



UNIL | Université de Lausanne

Unicentre

CH-1015 Lausanne

<http://serval.unil.ch>

Year : 2017

Développement d'une méthodologie d'exploitation des images témoins en science forensique

Milliet Quentin

Milliet Quentin, 2017, Développement d'une méthodologie d'exploitation des images témoins en science forensique

Originally published at : Thesis, University of Lausanne

Posted at the University of Lausanne Open Archive <http://serval.unil.ch>

Document URN : urn:nbn:ch:serval-BIB_3EB2A2A2D2F40

Droits d'auteur

L'Université de Lausanne attire expressément l'attention des utilisateurs sur le fait que tous les documents publiés dans l'Archive SERVAL sont protégés par le droit d'auteur, conformément à la loi fédérale sur le droit d'auteur et les droits voisins (LDA). A ce titre, il est indispensable d'obtenir le consentement préalable de l'auteur et/ou de l'éditeur avant toute utilisation d'une oeuvre ou d'une partie d'une oeuvre ne relevant pas d'une utilisation à des fins personnelles au sens de la LDA (art. 19, al. 1 lettre a). A défaut, tout contrevenant s'expose aux sanctions prévues par cette loi. Nous déclinons toute responsabilité en la matière.

Copyright

The University of Lausanne expressly draws the attention of users to the fact that all documents published in the SERVAL Archive are protected by copyright in accordance with federal law on copyright and similar rights (LDA). Accordingly it is indispensable to obtain prior consent from the author and/or publisher before any use of a work or part of a work for purposes other than personal use within the meaning of LDA (art. 19, para. 1 letter a). Failure to do so will expose offenders to the sanctions laid down by this law. We accept no liability in this respect.



UNIL | Université de Lausanne

Faculté de droit, des sciences criminelles et d'administration publique

Ecole des sciences criminelles

Développement d'une méthodologie d'exploitation des images témoins en science forensique

Thèse de doctorat

Quentin Milliet



UNIL | Université de Lausanne
Ecole des sciences criminelles
bâtiment Batochime
CH-1015 Lausanne

IMPRIMATUR

A l'issue de la soutenance de thèse, le Jury autorise l'impression de la thèse de
M. Quentin Milliet, candidat au doctorat en science forensique, intitulée

« Développement d'une méthodologie d'exploitation des images témoins en
science forensique »

Le Président du Jury



Professeur Olivier Ribaux

Lausanne, le 19 juin 2017



UNIL | Université de Lausanne

Faculté de droit, des sciences criminelles et d'administration publique
Ecole des sciences criminelles

Développement d'une méthodologie d'exploitation des images témoins en science forensique

Thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur ès Sciences en
science forensique

Quentin Milliet

Directeur de thèse
Prof. Olivier Delémont

Lausanne, 2017

ISBN 2-940098-80-8

Quentin Milliet

Développement d'une méthodologie d'exploitation des images témoins en science forensique

Août 2017

Président du jury

Prof. Olivier Ribaux

Membres du jury

Lieutenant-colonel Laurent Chartier, Prof. Christophe Champod et Dr Jean-Luc Gremaud

Directeur de thèse

Prof. Olivier Delémont

Université de Lausanne

École des Sciences Criminelles

Faculté de droit, des sciences criminelles et d'administration publique

1015 Lausanne

Résumé

Cette thèse de doctorat propose une méthodologie qui met en valeur le potentiel latent de l'image témoin pour la reconstruction forensique d'un évènement. Les images témoins englobent toutes les images liées à un évènement, qu'elles proviennent de systèmes de surveillance, de témoins, de protagonistes ou des premiers intervenants. De nature ambiguë, elles constituent une mémoire de ce qui se déroule avant, pendant et après un évènement. Elles sont décomposées en traces visuelles et auditives de l'évènement ainsi qu'en traces du système d'enregistrement. Omniprésentes dans les enquêtes actuelles, leur utilisation pose plusieurs défis : les intégrer à l'enquête pour obtenir des indices et des moyens de preuve ; exploiter tout leur potentiel lorsque l'évènement a une certaine durée et qu'une masse d'images doit être gérée ; combiner des photographies et des vidéos enregistrées par plusieurs appareils, fixes et mobiles. En vue d'amener des solutions concrètes à ces défis, cette recherche s'applique à formaliser l'exploitation des images témoins pour reconstruire des activités criminelles de manière efficiente.

La première étape de recherche consiste en une revue de la littérature sur l'utilisation des images en science forensique et les bonnes pratiques, avec une réflexion sur le rôle des images. La seconde étape formalise une méthodologie appliquée, construite sur la base des cas pratiques traités par le chercheur. La troisième étape explore les expériences de praticiens suisses et européens à l'aide d'entretiens individuels et de groupe pour co-construire une méthodologie partagée. La quatrième étape confronte ces manières d'exploiter les images témoins pour proposer une méthodologie consolidée.

Cette méthodologie amène une solution structurée pour gérer les questions, les informations et le matériel d'une affaire litigieuse. Elle intègre graduellement les images qui proviennent de différents appareils et permet d'obtenir des informations mesurables sur la réalité spatiale et le déroulement chronologique. La recherche a permis de mettre en avant plusieurs niveaux d'observation, d'exploitation et de communication qui combinent des traces fragmentaires, illisibles ou ambiguës pour révéler des informations nouvelles. Ces nouveaux indices peuvent amener les enquêteurs et les magistrats à ajuster le périmètre et la fenêtre temporelle de l'affaire, générer des hypothèses sur le déroulement des actions et interactions des protagonistes ou des témoins et modifier la direction de l'enquête.

La plus-value amenée par la reconstruction 3D, la chronologie ou les indices sonores devient plus explicite pour les praticiens et les parties prenantes de l'enquête. Le fait de percevoir ce potentiel latent des images constitue un nouveau paradigme. Le potentiel de reconstruction des images est anticipé ; l'observation des images change. Les enjeux pour l'avenir sont de renforcer l'intégration des nouvelles technologies de l'image tout en développant l'accès à une reconstruction ouverte lors de l'enquête et du procès. Un tel accès permettrait aux parties de formuler et d'apprécier leurs propres hypothèses sur le déroulement de l'évènement.

Remerciements

Ce travail a été réalisé à l'École des Sciences Criminelles sous la direction du Professeur Olivier Delémont, que je remercie pour son sens critique dans l'encadrement de ma thèse de doctorat.

Le président du jury de thèse, le Professeur Olivier Ribaux, Directeur de l'École des Sciences Criminelles, qui a remplacé le Prof. Pierre Esseiva au pied levé lors de la présentation de thèse. Les membres du jury, le Lieutenant-Colonel Laurent Chartier, chef de la division des opérations du Service Central du Renseignement Criminel du Pôle Judiciaire de la Gendarmerie Nationale, le Professeur Christophe Champod de l'École des Sciences Criminelles, et le Dr Jean-Luc Gremaud, chef de la Police judiciaire de Lausanne qui ont apporté une dernière critique constructive à cette thèse.

Éric Germain Sapin, qui m'a motivé à faire une thèse en imagerie, pour sa patience et son soutien inconditionnel à mon travail. La richesse de son expérience et de son savoir-faire en imagerie forensique fait de lui un mentor inégalé. La progression de ce travail aurait sans doute été différente sans les moult discussions informelles sur la manière d'approcher les cas pratiques.

Professeure Manon Jendly, Fabienne Fasseur et Marion Zwyzart pour leur motivation sans borne et leurs compétences en sciences humaines, particulièrement bien aiguisées en méthodes qualitatives.

Professeur Pierre Margot pour sa passion des traces qu'il a su transmettre à beaucoup d'étudiants, pour ses remarques avisées et sa contribution aux articles publiés.

Professeur Christophe Champod pour sa disponibilité, son enthousiasme et sa supervision éclairée de mes travaux d'expertise.

Les chefs des polices judiciaires de Lausanne, de Neuchâtel et du Jura, respectivement Jean-Luc Gremaud, Olivier Guéniat, qui nous a quittés trop tôt, et Bertrand Schnetz pour leur soutien au développement de l'exploitation des images témoins en Suisse romande.

Les procureurs des cantons du Valais, du Jura et de Neuchâtel : Dominique Lovey, Marie-Line Voirol Revaz, Catherine Seppey, Laurie Roth, Frédérique Comte, Valérie Cortat, Daniel Farine, Jean-Marie Ruede, Daniel Hirsch et Yanis Callandret pour leur confiance et les mandats confiés.

Daniel Correvon pour le partage de ses connaissances et de son expérience dans la reconstruction des accidents de la route que nous avons traités ensemble.

Steve Rosset, Sami Hafsi, Justin Perret, Fabio Benoît, Gilles Guignard, Philippe Schucany, Raphaël Jallard, Philippe Bongard, Jean-Pierre Zehnder, Thierry Chuat, Thierry Leibacher, Vincent Buchs, Nathalie Sester, Julien Pasquier, David Rösli, Pascal Hochstrasser, Steve Christin et les collègues neuchâtelois pour leur ouverture d'esprit, le partage de leurs expériences pratiques et leurs conseils.

Gilles Chételat, Frédéric Michel, David Schneider, Céline Comment, Philippe Hanser, Gauthier Montavon, Sylvie Rohrer, Egon Barosso, Guillaume Grange, Swea Lonchamp, Jérôme Schrago, Philippe Maître, Dimitri Raetz, et les autres collègues jurassiens pour leur accueil chaleureux et le partage de leurs expériences dans les enquêtes judiciaires.

Sophie Pitteloud, Adrien Mathieu, Nadine Roeschli, Jérôme Gross, Yvan Mayoraz et les autres inspecteurs de la police cantonale valaisanne pour les riches échanges lors de nos collaborations.

Son excellence Christine Schraner Burgener, Daniel Fasnacht, Jürgen Störck, Raphaël Mularoni, Claudia Rizzo, Jost Herrmann, les experts forensiques Beatrice Schiffer, Fabiano Riva et Matthieu Glardon ainsi que les collaborateurs du Département Fédéral des Affaires Étrangères qui m'ont permis de réaliser plusieurs missions en Thaïlande.

Dr Kanit Na Nakorn, Somchai Homlaor, Sunee, Poon, Mim, Note, Yada, Jo, Dong, Jasmine, Kat, Mangpor et tous les collègues de la Commission de Vérité pour la Réconciliation de la Thaïlande pour leur implication dans cette commission et leur aide dans la réalisation de mon travail.

Les pairs des groupes d'imagerie suisse et européen, en particulier Lorenzo, Andrea, Marcel, Roland, Damien, Carine, Jérémie, Martin, Jurrien, Patrick, Reuben, Sotiris, Tomaz, Petr, Fredrik, Denis, Benedek, Carlos, Riise, Sergio, Peter, Claudio, Alice et Christophe.

Les relecteurs de mes articles, pour leurs nombreux commentaires qui ont contribué à améliorer la qualité des publications.

Mes collègues et amies Đurđica et Isabelle, avec qui j'ai étudié, qui m'ont toujours soutenu et qui ont ouvert la voie en réussissant leur doctorat avec brio.

Mes collègues et amis Seymour et Jérôme qui m'ont donné moult conseils et qui ne sont jamais loin.

Mes collègues de l'École des Sciences criminelles Thibault, Raymond, Martin, Willy, Christophe, Alex, Franco, Quentin, Céline, Natacha, Daniel, Julian, Jean-Michel, Stéphane, Line, Nathalie, Nicolas et tous les autres avec qui j'ai partagé de nombreux moments d'échanges, riches en caféine et en bonnes idées.

Candice, Marie-Sylvie, Zim, Simon, Natacha, Florence, Flore, Line, Nicolas, Kurt, David, Barbara, Gaël et toute l'équipe de la volée avec qui j'ai passé ma licence en science forensique et démarré l'aventure dans ce domaine.

Mes amis Flavien, Luca, Valentin, David, Olivier, Sina, Pierre, Raphaël, Simon, Christophe, Pietro, Nils, Amanda, Maude, Dominik et tous les autres pour les moments de détente et de rigolade qui ont allégé ce travail.

Ma mère Anne, mon père Pierre, mon beau-père Rémi, mon frère Sam, mes sœurs Nathalie, Carol, Céline, Julie, mon frère Gilles, ma cousine Garance, mes cousines Betsy et Ketsya, Tristan, Mike, Fabian, Phil, la famille élargie.

Mes filles Noa et Calie pour leur joie de vivre et leur insouciance.

Ma chère Marion pour sa patience et son soutien sans faille.

Glossaire

Tableau avec les termes anglais et français utilisés dans ce travail et leur sens proposé par l'auteur.

English	Français	Sens
Approach	Approche	Manière d'aborder un problème déterminé en se posant les bonnes questions.
Best practices	Bonnes pratiques	Recommandations et séquences de tâches et d'opérations à effectuer pour réaliser l'ensemble du travail (gestion, contrôle, infrastructure, formation du personnel, tests de compétences, etc.).
Guidelines	Lignes directrices	Suites de propositions de tâches et d'opérations (guide d'aide à la décision).
Image	Image	Enregistrement d'un signal lumineux par un système d'acquisition ; représentation (ou réplique) perceptible d'un être ou d'une chose ; ce terme désigne des photographies, des vidéos ou des photogrammes extraits de ces dernières.
Documentary image	Image documentaire	Image créée dans le cadre de l'enquête après un événement, selon des critères forensiques : opérateur connu, conditions prédéterminées pour créer une représentation en vue d'une utilisation judiciaire.
Witness image	Image témoin	Image de nature ambiguë enregistrée en marge de l'enquête avant, pendant ou après un événement, par tout opérateur ou système d'acquisition, de manière fortuite ou délibérée.
Trace image	Image trace	Image décomposée selon le type d'information qu'elle véhicule : son contenu informe sur l'environnement, le déroulement d'activités et la présence de personnes ou d'objets ; l'enregistrement d'un signal lumineux ou sonore sur un support numérique ou physique informe sur le système et les conditions d'acquisition.
Method	Méthode	Mise en œuvre d'outil et de savoir-faire permettant de réaliser une tâche ou une opération.

