionanotechnology based on silica nanoparticles, *Medicinal Research Reviews*, **2004**, 24, p. 621.
- [6] Choi M.J., McDonagh A.M., Maynard P. *et al.*, Preparation and evaluation of metal nanopowders for the detection of fingerprints on nonporous surfaces, *Journal of Forensic Identification*, **2006**, 56, p. 756.
- [7] Sodhi G.S., Kaur J., Nanoparticle size fingerprint dusting composition based on fluorescent eosin Y dye, *Fingerprint World*, **2006**, 32, p. 146.
- [8] Sametband M., Shweky I., Banin U., Mandler D., Almog J., Application of nanoparticles for the enhancement of latent fingerprints, *Chemical Communications*, **2007**, p. 1142.
- [9] Saunders G., Multimetal deposition method for latent fingerprint development, 74th Annual educational conference of the International Association for Identification, Pensacola (FL), **1989**.
- [10] Schnetz B., Margot P., Technical note: Latent fingerprints, colloidal gold and multimetal deposition (MMD) - Optimisation of the method, *Forensic Science International*, **2001**, 118, p. 21.
- [11] Stauffer E., Becue A., Singh K.V., Thampi K.R., Champod C., Margot P., Single-metal deposition (SMD) as a latent fingerprint enhancement technique: an alternative to multimetal deposition (MMD), *Forensic Science International*, **2007**, 168, p. e5.
- [12] Durussel P., Stauffer E., Becue A., Champod C., Margot P., Single-metal deposition (SMD): optimization of this fingerprint enhancement technique, *Journal of Forensic Identification*, **2009**, 59, p. 80.
- [13] Becue A., Scoundrianos A., Champod C., Margot P., Fingerprint detection based on the in-situ growth of luminescent nanoparticles - Towards a new generation of multimetal deposition, *Forensic Science International*, **2008**, 179, p. 39.
- [14] Becue A., Moret S., Champod C., Margot P., Use of quantum dots in aqueous solution to detect blood fingerprints on non-porous surfaces, *Forensic Science International*, **2009**, 191, p. 36.
- [15] Wang Y.F., Yang R.Q., Wang Y.J., Shi Z.X., Liu J.J., Application of CdSe nanoparticle suspension for developing latent fingerprints on the sticky side of adhesives, *Forensic Science International*, **2009**, 185, p. 96.
- [16] Liu J.J., Shi Z.X., Yu Y., Yang R.Q., Zuo S., Water-soluble multicolored fluorescent CdTe quantum dots: synthesis and application for fingerprint developing, *Journal of Colloid and Interface Science*, **2010**, 342, p. 278.
- [17] Leggett R., Lee-Smith E.E., Jickells S.M., Russell D.A., "Intelligent" fingerprinting: simultaneous identification of drug metabolites and individuals by using antibody-functionalized nanoparticles, *Angewandte Chemie Int. Ed.*, **2007**, 46, p. 4100.
- [18] Hazarika P., Jickells S.M., Russell D.A., Rapid detection of drug metabolites in latent fingerprints, *Analyst* (Cambridge, UK), **2009**, 134, p. 93.
- [19] Menzel E.R., Schwierking J.R., Menzel L.W., Functionalized europium oxide nanoparticles for fingerprint detection: a preliminary study, *Journal of Forensic Identification*, **2005**, 55, p. 189.

**Andy Becue**

est maître-assistant (financé par le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique) à l'Institut de Police Scientifique de Lausanne*.

* Institut de Police Scientifique, École des Sciences Criminelles, Batochime, Université de Lausanne, CH-1015 Lausanne (Suisse).
Courriel : andy.becue@unil.ch



www.lactualitechimique.org
Connaissez-vous bien le site de l'AC ?

Vous y trouverez :

- le sommaire et l'éditorial du dernier numéro
- des actualités
- un moteur de recherche

Et aussi :

- les articles en ligne (certains accessibles gratuitement, d'autres au prix de 4 €)
- les archives des numéros thématiques (depuis 1999) ou à rubriques (depuis 2000)

Sans oublier que vous pouvez également :

- acheter un numéro en pdf
- vous abonner à la version électronique

Alors vite, à votre souris !