Methodology	Méthodologie	Structuration des étapes qui font évoluer l'image, le son et les métadonnées de l'état de trace à celui d'indice grâce au raisonnement hypothético-déductif.
Procedure	Procédure	Ensemble de consignes à appliquer avant d'effectuer une tâche déterminée.
Processes / Mechanism	Processus / Mécanisme	Raisonnement sur les interactions entre les étapes qui interviennent dans la production d'un résultat dans des conditions déterminées (exemples : documentation, classification, identification).
Processing	Traitement	Opération réalisée sur les images, le son, le code temporel (timecode) ou les métadonnées.
Protocol / Log - Checklist	Protocole / Checklist	Systématique d'utilisation d'outil(s) comprenant l'enregistrement des conditions d'utilisation.
Reasoning pathway	Raisonnement ¹	Manière cognitive et logique de comprendre les faits par les relations entre la présence et l'absence des personnes et des objets ou par des inférences à partir de connaissances et de faits (données).
Reconstruction	Reconstruction	Résultat de l'intégration d'indices matériels dans un système de mesure de l'espace et du temps qui s'appuie sur le raisonnement pour formuler et tester des explications sur le déroulement d'un évènement passé.
Research strategy	Stratégie de recherche	Articulation des phases du travail de recherche scientifique de la thèse de doctorat.
Standard operating procedure	Procédure de travail standardisée Mode opératoire standardisé	Séquence de consignes et d'opérations à suivre pour optimiser les résultats dans l'exécution d'une tâche déterminée.
Technique	Technique	Mise en œuvre adéquate d'un outil.

¹ Définition tirée du Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, <http://www.cnrtl.fr/definition/>, site visité le 20.07.2017

Workflow	Workflow Flux de travail	Progression de l'ensemble des tâches et opérations réalisées dans un cas déterminé.
----------	-----------------------------	---

Des groupes de travail internationaux actifs dans le domaine de l'imagerie forensique proposent également un glossaire en anglais des termes les plus courants (Scientific Working Groups on Digital Evidence and Imaging Technology, 2015). Au niveau européen, un document décrit les bonnes pratiques² liées au traitement des images, avec une terminologie détaillée (European Network of Forensic Science Institutes, 2015).

² https://s-five.eu/FIVE_Best_Practice_Manual.htm, site visité le 20.07.2017

Acronymes

ADN	Acide Désoxyribonucléique
CEI ou IEC	Commission Électrotechnique Internationale
DIWG	Digital Imaging Working Group de l'ENFSI (Europe)
DFAE	Département Fédéral des Affaires Étrangères
ESC	École des sciences criminelles
ENFSI	European Network of Forensic Science Institutes
EXIF	Exchangeable Image File Format
FIERS	Forensic Image Examination Rating Scale
GPS	Global Positioning System
QA	Assurance Qualité
IPS	Institut de Police Scientifique
IPTC	International Press Telecommunications Council
ISO	Organisation Internationale de Normalisation
IT	Technologie de l'Information
NIST	National Institute of Standards and Technology (USA)
SOP	Procédure de Travail Standardisée
SWGDE	Scientific Working Group on Digital Evidence (USA)
SWGIT	Scientific Working Group on Imaging Technology (USA)
TRCT	Commission de Vérité pour la Réconciliation de la Thaïlande
UTC	Temps Universel Coordonné

Table des matières

Résumé.....	i
Remerciements.....	ii
Glossaire.....	v
Acronymes.....	viii
Organisation du manuscrit.....	x
Chapitre 1 : Introduction	1
Images témoins, hier et aujourd’hui	1
Manque de formalisation	2
But du travail.....	3
Questions de recherche	3
Chapitre 2 : Revue de la littérature et réflexion sur le rôle des images	4
Images documentaires, images témoins et images traces.....	4
Bonnes pratiques existantes.....	8
Utilisation des images traces et questions d’investigation.....	9
Chapitre 3 : Stratégie et phases de recherche.....	12
Phase 1. Revue de la littérature	13
Phase 2. Application pratique et expériences personnelles	13
Phase 3. Exploration ancrée des expériences de praticiens	13
Phase 4. Consolidation de la méthodologie.....	14
Chapitre 4 : Développement d’une méthodologie consolidée	14
Méthodologie consolidée	16
Structure.....	17
Pré-analyse	19
Organisation.....	19
Analyse	33
Évaluation	35
Communication	37
Présentation.....	39
Chapitre 5 : Discussion des résultats.....	40
Intégration dans la pratique forensique.....	40

Procédures standardisées.....	43
Apport de la réflexivité propre et partagée.....	45
Limites de la stratégie de recherche.....	48
Méthodologie vivante et holistique.....	49
Pistes de recherche.....	50
Transférabilité de la stratégie de recherche.....	50
Recherche complémentaire.....	51
Chapitre 6 : Conclusion.....	54
Bibliographie.....	57

Organisation du manuscrit

Le chapitre 1 situe l'objet de la thèse de doctorat par rapport aux différentes utilisations des images témoins dans l'enquête et donne un exemple historique de leur utilisation. Puis, ce chapitre constate le manque de formalisation pour les exploiter en vue de reconstruire un évènement, avant de présenter le but du travail et les questions de recherche.

Le chapitre 2 résume la revue de la littérature et les réflexions sur le rôle des images en science forensique. Les bonnes pratiques existantes pour exploiter les images témoins en tant que traces et les possibilités d'utiliser ces traces pour répondre à des questions d'enquête sont abordées.

Le chapitre 3 expose la stratégie de recherche et ses phases principales.

Le chapitre 4 synthétise le développement d'une méthodologie consolidée de reconstruction d'évènement à partir d'images témoins.

Le chapitre 5 discute l'intégration de cette méthodologie dans les pratiques forensiques, l'apport de la réflexivité et des pistes de recherche.

Le chapitre 6 conclut le propos.

Chapitre 1 : Introduction

Cette thèse de doctorat traite de l'utilisation des images témoins en science forensique, en particulier de leur exploitation en vue de reconstruire un évènement dans le contexte de l'enquête. Elle s'intéresse à la méthodologie d'exploitation, soit à la structuration des étapes qui font évoluer l'image, le son et les métadonnées de l'état de trace à celui d'indice grâce au raisonnement hypothético-déductif (Milliet, *et al.*, 2014).

Les images témoins se rapportent à l'ensemble des images qui sont liées à un évènement passé. Elles se réfèrent aussi bien à des images enregistrées par des appareils fixes, comme les systèmes de vidéosurveillance, que mobiles, prises par des tiers, tels que des protagonistes, témoins, journalistes ou autres intervenants (secours, pompiers, policiers, etc.). Elles englobent les vidéos et les photographies. À la manière du témoin³ qui voit, qui entend quelque chose ou qui en est spectateur, ces images matérialisent une mémoire de l'évènement. Elles peuvent amener des preuves directes des activités qui se déroulent avant, pendant et après l'évènement.

La démarche forensique adoptée dans ce travail met en valeur les traces collectées dans le but de maximiser l'exploitation des images témoins pour reconstruire un évènement litigieux. Cette exploitation est basée sur la mesure des personnes, des objets, de l'espace et du temps. Ces informations sont intégrées dans une chronologie et une reconstruction 3D qui fournit un modèle pour générer et vérifier des hypothèses.

Cette recherche se concentre sur la contribution des images témoins à la reconstruction d'évènement. Cependant, ces images contribuent également d'autres manières à l'enquête judiciaire. Dans le domaine du renseignement, elles amènent notamment une plus-value pour la détection rapide de séries de délits (Rossy, *et al.*, 2013) et la mise en évidence de phénomènes criminels à l'aide des caractéristiques faciales des auteurs (Dessimoz et Champod, 2015).

Dans la suite du chapitre, l'utilisation des images témoins pour reconstruire des évènements est abordée sous l'angle historique avant de présenter le but et les questions de recherche.

Images témoins, hier et aujourd'hui

Il y a plus d'un siècle, Reiss documentait déjà l'utilisation d'une image témoin pour comprendre le déroulement de l'attentat du 16 novembre 1900 contre l'Empereur Guillaume II à Breslau (Reiss, 1903 ; Milliet, *et al.*, 2014). Reiss parle d'une image prise par un photographe amateur et publiée dans la presse ; il rend attentifs les spécialistes forensiques à l'apport de cette trace dans l'enquête. Dans ce cas, le témoin enregistré de manière fortuite Selma Schnapka, au moment où elle lançait une hachette en direction de la voiture de l'Empereur, qui défilait devant la foule (Auteur inconnu, 1900a ; 1900b ; 1900c).

³ Tiré de la définition du dictionnaire Littré, <http://www.littre.org/definition/t%C3%A9moin>, site visité le 20.07.2017

Si l'utilisation de photographies comme traces ne date pas d'hier, les développements techniques de ces dernières années ont favorisé la prolifération des images. Les moyens d'enregistrer photographies et vidéos se sont rapidement diversifiés et répandus. Les installations de vidéosurveillance privées ou publiques sont devenues courantes, tout comme les téléphones portables dotés de caméras (Timan et Oudshoorn, 2012). L'émergence de systèmes d'enregistrement ouverts a permis la diffusion rapide d'informations. Les citoyens sont devenus des journalistes capables de transmettre leur propre version des faits, quelle que soit la version officielle (Greer et McLaughlin, 2010 ; Greer et McLaughlin, 2012). La production continue d'informations contradictoires sur le déroulement d'événements ou sur les prises de position des acteurs de la sécurité a bouleversé la pratique de l'enquête policière. Images à l'appui, la police est parfois devenue une voix parmi d'autres dans le débat médiatique. En marge de l'extension du rôle de citoyen-journaliste, cette montée en puissance des images témoins a suscité un intérêt croissant vis-à-vis de leur utilisation dans les enquêtes criminelles.

Les images offrent de nouvelles sources d'informations susceptibles de compléter les indices fournis par les autres moyens d'enquête. Cette utilisation des images présuppose d'en reconnaître l'existence et l'utilité dès le début de l'enquête. Au-delà des premières constatations faites sur les systèmes de vidéosurveillance qui se trouvent à proximité de la scène de crime, la détection, la recherche et la récolte des images continuent tout au long de l'enquête. D'un point de vue forensique, chaque nouvelle image récoltée peut contribuer à éclaircir les faits. Cette recherche se concentre sur l'exploitation des images récoltées.

L'omniprésence des images témoins multiplie les opportunités de les utiliser pour reconstruire des événements ou des activités criminelles. Ces opportunités sont assorties de nouveaux défis. Le premier est de les intégrer dans les enquêtes pour en faire des indices puis des moyens de preuve. Le deuxième est d'en exploiter toute la richesse lorsque l'événement a une certaine durée et qu'il a entraîné la production d'une masse d'images. Le troisième est de combiner des photographies et des vidéos enregistrées par des sources diverses. Ces défis appellent un effort de formalisation de l'utilisation des images en tant que traces.

Manque de formalisation

Bien que les enquêtes utilisent les images quotidiennement, leur exploitation est encore très peu formalisée. L'auteur a été confronté au manque de solution méthodologique dans sa pratique d'expertises en imagerie forensique. Cette situation a été rencontrée dans le cadre d'un mandat du Département Fédéral des Affaires Étrangères (DFAE) pour travailler sur une affaire auprès de la Commission de Vérité pour la Réconciliation de la Thaïlande (TRCT). La TRCT a mené les investigations sur les événements violents qui se sont déroulés en Thaïlande entre avril et mai 2010⁴ et dont le bilan a été de 92 personnes décédées et de plus de 1500 blessés (Truth for Reconciliation Commission of Thailand, 2012a ; 2012b)⁵. La mission de l'auteur était de reconstruire certains de ces événements, en exploitant le grand nombre d'images témoins dont

⁴ Regulation of the Office of the Prime Minister on the Truth for National Reconciliation B.E. 2553 (2010)

⁵ <http://library.nhrc.or.th/ulib/document/Fulltext/F07939.pdf>, site visité le 20.07.2017

la TRCT disposait. Naturellement, l'auteur s'est demandé comment répondre aux questions de l'investigation à l'aide des images disponibles et s'il existait un moyen d'exploiter ces images comme traces en vue de reconstruire les actes et la chronologie de ces événements.

Force a été de constater le manque d'un cadre méthodologique qui guide l'exploitation des images en vue de la reconstruction spatio-temporelle d'événements passés (Milliet, *et al.*, 2014). Le fort potentiel des images assorti d'un manque de solution pratique a pleinement justifié cette thèse de doctorat pour étendre et améliorer l'utilisation des images en tant que traces au sens qu'en donne Margot (2014).

But du travail

Le but de ce travail est d'exploiter au mieux l'information véhiculée par l'image témoin comme support à la reconstruction forensique d'un événement. Pour ce faire, une méthodologie d'exploitation des images est développée à la croisée des réflexions personnelles et des expériences pratiques.

Cette méthodologie se veut une contribution à la formalisation de l'exploitation des images témoins et de leur intégration dans le contexte d'une enquête. Des lignes directrices doivent soutenir la réflexion du praticien et le choix des priorités afin de maximiser le potentiel informatif qui peut être extrait des traces visuelles. Ce travail souhaite fournir une base solide pour étendre l'utilisation des images non seulement en tant que moyens de preuve, mais également en tant qu'indices dans les processus d'investigation et de reconstruction d'activités litigieuses. Cette perspective d'utilisation élargie implique une compréhension des mécanismes, des raisonnements et des étapes qui interviennent dans la détection, la reconnaissance, l'extraction et la structuration de l'information véhiculée par l'image. Elle vise à renforcer les connaissances forensiques sur les manières d'utiliser les images dans le cadre de l'investigation.

Questions de recherche

Le manque de solutions méthodologiques adaptées aux problèmes pratiques rencontrés a mené aux questions de recherche suivantes :

- Est-il possible de développer une méthodologie structurée et applicable qui :
 - S'adapte aux questions investiguées ?
 - Soit capable d'intégrer des images traces qui proviennent de différents systèmes d'enregistrement ?
 - Permette de dégager des informations sur l'espace 3D et le temps à partir de ces images et du son ?
 - Soit évolutive et permette des raffinements en fonction des réflexions sur les expériences de l'auteur et de la confrontation avec la connaissance et l'expérience implicites d'autres praticiens ?

Pour amener des éléments de réponse à ces questions, le parcours de la recherche a été décomposé en plusieurs étapes, qui ont fait l'objet de publications dans des journaux avec comité de lecture. Cette démarche progressive et systématiquement soumise au regard critique des pairs a permis d'aboutir à une proposition de méthodologie cohérente et ancrée dans les connaissances actuelles. Les quatre étapes suivantes ont jalonné cette recherche :

1. Une revue de la littérature sur l'utilisation des images en science forensique et les bonnes pratiques existantes, avec une réflexion sur le rôle des images (cf. Annexe 1. Premier article).
2. La formalisation d'une méthodologie appliquée et empirique, construite sur la base des expériences personnelles (cf. Annexe 2. Second article).
3. La co-construction d'une méthodologie partagée avec des praticiens suisses et européens (cf. Annexe 3. Troisième article).
4. Le développement d'une méthodologie consolidée (cf. Annexe 4. Quatrième article) par la confrontation des méthodologies appliquée et partagée (cf. Annexe 6. Comparaison des méthodologies appliquée et partagée).

Le lecteur est invité à découvrir les résultats détaillés de la recherche dans les articles scientifiques publiés. Dans la phase préliminaire de la recherche, l'auteur a rédigé une contribution sur « Les défis d'une exploitation étendue de la photogrammétrie en criminalistique » (Weyermann, *et al.*, 2009). Il a également publié un article sur la perception des images et leur intégration dans une reconstruction 3D (Milliet et Sapin, 2016) (cf. Annexe 5). Un poster sur les indices temporels a été présenté en mars 2016 à Lausanne au « European Digital Forensic Research Workshop » (Lacour W, *et al.*, 2016).

Ce manuscrit est une synthèse des étapes et des conclusions de la recherche, qui reposent sur la combinaison et l'articulation de ces publications. Le chapitre qui suit présente les principales constatations tirées de la revue de littérature et d'une réflexion sur le rôle des images en science forensique.

Chapitre 2 : Revue de la littérature et réflexion sur le rôle des images

Ce chapitre résume et complète le premier article scientifique écrit par l'auteur avec Olivier Delémont et Pierre Margot, intitulé : « A forensic science perspective on the role of images in crime investigation and reconstruction ». Science & Justice l'a publié en décembre 2014. (Milliet, *et al.*, 2014).

Cette phase d'exploration de la littérature sur le rôle des images en science forensique a permis de mettre en évidence :

1. Les différences fondamentales entre les images documentaires et les images témoins, qui se décomposent en différents types de traces.

2. Les solutions méthodologiques existantes et leurs lacunes.
3. Les utilisations des images traces pour répondre aux questions fondamentales de l'investigation : Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ?

Images documentaires, images témoins et images traces

La distinction entre images documentaires, images témoins et images traces fait référence à des processus et finalités distincts :

- L'image documentaire est créée dans le cadre de l'enquête pour enregistrer un sujet et véhiculer une information choisie dans un contexte forensique.
- L'image témoin est liée à un événement passé. Elle est par nature ambiguë parce que réalisée en marge de l'enquête judiciaire, enregistrée dans des conditions non contrôlées et de qualité limitée. Elle enregistre des activités qui se déroulent avant, pendant et après le déclenchement d'une enquête judiciaire. Le lien avec l'évènement peut être ténu, périphérique ou même fortuit.
- L'image trace est décomposée selon le type d'information qu'elle véhicule. Son contenu informe sur l'environnement, le déroulement d'activités et la présence de personnes ou d'objets. L'enregistrement d'un signal lumineux ou sonore avec des métadonnées sur un support numérique ou physique informe sur le système et les conditions d'acquisition. Ces traces peuvent être mesurées.

Les images documentaires sont un moyen de documentation incontournable de la scène de crime pour enregistrer la configuration des lieux, la procédure suivie, les observations faites et les traces découvertes un certain temps après l'évènement (Martin, *et al.*, 2010). Les images servent aussi à documenter des personnes (suspects, personnes arrêtées, personnes décédées, etc.), des objets (habits, armes, outils, documents, etc.), des traces (blessures, traces de sang, traces de semelle, etc.) et les résultats d'examens (mesures, comparaisons, etc.) (Reiss, 1911). La construction de l'image est conditionnée par l'information qu'elle doit véhiculer. Le processus de documentation soutient la construction des images pour qu'elles aient une signification explicite dans le contexte forensique. Le contrôle du processus d'acquisition tend à produire une représentation fidèle et fiable du sujet. Malgré le fait que l'on perçoit volontiers les photographies comme des reproductions parfaites de la réalité, l'acte photographique en lui-même ne garantit pas une représentation exacte (Barthes, 1961). Le choix du point de vue a déjà une forte influence sur la reconnaissance d'un objet (Reiss, 1903). La photographie implique donc une réduction de l'information (perspective, projection de l'espace 3D, optique, acquisition par l'appareil, etc.) et une intention humaine (point de vue, cadrage du sujet, éclairage, effets, etc.). La photographie n'enregistre qu'une perspective limitée du monde réel à un temps donné en transformant la réalité en une réalité photographique nouvelle au travers de codes optiques, techniques, esthétiques et idéologiques (Rouillé, 2005).

Le travail de documentation photographique est basé sur des codes techniques qui permettent de mieux contrôler la relation entre la réalité photographiée et l'image produite. Ces codes facilitent également la communication, le partage de cette relation. Les documents produits par le Scientific Working Group on Imaging Technology (SWGIT) sont des exemples de codes techniques qui guident le travail de documentation photographique de diverses traces en décrivant également l'équipement et les procédures d'enregistrement (Scientific Working Group on Imaging Technology, 2010a ; 2010b). Une telle procédure d'acquisition permet d'harmoniser la relation entre la réalité et les images produites. D'autres exemples de codes ou bonnes pratiques utilisés en photographie forensique sont : l'utilisation d'un repère métrique pour connaître le rapport d'agrandissement et de charte de gris ou de couleurs pour maîtriser la reproduction des couleurs ; l'utilisation de caméras métriques pour contrôler la projection du monde en 3D sur le plan 2D afin de mesurer et d'établir des plans à partir de photographies générales (Bertillon, 1903). Le contrôle des indications temporelles permet de documenter l'évolution de l'état d'une scène, d'un objet ou d'une trace au cours du temps. Les contraintes liées au processus de documentation permettent d'obtenir le résultat escompté pour la reproduction d'un sujet ou l'exploitation d'une trace matérielle. Les conditions d'enregistrement sont choisies en fonction du résultat visé. Les images documentaires sont au centre du travail forensique et sont réalisées dans le cadre d'une enquête. Les images témoins sont d'une tout autre nature.

À la manière du témoin³ qui voit, qui entend quelque chose ou qui en est spectateur, ces images matérialisent une mémoire de l'évènement, une version des faits. Les images témoins peuvent être enregistrées par des témoins, des protagonistes, des journalistes ou d'autres intervenants variés (secours, pompiers, policiers qui sécurisent la scène, etc.). Elles comprennent aussi bien les vidéos que les photographies. Elles ne se limitent pas à un type d'appareil et peuvent provenir de n'importe quel système d'acquisition d'images comme des satellites, des drones, des caméras de surveillance, des appareils photo, des smartphones, des caméras embarquées dans les véhicules ou fixées à divers objets (jouets, stylo, etc.). Les images peuvent être analogiques ou numériques. Cependant, l'accent est volontairement mis ici sur les images numériques, qui représentent la grande majorité des images rencontrées à l'heure actuelle. Leur création est plus ou moins hors de contrôle. En effet, les conditions d'enregistrement liées à l'opérateur et au système d'acquisition peuvent être inconnues et engendrer une relation ambiguë avec la réalité que ces images représentent. Les images témoins peuvent aussi être enregistrées de manière fortuite. Le lien avec l'évènement peut être ténu ou périphérique. Celui qui les examine n'a en général pas eu de contrôle direct, ni même d'indice sur les conditions ou le moment d'enregistrement, qui permet par exemple de préciser le déroulement d'une activité au cours du temps. Les images témoins sont enregistrées en marge de l'intervention du magistrat. Elles sont ambiguës parce que :

- 1) Réalisées en l'absence du cadre légal qui définit les standards et les bonnes pratiques de documentation.
- 2) Le système d'acquisition ou l'opérateur peuvent être inconnus.

3) Leur qualité est limitée (résolution spatiale et tonale, flou, luminosité, contraste).

La notion d'image témoin mise en avant dans cette recherche se distingue de la notion de témoin prévue dans la loi. L'article 162 du code de procédure pénale⁶ (CPP) définit le témoin dans le cadre juridique suisse : « *On entend par témoin toute personne qui n'a pas participé à l'infraction, qui est susceptible de faire des déclarations utiles à l'élucidation des faits et qui n'est pas entendue en qualité de personne appelée à donner des renseignements.* » Les policiers peuvent témoigner dans le cadre d'une procédure pénale pour expliquer ce qu'ils ont vu, entendu ou enregistré d'un événement passé. Si les images témoins ne se réfèrent pas à une personne, ni une définition légale, elles peuvent par contre compléter un témoignage ou présenter une version des faits. Les policiers, souvent chargés de récolter et d'exploiter les images témoins dans les premières phases de l'enquête, peuvent être amenés à témoigner sur l'origine et sur les informations extraites de ces dernières. Dans ce rôle, le témoin authentifie les images, la manière dont elles ont été récoltées ainsi que le lieu et le moment où elles ont été enregistrées (Delage, 2006). L'accès aux témoignages se fait par la personne du témoin, qui a ses émotions, sa perception et sa mémoire de l'évènement. Reiss écrit à ce sujet : « *Le témoignage de témoins de sang-froid est fréquemment déjà peu sûr ; il devient tout à fait incertain et dangereux, si ces témoins sont excités par un événement aussi impressionnant qu'un incendie. Qu'on recueille donc ces témoignages, mais qu'on les contrôle soigneusement, avant de les utiliser, par l'audition d'autres témoins et par l'examen de la déposition du personnage suspect lui-même.* » (Reiss, 1911, p.344). Le prisme scientifique de Reiss ajoute cette notion de contrôle et de combinaison de plusieurs témoignages pour lever une partie de l'ambiguïté qui leur est associée. De manière analogue, les images témoins peuvent être exploitées de manière systématique pour augmenter le contrôle sur ces dernières.

Les images témoins constituent un enregistrement inédit d'un événement, qui n'est pas accessible autrement. Tout en conservant leur nature ambiguë de témoin, elles peuvent être décomposées en traces et exploitées dans l'enquête.

Les images traces véhiculent des informations sur la réalité représentée (1) et sur le système d'acquisition (2). Elles peuvent faire l'objet de mesures.

- 1) Le contenu de l'image est une représentation du sujet, créée par la lumière captée par l'objectif à l'endroit du point de vue. La lumière interagit avec les propriétés physiques et chimiques de la matière pour laisser des traces visuelles de la réalité qui peuvent amener des informations sur les conditions d'enregistrement de l'image (éclairage, point de vue, appareil, etc.) et l'évènement. Ces informations concernent l'environnement, les activités, les personnes, objets ou autres traces matérielles visibles. Elles sont visuelles et auditives, lorsque du son est enregistré avec l'image.

⁶ RS 312.0, Code de procédure pénale du 5 octobre 2007 (État le 1er janvier 2017)

- 2) Le système d'acquisition laisse sur un support une trace physique ou numérique avec des métadonnées. Cet aspect technique donne des informations sur les caractéristiques d'une image ; cela comprend le support des données, le système d'acquisition (caméra, lentille, etc.), les informations enregistrées en lien avec les conditions de prise de vue telles que les réglages photographiques, la date et l'heure, la position (coordonnées GPS), le format, les dimensions ou encore l'orientation.

L'accès à ces conditions est en principe lié à la source des images. Dans ce sens, la caractérisation des sources apporte une information utile à l'exploitation des images. Sans fournir de liste exhaustive, les sources peuvent être privées ou publiques, mobiles ou fixes, connues ou inconnues. Celles qui sont connues peuvent être associées à des conditions d'enregistrement (éclairage, point de vue, appareil, réglages, temps, etc.) établies. Ces dernières peuvent être utilisées pour renforcer l'exploitation des images.

La distinction de plusieurs typologies de traces permet de les mettre en valeur pour les exploiter, les mesurer et récupérer des informations spécifiques sur l'évènement. Par exemple, les traces de l'environnement qui entourent les activités et les protagonistes devraient être observées avec un soin particulier pour exploiter des informations sur la configuration des lieux ou le timing des déplacements. L'exploitation forensique des traces amène des possibilités de combinaison et de contrôle en vue d'obtenir des indices sur l'évènement. Le fait de considérer l'image comme un témoin souligne sa nature équivoque et son lien unique avec l'évènement passé. La notion de trace permet une découpe plus fine des informations véhiculées par l'image en vue de les exploiter au mieux. C'est dans les bonnes pratiques forensiques que peuvent être trouvées des solutions d'exploitation systématique des images pour obtenir des indices.

Bonnes pratiques existantes

Les bonnes pratiques (traduit de l'anglais « best practices ») écrites pour l'analyse des vidéos et des images sont plutôt destinées à des institutions, avec les aspects liés à l'administration des preuves. Elles contiennent bon nombre de recommandations au niveau de la gestion de la preuve, du contrôle et de l'assurance qualité, des infrastructures, de la gestion et du suivi du travail ou encore de la formation et des compétences du personnel (Scientific Working Group on Imaging Technology, 2009 ; Scientific Working Groups on Digital Evidence and Imaging Technology, 2010 ; Scientific Working Group on Imaging Technology, 2012a). Ces sujets sont en lien avec les efforts de la communauté scientifique pour mettre en place des procédures de travail standardisées et des protocoles de routine, qui s'inscrivent dans une démarche d'assurance qualité et d'accréditation complète (Bulbul, *et al.*, 2013 ; Rankin et Welsh, 2013).

Des lignes directrices complètes décrivent le prélèvement et l'extraction d'images à partir de supports de données numériques tels que les enregistreurs des systèmes de vidéosurveillance (Scientific Working Group on Imaging Technology, 2012b). Le SWGIT propose également un document sur la manière d'interpréter les résultats de comparaison d'objets ou de personnes à partir de photographies, avec une terminologie liée à une échelle verbale pour communiquer les conclusions (Scientific Working Group on Imaging Technology, 2013b).

Les documents du SWGIT sur l'examen des images fournissent des recommandations, une vue d'ensemble de possibles examens et interprétations ainsi que des exemples de workflows, qui décrivent l'ensemble des tâches et opérations réalisées dans un cas déterminé. Mis à part ces exemples concrets, les lignes directrices ne disent pas vraiment ce qu'il faut faire avec des images témoins pour répondre aux questions qui se posent dans une affaire.

Cependant, la revue de la littérature montre que des aspects de l'exploitation des images tels que l'élaboration d'une stratégie adaptée au cas, l'organisation des données, l'extraction d'information, la reconstruction ou encore l'interprétation du contenu sont traités de manière superficielle dans les lignes directrices et procédures existantes. L'utilisation des images traces pour soutenir l'enquête et la reconstruction du crime n'est pas formalisée. Il manque une approche structurée pour répondre aux questions de l'investigation – Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? – afin de fournir des solutions explicites aux praticiens. Le premier pas vers une méthodologie nouvelle, qui aborde une problématique qui n'est pas traitée par des bonnes pratiques, est de passer en revue l'utilisation des images pour répondre aux questions de l'enquête.

Utilisation des images traces et questions d'investigation

Les possibilités de réponse aux questions fondamentales offertes par les images traces et recensées dans une quarantaine de publications ont été passées en revue dans le premier article de la thèse de doctorat (Milliet, *et al.*, 2014). Les questions et les possibilités d'y répondre à l'aide des images sont résumées ci-après avant de dresser un bilan critique de la revue de la littérature.

La question de l'authenticité (Quelle est la source de l'image ?) des images est en premier lieu liée aux traces numériques laissées par l'appareil utilisé. Les défauts du capteur ou des mesures du bruit aléatoire peuvent permettre de déterminer l'origine d'une image (Lukas, *et al.*, 2005 ; Chen, *et al.*, 2008 ; van Houten et Geradts, 2009). L'authenticité est difficile à prouver, car elle implique de déterminer la source de l'image et de vérifier l'intégrité de son contenu. Le protocole du SWGIT discute la dégradation, l'édition et la perte d'informations comme des facteurs qui affectent l'authentification d'une image (Scientific Working Group on Imaging Technology, 2012a). Des bonnes pratiques pour l'authentification sont proposées par ce groupe de travail (Scientific Working Group on Imaging Technology, 2013a).

La question de l'intégrité (Est-ce que l'image a été manipulée ?) concerne plutôt le contenu de l'image. L'intégrité n'est prouvée que si l'authenticité est établie, c'est-à-dire que la source de l'image et son historique sont connus. Cependant, des incohérences d'échelle, d'éclairage ou d'ombrage du sujet sont des indicateurs de manipulation. De nombreuses techniques existent pour détecter les altérations du contenu (Farid, 2009). Même si aucune altération n'est détectée, une habile manipulation ou la mise en scène du sujet ne peut être exclue (Weiss, 2008). Le but d'une modification ainsi que les connaissances et outils nécessaires sont à considérer pour estimer la vraisemblance d'une manipulation présumée.

Les questions d'authenticité et d'intégrité, traitées dans les paragraphes précédents, sont cruciales puisqu'elles conditionnent la validité des données. Si cette problématique sort du cadre de la recherche, il est à noter qu'une des plus-values de la méthodologie est que la description et la comparaison systématique des données enregistrées constituent un outil puissant pour déceler la cohérence des éléments observés. Lorsque cette cohérence est recherchée, les éléments de réponse sur l'authenticité de l'image en question sont intégrés dans les données récoltées et exploitées.

Le cadre de la recherche vise à expliciter la manière d'exploiter le contenu informatif d'un ensemble d'images par rapport aux questions d'enquête. Celles-ci comprennent les questions relatives aux personnes (Qui ?) ou aux objets (Quoi ?) observés sur une image ainsi que les questions d'actpreuve

ivité sur l'espace (Où ?), le temps (Quand ?) et les actions (Comment ?). Le lecteur est invité à consulter le premier article pour plus de détails (Milliet, *et al.*, 2014) ; seuls les principaux résultats sont exposés ci-après.

Pour répondre aux questions Qui ? et Quoi ? la majorité des publications concernent l'utilisation des caractéristiques faciales ; d'autres la mesure de la taille ou de la démarche. De tels indices, caractérisés par une valeur probante plus faible que l'ADN ou les empreintes digitales, gagneraient à être combinés dans un canevas approprié qui permette de maximiser leur potentiel informatif (Dessimoz et Champod, 2015). Pour les objets, quelques articles traitent de la comparaison d'habits. Les études consultées sont principalement focalisées sur les techniques de mesure et les erreurs qui leur sont associées. Le débat est également centré sur le potentiel d'individualisation des caractéristiques observées afin d'utiliser les indices visuels comme preuve de la présence d'une personne ou d'un objet sur une image. La communauté scientifique a tendance à négliger les traces qui ne peuvent pas mener à l'individualisation parce que leur qualité est insuffisante. Pourtant, l'observation de traces visuelles, même partielles ou ambiguës, offre un potentiel sous-exploité de description et de classification de personnes ou d'objets.

Les études liées aux questions d'activité (Où ? Quand ? Comment ?) sont peu nombreuses comparées à celles qui concernent les personnes. Plusieurs publications traitent de la combinaison d'indices sur le temps et l'espace pour mesurer la vitesse de véhicules (Lanzi, *et al.*, 2006 ; Hoogeboom et Alberink, 2010). Les articles mettent l'accent sur l'utilisation des techniques, leur taux d'erreur et leur validation. Ces aspects donnent entre autres confiance en l'exactitude et en la précision des informations fournies à une cour sur la base d'images.

L'utilisation des images comme preuve au tribunal est essentielle, mais la littérature néglige la contribution des images comme indices à des fins d'enquête ou de renseignement, par exemple pour établir des liens entre différentes affaires sur la base des caractéristiques visuelles des auteurs (Rossy, *et al.*, 2013). La contribution des images aux enquêtes de police est encore peu formalisée et reste largement inexploitée par la communauté forensique.

Peu d'articles abordent la combinaison systématique des indices afin de reconstruire des activités. Pourtant, l'exploitation et la combinaison de traces peuvent amener des informations utiles à l'enquête, même si leur qualité est limitée. Selon Margot (2014), les traces sont par nature des données incomplètes ou imparfaites⁷. Elles amènent une information limitée et conduisent à des raisonnements approximatifs ou incertains, néanmoins utiles à l'investigation. La reconstruction d'activités à partir de la combinaison d'indices de l'espace et du temps paraît prometteuse. Afin d'exploiter pleinement le potentiel des images témoins, l'auteur s'est concentré sur le développement d'une méthodologie de reconstruction. Pour rappel, la notion de méthodologie est définie comme la structuration des étapes qui font évoluer l'image, le son et les métadonnées de l'état de trace à celui d'indice grâce au raisonnement hypothético-déductif.

Le passage de l'état de trace à celui d'indice se fait en générant et en examinant des hypothèses sur les conditions d'acquisition des images et sur les personnes, objets, endroits, moments et actions qui constituent un évènement (Milliet, *et al.*, 2014). Le raisonnement est itératif : l'abduction génère des hypothèses sur les éléments constitutifs de l'évènement et la déduction examine si ces hypothèses sont corroborées par d'autres informations ou si elles doivent être exclues, affinées ou révisées (nouvelle itération). Les images traces constituent un support d'informations sur ces éléments constitutifs. Ces informations deviennent des indices à partir du moment où elles acquièrent une signification en lien avec une hypothèse sur ces éléments. Le raisonnement guide la progression des connaissances sur l'évènement et fait partie de la méthodologie d'exploitation des images témoins développée au cours de cette recherche.

Le chapitre suivant expose la stratégie et les phases de recherche qui ont permis de développer et de mettre en pratique cette méthodologie.

⁷ Pour plus de détails sur les caractéristiques des traces et leur application aux images, voir MILLIET Q., DELÉMONT O., MARGOT P. (2014), A forensic science perspective on the role of images in crime investigation and reconstruction. *Science & Justice* 54 (6), pp. 470-480..

Chapitre 3 : Stratégie et phases de recherche

La stratégie de recherche se rapporte à la manière dont la thèse de doctorat a été menée pour répondre aux questions de recherche et finalement atteindre le but énoncé. Pour rappel, le but est d'exploiter au mieux l'information véhiculée par l'image témoin comme support à la reconstruction forensique d'un évènement. Pour ce faire, une méthodologie d'exploitation des images est développée à la croisée des réflexions personnelles et des expériences pratiques.

La stratégie se veut pragmatique et clinique. Elle est basée sur la perception et la rationalisation d'expériences de terrain. Elle est centrée sur l'étude des pratiques dans des conditions réelles et des situations imprévisibles plutôt que sur des expérimentations de laboratoire réalisées dans des conditions contrôlées.

La figure 1 donne une vue d'ensemble des quatre phases principales de la stratégie et des outils de recherche qualitative utilisés. Suit une description de chacune des phases de recherche.

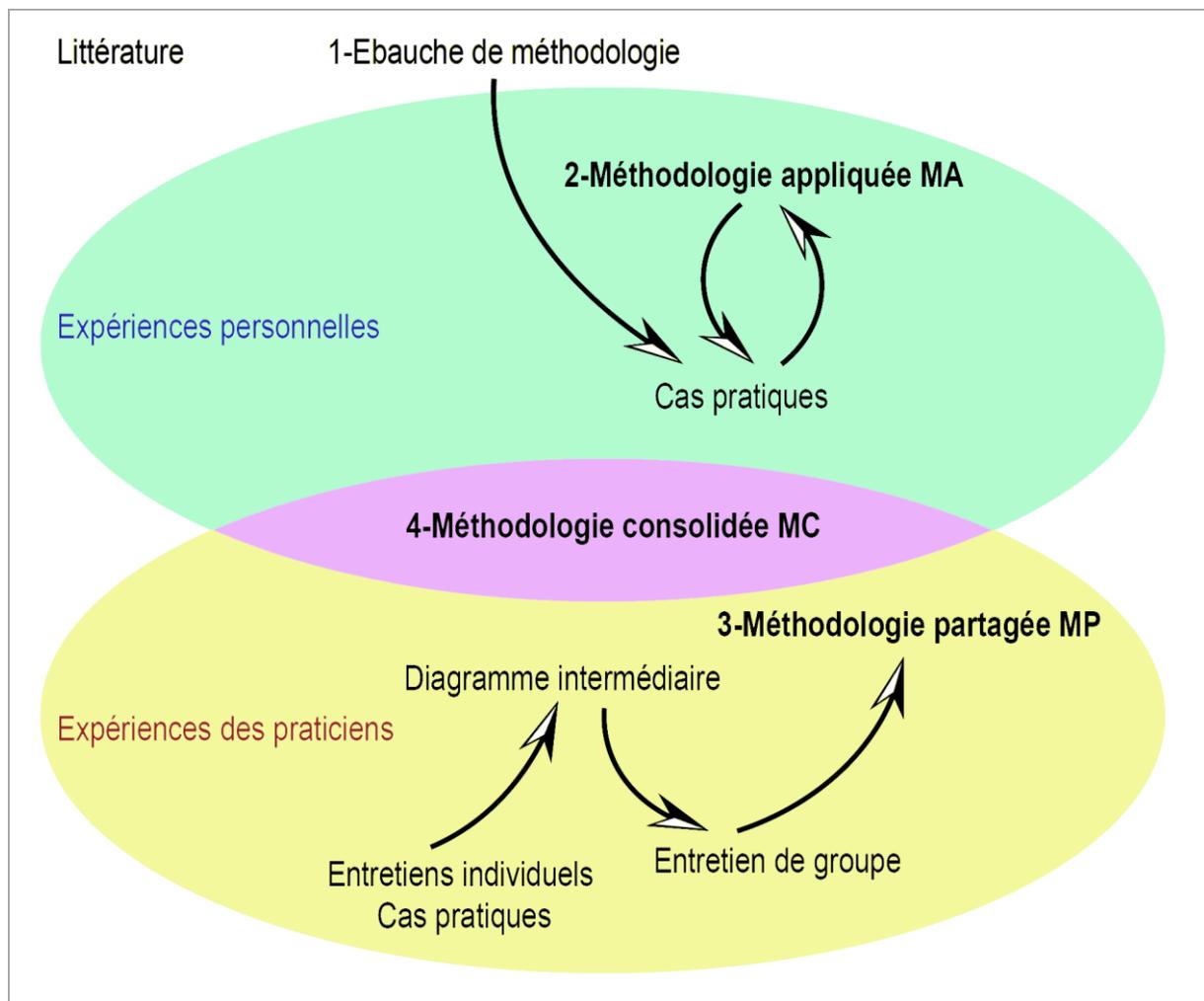


Figure 1 : Stratégie de recherche avec les 4 phases du développement d'une méthodologie consolidée, obtenue par la combinaison d'une méthodologie appliquée issue de la littérature et centrée sur les expériences personnelles de l'auteur avec une méthodologie partagée, co-construite à partir de cas pratiques et centrée sur les expériences des praticiens.

Phase 1. Revue de la littérature

La première phase prend racine dans la littérature forensique. Le chapitre précédent a déjà traité du rôle des images en science forensique, de leur utilisation en tant que traces et des lacunes des bonnes pratiques existantes. Ces lacunes et les défis liés à l'exploitation des images ont permis de conceptualiser une première ébauche de méthodologie. Ce volet théorique est complété par la piste empirique, centrée sur les expériences personnelles de cas pratiques et celles des praticiens.

Phase 2. Application pratique et expériences personnelles

L'ébauche de méthodologie a été appliquée à des cas réels, puis affinée sur la base des réflexions sur les expériences de l'auteur (Milliet, *et al.*, 2015a). Ce mouvement du haut vers le bas (« top-down ») souligne le fait que l'ébauche théorique a précédé l'application aux cas pratiques. Cependant, la méthodologie a largement évolué lors de ses applications successives. Le noyau dur de la méthodologie a été affiné par l'étude des cas traités dans les contextes suivants :

- La Commission de Vérité pour la Réconciliation de la Thaïlande a investigué les événements violents qui se sont déroulés en Thaïlande entre avril et mai 2010. La méthodologie a été appliquée pour reconstruire deux événements spécifiques dans ce contexte particulier.
- Dans le contexte du système judiciaire pénal suisse, la méthodologie a été appliquée à deux affaires d'homicide.

Les cas d'étude comportaient tous des images témoins qui présentaient une certaine ambiguïté ou un contenu incomplet. Les cas critiques qui ont eu un impact certain sur le développement de la méthodologie appliquée (MA) ont été choisis pour illustrer son application dans le second article scientifique de la thèse de doctorat (Milliet, *et al.*, 2015a).

Phase 3. Exploration ancrée des expériences de praticiens

Au cours de la troisième phase, l'étude empirique a été centrée sur les expériences d'autres praticiens dans l'exploitation d'images et la reconstruction d'événements (Milliet, *et al.*, 2015b). Cette fois, la démarche a volontairement fait table rase des résultats précédents pour repartir plutôt du bas vers le haut (« bottom-up »). Un nouveau modèle a émergé de la confrontation des expériences accumulées et des cas pratiques traités par les praticiens. Cette partie a permis d'étudier leurs manières d'exploiter les images en élargissant le champ de recherche à leurs expériences et à leurs perceptions. La démarche s'est inspirée de l'approche qualitative de la théorisation ancrée (abrégée GT pour Grounded Theory). Celle-ci permet de bénéficier de la richesse des expériences pratiques de cas réels pour recueillir et analyser les données de manière systématique, continue et réflexive (Robson, 2002). La systématique était assurée par un protocole rigoureux de récolte et d'analyse des données. Celles-ci étaient comparées en continu avec les résultats précédents. Dans cette perspective, deux outils de recherche ont été utilisés pour l'extraction et la formalisation des expériences et des points de vue des praticiens : des entretiens individuels et un entretien de groupe (focus group).

Un diagramme intermédiaire a été généré et façonné à partir des perspectives et des workflows des participants sur la base de huit entretiens individuels semi-dirigés effectués entre novembre 2012 et mars 2013 auprès de praticiens suisses expérimentés dans l'exploitation des images (Milliet, *et al.*, 2015b). Le protocole d'entretien figure dans l'annexe 7 (de Singly, 2008).

Ensuite, le diagramme intermédiaire a été confronté au point de vue de praticiens européens lors d'un entretien de groupe avec neuf membres du groupe de travail en imagerie numérique (Digital Imaging Working Group – DIWG) du réseau européen des instituts de science forensique (European Network of Forensic Science Institutes – ENFSI) en octobre 2013. Le but était d'inclure des points de vue et des expériences de différents contextes (systèmes judiciaires, institutions) et cas pour affiner, compléter et étendre le modèle qui émergeait de la méthodologie ancrée (Bryant et Charmaz, 2007). La discussion a mené au diagramme final de la méthodologie partagée (MP), enrichie par les vues de tous les participants. À la suite de cet exercice, les participants aux entretiens individuels, qui sont encore vivement remerciés ici, ont eu l'opportunité de commenter le diagramme final par courriel. Un commentaire a été reçu en réponse (cf. Annexe 8. E-mail anonymisé).

Phase 4. Consolidation de la méthodologie

Finalement, la méthodologie appliquée (MA) a été confrontée à la méthodologie partagée (MP). Une comparaison thématique a été effectuée afin d'élaborer une méthodologie consolidée (MC). Cette version représente le point de vue de l'auteur à l'issue du cheminement de recherche, enrichi par les perceptions et expériences des praticiens. L'intégration des spécificités de la MA et de la MP est présentée dans l'annexe 6 pour justifier le choix de la terminologie, de la structure, des étapes et de leur contenu. Cette annexe donne plus de détails sur la manière de construire la MC à partir de la MA et de la MP, dans l'idée de compléter la présentation de la MC dans le quatrième article.

Une fois la MC développée, son application aux nouveaux cas traités a continué. Comme les cas récents sont liés à des procédures judiciaires en cours, ils ne peuvent pas être utilisés pour illustrer son fonctionnement. Pour cette raison, une matière similaire est puisée dans des exemples issus de cas précédemment traités (Milliet, *et al.*, 2015a). Un cas pratique issu du contexte thaïlandais est utilisé pour décrire la MC et illustrer la progression graduelle des connaissances dans une affaire. Les différents niveaux et étapes de la MC sont présentés ainsi dans le quatrième article scientifique en français (cf. Annexe 4. Quatrième article).

Chapitre 4 : Développement d'une méthodologie consolidée

La méthodologie consolidée est le fruit de développements successifs, dont les détails sont publiés dans les articles scientifiques de la thèse de doctorat. Ce chapitre passe en revue ces développements avant de présenter la méthodologie, sa structure et ses étapes. La méthodologie commence après l'évènement par la *pré-analyse*, se poursuit avec trois étapes principales

d'*organisation*, d'*analyse* et d'*évaluation* qui alimentent la *communication* pour aboutir à la *présentation* de la reconstruction. Les sous-chapitres suivent cette progression.

À noter que ci-après les étapes sont indiquées en *italique*. Dans la partie qui suit les formalisations successives de la méthodologie et de ses étapes sont passées en revue.

La première ébauche de méthodologie utilise le raisonnement hypothético-déductif pour générer des hypothèses sur les conditions d'enregistrement des images et sur les indices liés à l'évènement (personnes, objets, lieu, temps et activités). Elle démontre le potentiel d'une approche structurée pour mettre en valeur l'information véhiculée par les images. Elle est présentée dans le premier article, qui met en perspective les lacunes méthodologiques et les défis récurrents de l'exploitation des traces matérielles (Milliet, *et al.*, 2014).

Appliquée à des cas pratiques, la MA s'est structurée autour des étapes suivantes : une *analyse préliminaire*, suivie de quatre étapes principales et itératives que sont la *récolte*, l'*organisation*, la *reconstruction* et l'*évaluation*. Ces étapes sont décrites dans le second article. Elles sont intimement liées en séquence si bien que chaque étape repose sur les résultats de la précédente. La méthodologie n'est cependant pas linéaire, mais représente une progression cyclique de construction de l'information, basée sur le raisonnement hypothético-déductif. Le deuxième article présente en détail la MA et illustre son application à des cas pratiques. Il a été écrit par l'auteur avec Olivier Delémont, Éric Sapin, Pierre Margot et s'intitule : « A methodology to event reconstruction from trace images ». Il a été publié par *Science & Justice* en 2015. (Milliet, *et al.*, 2015a).

La MP représente un consensus entre les praticiens qui ont participé à son élaboration. Elle a la particularité d'élargir l'éventail des possibilités d'*analyse*, avec le concours de divers spécialistes. Elle précise la terminologie et place la *communication* avec les parties prenantes de l'enquête tout au long du processus. Elle est formée d'une séquence linéaire de cinq étapes : La *pré-analyse*, l'*analyse*, le *travail sur la scène*, l'*évaluation* et la *présentation* des résultats. Le *travail sur la scène* est décrit comme une étape alternative au passage direct de la *pré-analyse* à l'*analyse*. Des retours en arrière sont possibles de l'*évaluation* à l'*analyse* ainsi que de l'*analyse* au *travail sur la scène*. Le troisième article présente la MP de manière synthétique et transparente en mettant en avant les points de vue des praticiens à l'aide de citations. Leurs perceptions et expériences liées à leur manière d'exploiter les images sont discutées selon plusieurs axes analytiques (structure systématique ou intuition implicite, individus ou institutions, approche au cas par cas ou modèle général). Il a été écrit par l'auteur avec Manon Jendly, Olivier Delémont et s'intitule : « An innovative and shared methodology for event reconstruction using images in forensic science ». Il a été publié dans le journal *Forensic Science International* en 2015. (Milliet, *et al.*, 2015b).

La confrontation des réflexions personnelles aux expériences accumulées par les praticiens a mené à l'élaboration de la MC. Elle reprend les avantages des méthodologies précédentes et la terminologie retenue de manière collégiale. Elle comprend une *pré-analyse* et une séquence de trois étapes d'*organisation*, d'*analyse* et d'*évaluation* des images, qui forme un cycle. La MC est

représentée par une spirale avec plusieurs niveaux qui font progresser les connaissances sur l'évènement de manière cyclique. La *communication* est bidirectionnelle et suit la progression de la spirale ; elle se termine par la *présentation* de la reconstruction. Le quatrième article scientifique illustre le fonctionnement de la méthodologie et de ses étapes à l'aide d'un cas pratique. L'évolution de ce cas est décrite en parallèle à la progression de la méthodologie de façon à mettre en évidence la construction des connaissances en plusieurs niveaux d'observation, d'exploitation et de communication. Cet article a été écrit par l'auteur avec Éric Sapin, Olivier Delémont et s'intitule : « Application pratique d'une méthodologie de reconstruction d'évènement à partir d'images témoins ». Après un préavis favorable suite à une première soumission en juin 2016, il a été soumis révisé en octobre 2016 à la *Revue Internationale de Criminologie et de Police Technique et Scientifique* (cf. Annexe 4. Quatrième article).

La section qui suit expose le changement de paradigme associé à la méthodologie et présente de manière synthétique sa structure et chacune de ses étapes.

Méthodologie consolidée

À travers l'utilisation répétée de la MC, l'auteur a constaté qu'elle modifie la manière d'observer les images parce qu'elle révèle un potentiel informatif nouveau, qui n'est pas décelée par une observation simple. La lecture des images témoins de nouveaux cas intègre les résultats obtenus à l'aide des traces exploitées dans les cas précédents. La multiplication des cas étend la panoplie des solutions envisagées. La capacité de bien communiquer les résultats et la systématique mise en place pour les obtenir permet de modifier les codes de lecture du magistrat et de l'enquêteur sur les images et leur potentiel d'information. Cette prise de conscience permet d'anticiper ce que peuvent apporter les images à une reconstruction. Le bénéfice réalisé par l'obtention de mesures de l'espace et du temps ou encore l'utilisation des informations lumineuses et sonores apportées par chaque point de vue développe une nouvelle culture d'observation. Cette culture amène un autre regard sur les images témoins, qui permet de percevoir directement toutes les dimensions de leur contribution pour reconstruire un évènement. Cette perception est un nouveau paradigme pour les enquêteurs, les magistrats et les techniciens confrontés à l'utilisation des images témoins.

Le fait de représenter l'utilisation des images en plusieurs niveaux d'observation, d'*organisation*, d'*analyse*, d'*évaluation* et de *communication* interconnectés explicite l'augmentation graduelle du potentiel d'information des traces. Ce canevas permet d'élaborer une stratégie appropriée au cas en ayant à l'esprit le potentiel de mesure, de combinaison et de vérification des traces observées. Ce paradigme renforce le rôle des images dans les enquêtes et procédures judiciaires en offrant une solution pour approcher un cas, en décortiquer les questions et anticiper ce que peuvent apporter les informations visuelles pour la reconstruction d'un évènement.

Pour comprendre le système de construction des connaissances de la méthodologie, une analogie avec un puzzle est proposée. Imaginez que la résolution du cas est un puzzle dont le nombre de pièces et le dessin complet ne sont pas connus. D'abord, les pièces sont examinées et décrites pour les organiser par provenance, forme de la découpe, couleur et taille. Ensuite,

certaines pièces sont emboîtées les unes avec les autres d'après la forme. Chaque assemblage de pièces constitue une portion d'information du puzzle. Le puzzle progresse en combinant ces portions d'informations pour former des motifs sensés. Les motifs à reconstruire sont définis par rapport aux questions du cas. Une fois que la construction du puzzle a bien avancé, la cohérence des motifs est vérifiée. Des réarrangements peuvent être faits pour placer les motifs qui peuvent être liés aux bons endroits. Le puzzle reconstitué avec l'ensemble des motifs correspond aux connaissances accumulées. Le puzzle reste la plupart du temps incomplet, avec des pièces manquantes et des motifs isolés. Le système de construction des connaissances conserve les relations entre les motifs, les portions d'informations et les pièces originales. Finalement, les parties du puzzle reconstituées sont présentées comme le résultat de la reconstruction. La méthodologie proposée va au-delà de cette analogie parce qu'elle intègre des dimensions plus complexes comme la reconstruction tridimensionnelle, la chronologie et le son.

Structure

La méthodologie consolidée est schématisée par la figure 2. La forme hélicoïdale symbolise la progression cyclique des connaissances de l'évènement au cours du temps. Cette structure cyclique représente le raisonnement hypothético-déductif qui chapeaute la réflexion tout au long des étapes et qui amène à des allers-retours fréquents entre les images et les indices qu'elles procurent. La méthodologie pousse la réflexion hors des sentiers battus. Elle amène à observer des éléments périphériques ou de l'environnement pour faire progresser la reconstruction. Cette vision élargie amène de nouveaux indices et permet de générer de nouvelles hypothèses, en collaboration avec les enquêteurs.

La reconstruction progresse par couches de connaissances apportées par les étapes principales d'*organisation*, d'*analyse* et d'*évaluation* des images. Ces trois étapes forment une séquence du centre vers l'extérieur de la spirale. La spirale est formée de plusieurs cycles de ces étapes, qui alimentent les connaissances sur l'évènement et augmentent le potentiel de *communication* jusqu'à la *présentation* de la reconstruction.

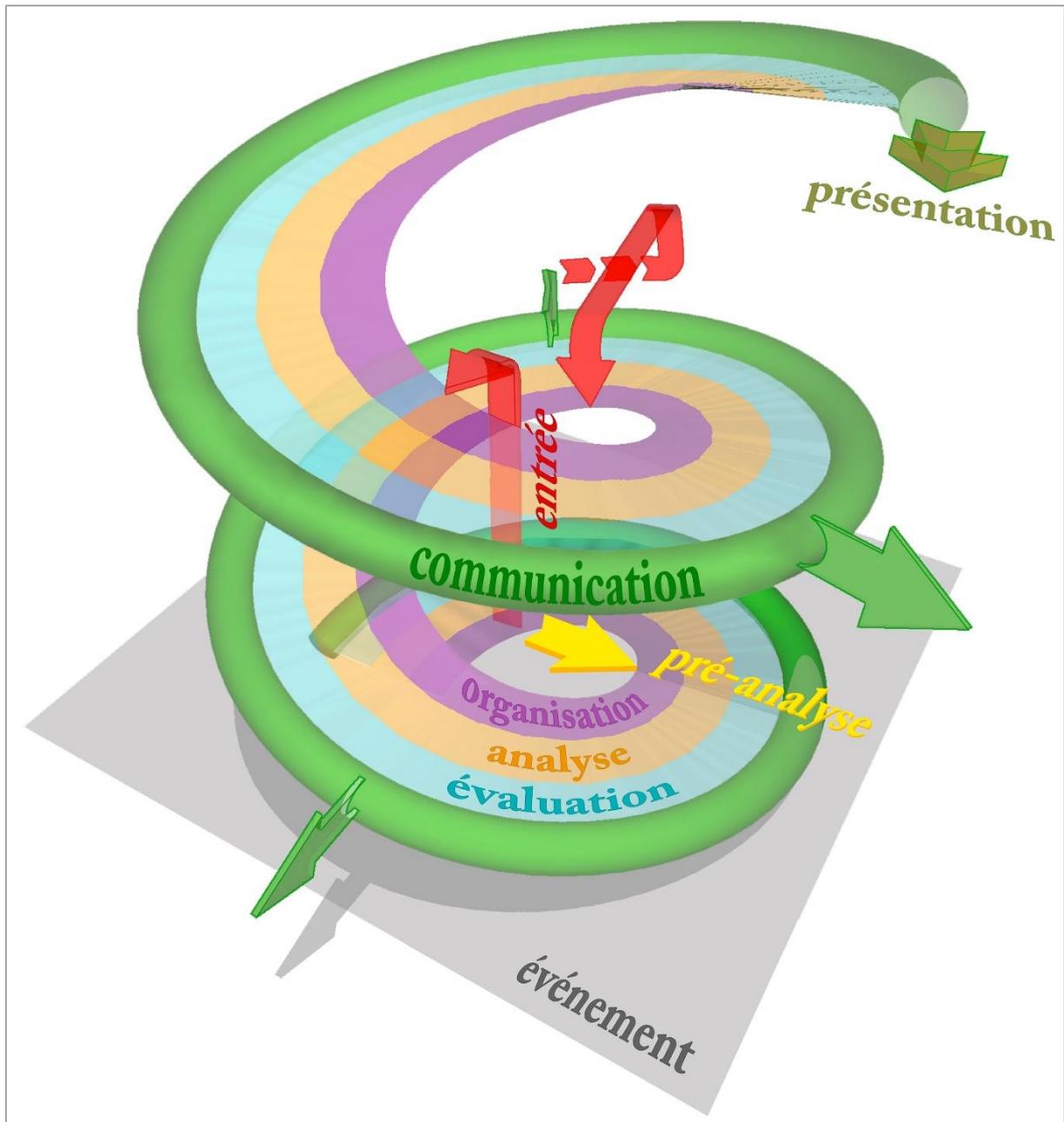


Figure 2 : Le schéma représente simultanément l'avancée de l'enquête et le déroulement de l'évènement. La forme hélicoïdale de la méthodologie consolidée symbolise une progression en spirale des connaissances de l'évènement au fil des cycles de la séquence des étapes d'*organisation*, d'*analyse* et d'*évaluation* des images du centre vers l'extérieur; la flèche entrante jaune clair indique la *pré-analyse*, les flèches entrantes rouges représentent des données qui arrivent à l'intérieur de la spirale; ces données peuvent concerner des actes préparatoires, qui précèdent la *pré-analyse* de l'évènement; l'hélice circulaire verte représente le potentiel de *communication*; les flèches sortantes vertes symbolisent les échanges avec les parties prenantes de l'enquête; la flèche vert moutarde indique la *présentation* et met fin à la reconstruction.

Pré-analyse

La réception du cas et des images à exploiter s'appelle la *pré-analyse*. Les informations sur les circonstances du cas délimitent le contexte et le cadre spatio-temporel des activités à reconstruire. Les faits établis sont distingués des éléments en suspens.

La mission est définie d'entente avec les responsables de l'enquête sur la base de leur demande et du matériel transmis. Le premier examen du matériel est réalisé avec quelques contraintes, par exemple :

- La préservation de l'intégrité du matériel original (effectuer une copie de travail des images et en extraire les métadonnées).
- L'évaluation de l'authenticité et de l'intégrité des images.
- Les possibilités de réponse amenées par les images.

Si ces possibilités sont en adéquation avec les questions de l'affaire, l'exploitation continue. Les questions peuvent être reformulées et décomposées en plusieurs sous-questions afin de clarifier ce que peuvent amener les images. L'opportunité d'amener d'autres informations utiles à l'enquête laisse une ouverture à des observations supplémentaires.

Organisation

L'étape d'*organisation* intègre la classification et la mise en valeur du potentiel informatif des traces.

L'observation structurée des images repose sur la classification des images traces. La classification combine l'utilisation des indices numériques et visuels de manière à mettre en valeur leur signification. Les images sont organisées à partir des métadonnées auxquelles est ajoutée une description taxonomique de leur contenu. Les catégories et critères descriptifs sont élaborés en fonction des circonstances et des questions, décortiquées dans la *pré-analyse*. Les images organisées sont rapidement retrouvées en fonction de l'information qu'elles véhiculent. Cette classification multidimensionnelle est faite selon :

- La source (connue ou inconnue, même système d'enregistrement, etc.).
- La chronologie (indications temporelles des métadonnées, découpes du temps, séquences d'actions, etc.).
- La taxonomie (indexation du contenu).
- La perspective spatiale.
- D'autres critères utiles (lien avec une autre image, qualité, *analyse* prévue, etc.).

Les indices d'espace, de temps et d'activités, en plus de ceux concernant les personnes et les objets, ajoutent plusieurs dimensions circonstancielles qui facilitent la reconstruction d'activités, de comportements et de phénomènes. À noter qu'une nomenclature rigoureuse des images

extraites ou traitées assure leur traçabilité (lien avec la vidéo originale et le numéro d'image pour préserver la continuité des informations temporelles). Bien que la taxonomie de description demande un effort supplémentaire dès le début de l'*organisation* des images, elle augmente le nombre d'observations, même dans les cas avec peu d'images. Elle permet non seulement une mise en relation multidimensionnelle des images, mais aussi une observation préparée à l'aide de catégories descriptives définies.

Les paragraphes qui suivent présentent un exemple de classification. Les images des figures 3 à 13 montrent les observations réalisées sur une série d'images au cours de plusieurs cycles d'*organisation* successifs. Elles sont tirées d'un exemple présenté en partie dans le second et le quatrième article.

Un témoin enregistre 4 images avant et pendant une fusillade, qui fait un mort et deux blessés. Le Juge, pour apprécier le déroulement de l'évènement et se déterminer sur les faits, veut savoir si la main visible de l'individu d'intérêt est sa main gauche ou sa main droite. Sur l'image de question (Figure 8), cet individu (protagoniste 4) est partiellement masqué par l'homme qui porte un t-shirt blanc (protagoniste 2).

Chaque image est décrite en fonction de sa source, ici le modèle de téléphone portable, la date et l'heure d'enregistrement, les coordonnées GPS⁸, une description taxonomique à l'aide de mots-clés⁹ et sa perspective spatiale.

⁸ Selon le modèle d'appareil, les coordonnées GPS doivent être corrigées et converties pour être visualisées.

⁹ Les mots-clés sont simplifiés et les caractères problématiques comme les marques de ponctuation sont supprimés avant de les introduire dans les métadonnées (IPTC Core, Mots-clés).

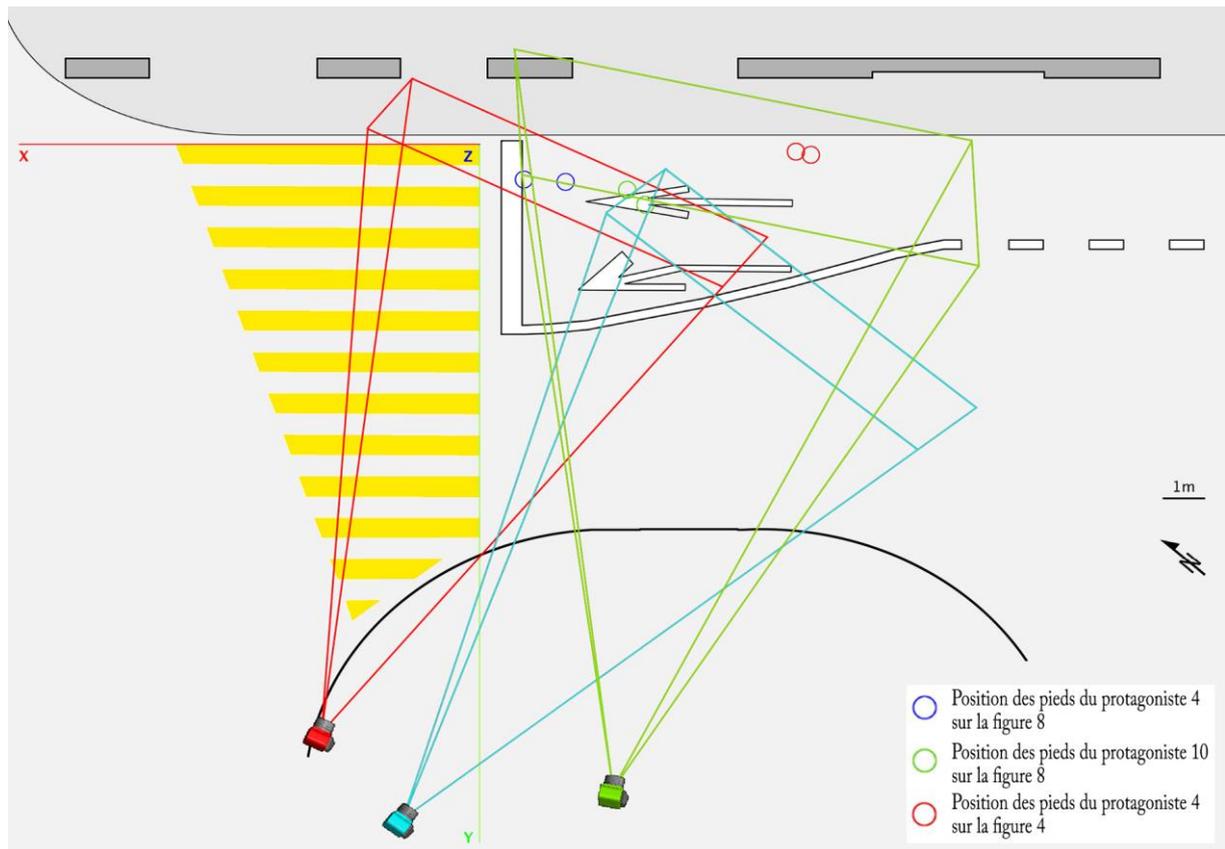


Figure 3 : Plan avec les perspectives spatiales qui décrivent la position et l'orientation des points de vue de la figure 4, en vert, de la figure 6, en bleu et de la figure 8, en rouge. Les coordonnées GPS et le contenu donnent la position approximative des points de vue. Les perspectives indiquées sont tirées de la recombinaison spatiale des images faite lors de l'analyse à l'aide de la photogrammétrie.

Les protagonistes sont décrits dans les figures qui suivent.



Figure 4 : Apple iPhone 3G modèle A1241, 23.05.2010, 19:03:44, Lat. 46°6.1000 N, Long. 7°4.4400 W ; trottoir, route, passage piéton, marquages de circulation, poteau, façade du bâtiment, Café La Bourse, véhicule utilitaire blanc, huit protagonistes numérotés de gauche à droite sur la base de leurs apparences, corpulences, habits, chaussures, accessoires et objets visibles (Figure 5). La définition de l'image originale est de 1600 x 1200 pixels, avec des artefacts de compression JPEG.



Figure 5 : Portion de la figure 4, avec la numérotation des protagonistes de 1 à 8 sur un calque descriptif.

Toutes les annotations sont consignées sur des calques qui peuvent être rendus visibles ou non et dont l'opacité peut être ajustée, ce qui permet de superposer plusieurs couches d'information. Ceci permet de revenir à n'importe quel moment aux catégories, décrites dans chaque couche et conservées dans un fichier avec plusieurs calques.

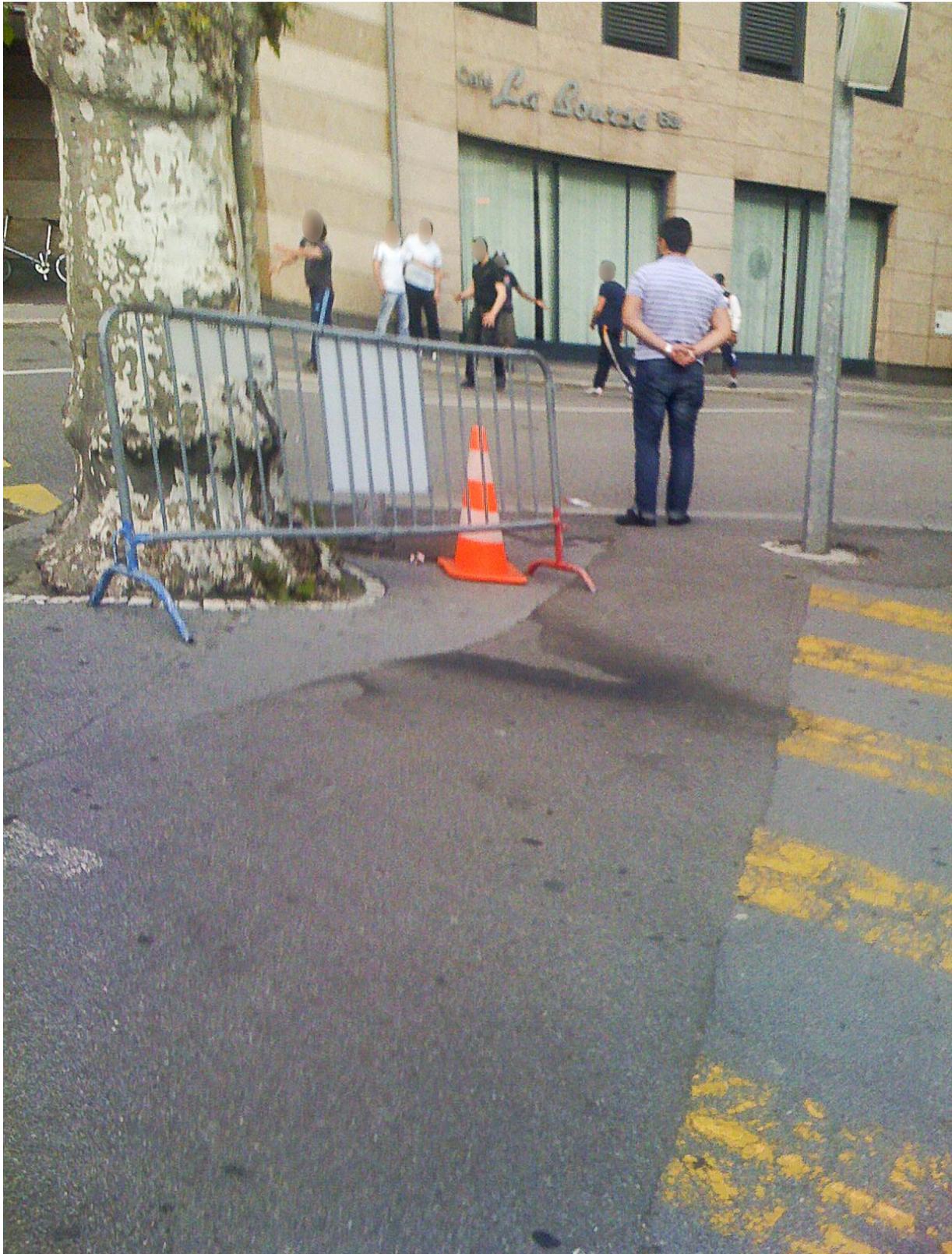


Figure 6 : Apple iPhone 3G modèle A1241, 23.05.2010, 19:05:10, Lat. 46°6.1000 N, Long. 7°4.4100 W ; trottoir, route, passages piétons, marquages de circulation, poteau, cône, barrière, façade du bâtiment, Café La Bourse, vélo, de gauche à droite les protagonistes 5, 3, 6, 8, 7, 9 et 1 (Figure 7). Le numéro 9 n'était pas visible sur l'image précédente. Un témoin observe la scène au premier plan ; photographie prise depuis le trottoir opposé, derrière l'arbre. La définition de l'image est de 1600 x 1200 pixels, avec des artefacts JPEG.

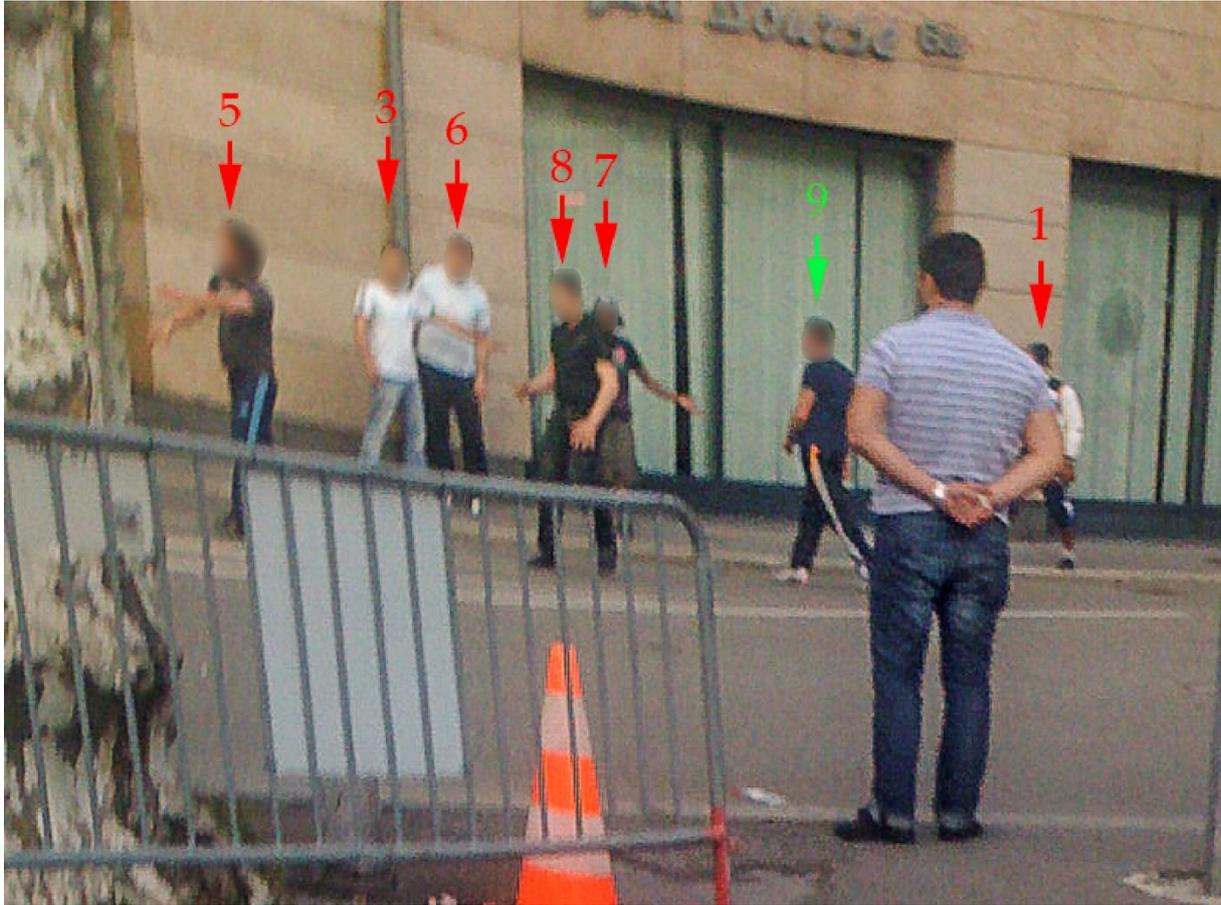


Figure 7 : Portion de la figure 6 avec l'annotation des protagonistes 5, 3, 6, 8, 7, 9 et 1 ; le n°9 apparaît sur cette image ; les n°2 et 4 ne sont pas visibles.



Figure 8 : Apple iPhone 3G modèle A1241, 23.05.2010, 19:05:16, Lat. 46°6.1000 N, Long. 7°4.4100 W ; trottoir, route, passage piéton, marquages de circulation, panneau, façade du bâtiment, banque UBS ; de gauche à droite les protagonistes 2, 4, 6, 3, 10, 5, 1 et 9 (Figure 9). Le numéro 10, qui pointe une arme à feu, n'était pas visible sur l'image précédente, un second témoin observe la scène au premier plan, une femme et un bébé dans une poussette sont visibles dans l'arrière-plan. La définition de l'image est de 1600 x 1200 pixels, avec des artefacts JPEG.

Le contenu de la figure 8 est analysé en détails.



Figure 9 : Portion de la figure 8 avec l'annotation des protagonistes 2, 4, 6, 3, 10, 5, 1 et 9 ; le n° 10 apparaît sur l'image avec une arme à feu ; les n°7 et 8 ne sont pas visibles.

La question porte sur la posture du protagoniste n°4, en partie masqué par le n°2.

L'*analyse* et l'*évaluation* de la figure 8 permettent de faire des observations détaillées sur le t-shirt, le short, les jambes et les chaussures du protagoniste 4 et dans la zone qui l'entoure.

Les observations sont décrites pour expliquer comment les résultats d'un premier cycle d'exploitation font évoluer l'*organisation* des images. Le deuxième cycle d'*organisation* affine la description des images en fonction des détails observés. Ceci permet de délimiter les pixels qui concernent le protagoniste 4, ses vêtements et son ombre portée sur le sol.

L'image est de faible résolution. La méthodologie sépare les étapes d'*organisation*, d'*analyse* et d'*évaluation*. Lors d'évaluations critiques, plusieurs pairs habitués à observer des images travaillent de manière indépendante selon ces étapes. La comparaison de leurs résultats renforce la confiance dans les observations.



Figure 10 : Portions agrandies de la figure 8, à gauche et de la figure 6, à droite ; l'encadré vert de la partie inférieure montre une zone claire qui est observée lors de l'analyse de la figure 8 et qui correspond à une partie du vélo agrandie et alignée à partir de la figure 6 ; cette correspondance permet d'affiner l'organisation de la figure 8 en ajoutant le vélo à sa description. L'encadré magenta de la partie inférieure montre les ombres portées au niveau du sol.

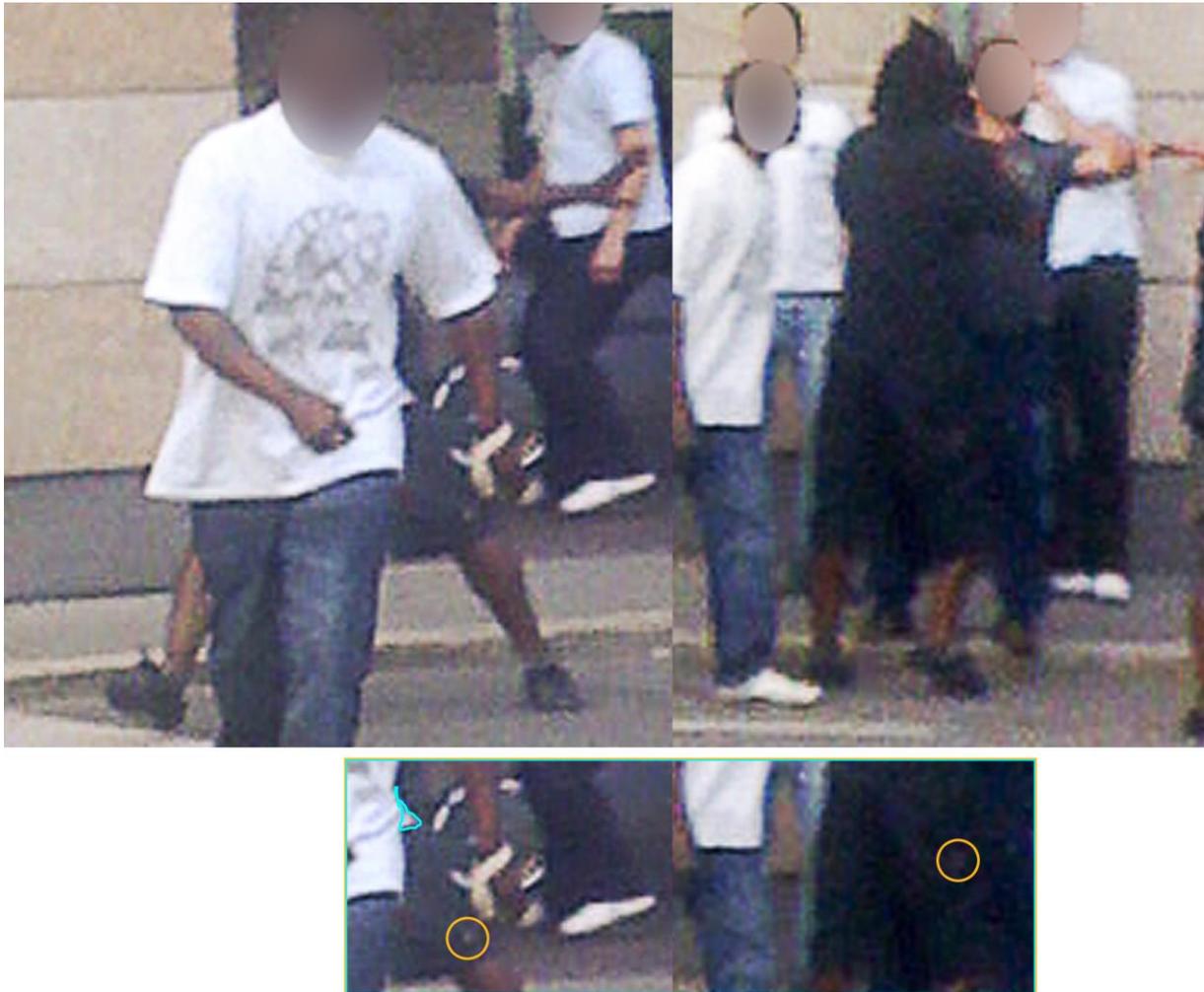


Figure 11 : Portions agrandies de la figure 8, à gauche et de la figure 4, à droite ; l'encadré vert de la partie inférieure montre les détails observés sur le t-shirt et le short du protagoniste 4 : à gauche, une zone claire, entourée d'un cercle orange sur le short et une zone claire marquée en cyan sur le t-shirt sont repérées lors de l'*analyse* de la figure 8. Ces observations sont utilisées dans un second cycle d'*organisation* pour mettre en évidence des détails sur la figure 4, à droite, une zone claire, entourée d'un cercle orange, est légèrement visible sur l'arrière du canon droit du short.

Le premier cycle d'*analyse* fournit des détails sur l'individu d'intérêt. Ces détails sont utilisés pour observer à nouveau la figure 4, où il a été repéré.



Figure 12 : Portion agrandie de la figure 8 avec l'analyse des jambes du protagoniste 4.



Figure 13 : Portion agrandie de la figure 8 avec les sélections faites sur la peau des jambes du protagoniste 4 et les histogrammes correspondants (distribution des valeurs des pixels rouges, verts et bleus). La jambe de la partie gauche réfléchit une plus grande quantité de lumière vers l'appareil que la jambe de la partie droite de l'image.

En tenant compte des conditions de luminosité (temps nuageux plutôt homogène avec lumière diffuse), la quantité de lumière réfléchi par chaque jambe amène une information sur son orientation : plutôt vers le haut en direction de l'appareil ou plutôt vers le sol.



Figure 14 : Mise en évidence des détails observés sur la figure 11 avec la photographie de l'avant du short du protagoniste 4, en bas à gauche et la photographie de l'arrière du short, en bas à droite ; la réception des habits portés par le protagoniste 4 le jour de la fusillade amorce un troisième cycle d'exploitation, qui intègre les photographies du short. Celles-ci montrent un logo sur la partie avant du canon gauche du short et un logo sur la partie arrière du canon droit.

Les observations réalisées sur ces images sont décrites et comparées pour évaluer si le protagoniste 4 fait face à la caméra ou est de dos sur la figure 8. Ces hypothèses apportent un éclairage sur la question de base, à savoir si la main visible du protagoniste 4 est sa main gauche ou sa main droite. En effet, si l'individu fait face à la caméra, c'est sa main gauche qui est observée. D'après la position de ses pieds, il n'est pas possible d'observer sa main droite telle qu'elle apparaît sur la figure 8, même avec la plus grande contorsion du corps possible. L'Annexe 2 contient plus de détails sur l'évaluation de ces hypothèses et la démonstration effectuée pour le magistrat (cf. Annexe 2. Second article, fig. 11).

Cet exemple démontre l'apport de la systématique de description sur l'observation de trois images traces. L'apport est encore plus net lors de l'exploitation d'un grand nombre d'images. Des similitudes et des différences qui ne sont pas directement visibles sont décelées entre les images. L'absence d'un protagoniste ou d'un objet est mise en évidence et directement consignée. Il en est de même des caractéristiques descriptives, qui structurent les observations.

Cette observation structurée s'apparente à ce que Locard écrit : « *Observer, ce n'est pas regarder au hasard et prendre note de ce qui sollicite et accroche la vue ; c'est procéder à une investigation méthodique, suivant un plan appris ; c'est chercher et décrire dans le détail tout ce qui pourra servir à résoudre le problème criminel.* » (Locard, 1920, p.240).

La sélection des images est modulée selon les besoins de l'*analyse* en vue de produire des connaissances supplémentaires en lien avec les questions envisagées. Bien souvent, des traces apparemment sans lien direct avec l'évènement amènent de nouveaux indices lorsque la reconstruction a progressé. Cette progression des connaissances peut aussi conduire à revoir ou moduler les catégories et sous-catégories de la classification. Par exemple, la traque du mouvement complet d'un véhicule jusque-là observé à deux endroits et décrit comme deux véhicules distincts amène à ne considérer qu'un seul véhicule (fusion de deux sous-catégories).

L'*organisation* facilite la mise en évidence de l'information pertinente. Les images sont visualisées de manière chronologique en les séparant par séries prises par des appareils de même marque et modèle. Les noms de fichiers, des informations sur les conditions d'enregistrement ou le contenu complètent le classement des images pour lesquelles aucune indication sur l'appareil n'est disponible. Selon l'information recherchée, un ou plusieurs critères sont utilisés pour filtrer les images. La priorité est donnée à l'exploitation des images avec le plus haut potentiel de reconstruction, c'est-à-dire celles dont le sujet représenté est le plus proche de la question du cas. Leur contenu informatif peut amener un élément de réponse aux questions qui se posent. La plus-value des indices qui peuvent être obtenus est soupesée par rapport aux ressources requises pour leur exploitation.

La sélection des images pertinentes est complétée par une appréciation de leur qualité. Des critères de qualité peuvent être utilisés pour la sélection des images. Le lecteur est invité à consulter l'annexe 9 pour plus de détails sur les critères de qualité des images. La revue des images met en évidence les données à disposition ou manquantes dans chaque catégorie et sous-catégorie de la classification.

Le codage méthodique des informations visuelles facilite également la *communication* et les échanges entre les personnes qui traitent une affaire. L'adéquation des descriptions verbales et iconiques permet de produire des informations cohérentes. L'utilisation systématique de termes génériques et précis améliore la description des observations et maintient un lien direct entre une observation répétée et le terme utilisé. À titre d'exemple, il est préférable d'utiliser véhicule plutôt que voiture, automobile ou pickup, à plus forte raison si la bonne désignation n'est pas encore connue. La codification facilite la *communication* entre l'émetteur et le récepteur du

message. Une taxonomie explicite soutient aussi bien le « codage » que le « décodage » de l'information pertinente.

La sélection a la particularité d'intervenir à plusieurs moments clés de la méthodologie, également en lien avec la *communication*, qui repose sur un choix délibéré des informations qui forment un message sensé. L'auteur est d'avis que la sélection est intimement liée à la notion de pertinence (Hazard, 2014). La sélection des images semble être guidée par l'appréciation de leur pertinence factuelle (L'image est-elle liée au cas ?) et appropriée (Que puis-je faire de cette image ?). L'*analyse* des images est priorisée par rapport à un éventail de techniques possibles. Pour formaliser le fait que la sélection intervient de manière modulée et précède le choix des techniques d'*analyse*, elle est intégrée à l'*organisation*.

Analyse

Dans l'étape d'*analyse*, les images, le son et les métadonnées sont considérés comme des traces et examinés en tant que telles pour découvrir des faits au sujet de l'évènement passé. L'intégration des images comme des vestiges épars et incomplets de l'évènement passé dans un système de construction des connaissances amène de nouveaux indices.

L'*analyse* comprend notamment :

- Le traitement des signaux pour améliorer la lisibilité des informations ; une large palette d'outils peut être utilisée pour rehausser la qualité des images et en extraire autant d'information que possible.
- La description détaillée des images explicite les informations perceptibles ; l'examen répété du contenu des images renforce la description et évite aussi les risques de surinterprétation. Le fait d'observer à nouveau une image une fois que la reconstruction a progressé complète les observations. Les personnes ou objets reconnus donnent des points de repère à l'observateur pour repérer les indices d'activités.
- La recombinaison spatiale positionne les perspectives et les observations ; la plus-value de la recombinaison spatiale est de traiter chaque image selon l'endroit d'où elle a été enregistrée. Le positionnement de la caméra et de l'opérateur permet de s'approcher des conditions d'enregistrement de l'image. Chaque image est examinée selon ses conditions d'enregistrement et sa perspective. Les images enregistrées par des appareils différents sont intégrées en tenant compte de leurs spécificités. La plus-value passe par la mesure de ce qui est observé sur les images 2D afin de les intégrer dans un environnement 3D complet. Les éléments fixes donnent les premières indications de localisation. Viennent ensuite les éléments statiques qui occupent la même position pendant un certain laps de temps et finalement les éléments dynamiques qui bougent et sont positionnés de manière instantanée à l'aide d'une seule ou de quelques images dans le meilleur des cas. Les indices ainsi extraits alimentent une construction systématique qui les met en relation et renforce leur interprétation.

- L'ancrage temporel repose sur l'exploitation des métadonnées et la comparaison du contenu des images pour déterminer quand les images ont été enregistrées. Les indications de temps fournies par différents appareils dépendent de leurs réglages et peuvent ne pas correspondre. Le fait que le temps indiqué ne soit pas le même entre tous les enregistrements comporte un risque de confusion ou de contradictions. C'est pourquoi il est essentiel de compléter les indications des métadonnées par la comparaison du contenu pour observer les changements de la scène et des objets au cours du temps. De manière analogue à ce qui est fait pour la recombinaison spatiale, l'utilisation de points temporels de référence, parfois sans lien direct avec l'évènement d'intérêt, permet de caler les séquences d'images les unes par rapport aux autres. La mesure du temps donne une ligne de base sur laquelle sont ancrés les indices. La première brique de construction choisie est une série d'images nombreuses et d'une certaine durée (p. ex. une longue séquence vidéo). Ce spécimen riche en information temporelle offre l'avantage de faciliter l'ajout de plusieurs séquences plus courtes sur toute sa durée en maintenant un lien entre celles-ci. Les images amènent des indices pour établir la chronologie des observations et situer des séquences d'actions sur l'axe du temps. Les images liées de manière chronologique forment une couche d'information, qui peut être déplacée sur l'axe du temps (p. ex. lorsque la date et l'heure des métadonnées s'avèrent incorrectes). Plusieurs couches d'information sont calées de manière relative en les plaçant les unes avant les autres ou entre deux couches. La comparaison du contenu des couches affine leurs relations sur une même ligne de temps. Cette ligne de temps peut être ancrée à l'aide d'une référence temporelle extérieure, comme le temps universel coordonné (UTC). Le fait que le temps des images soit dans un même référentiel renforce l'*analyse* d'hypothèses sur le déroulement de l'évènement.
- La dynamique des actions est établie sur la base de la combinaison des mesures de l'espace et du temps décrites dans les paragraphes précédents. La reconstruction du contexte spatio-temporel permet de lier des séquences d'actions ou des actions qui sont enregistrées par des caméras différentes. De plus, l'extraction des images de séquences vidéo permet de décomposer la dynamique des actions de la manière la plus fine possible. Les images extraites peuvent être fusionnées afin d'étendre l'information spatiale grâce à certains mouvements de la caméra. La fusion permet également de combiner l'information enregistrée à différents moments dans les conditions les plus favorables lorsque le point de vue n'a pas changé. La reconstruction de la chronologie et de la configuration des lieux renforce la compréhension des phénomènes lumineux et sonores utilisés pour combiner les images dans des séquences d'actions et de réactions.

L'évolution des points de vue et des observations permet d'objectiver l'information amenée par les images. Le son amène des informations complémentaires, en particulier sur ce qui se trouve hors du champ de la caméra. À noter que sa vitesse de propagation plus lente que la lumière peut donner lieu à des décalages, des répétitions (écho) entre les enregistrements des données visuelles et auditives.

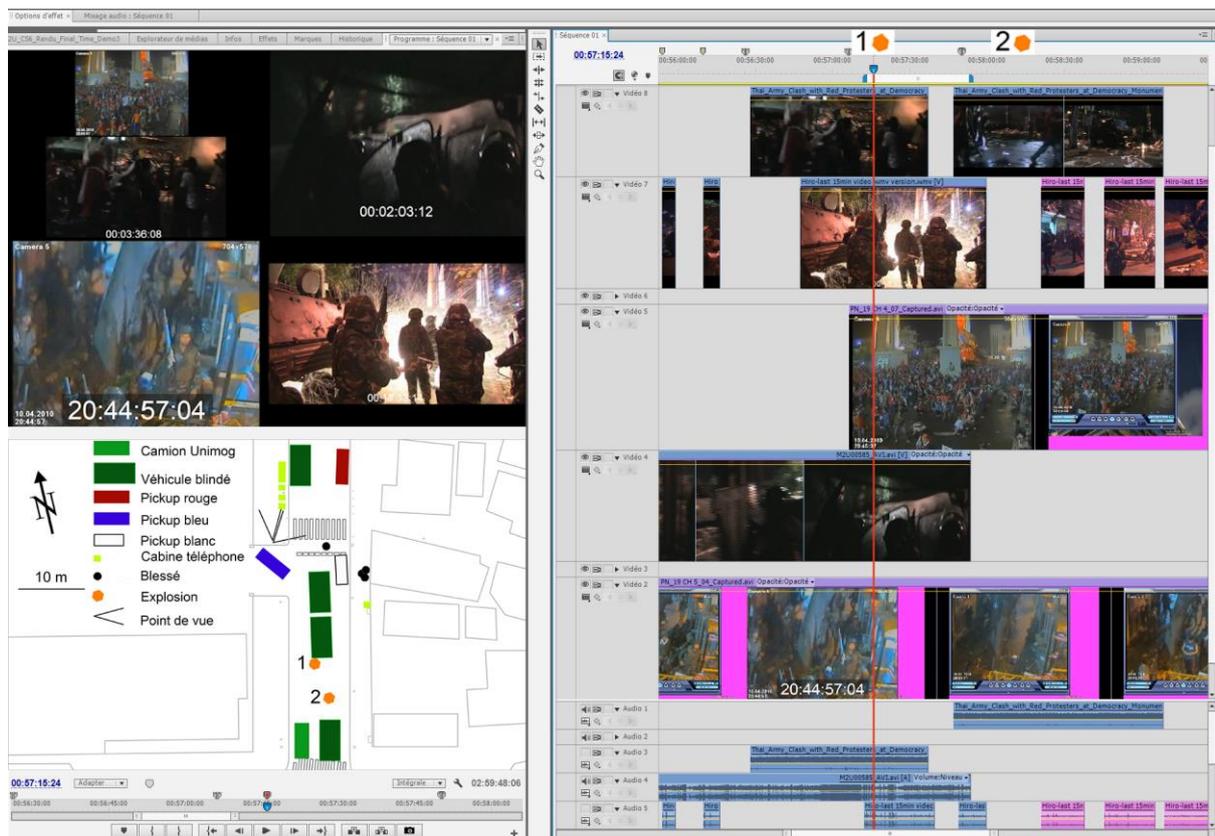


Figure 15 : Schéma spatio-temporel qui illustre la combinaison de plusieurs vidéos représentées par les couches dans la partie supérieure droite avec les pistes audio dans la partie inférieure droite; les contenus des images au temps de l'explosion 1 se trouvent dans la partie supérieure gauche. Dans la partie inférieure gauche, un plan des lieux montre la position des explosions dans la rue, les bâtiments, les points de vue des caméras de surveillance, les véhicules et des personnes blessées, observées à différents moments.

Un aspect innovant de la méthodologie est de générer des hypothèses sur des séquences d'actions en combinant les données fragmentaires de plusieurs images. Les connaissances progressent en intégrant ces informations couche par couche. La dynamique et l'enchaînement des activités deviennent plus clairs et permettent d'affiner les hypothèses sur le déroulement de l'évènement. *L'analyse* aide à préciser les phases de l'évènement et les zones d'intérêt. Le fait d'intégrer les perspectives de plusieurs images dans un même référentiel spatio-temporel donne une vue d'ensemble et fait ressortir de nouvelles relations entre les indices (Figure 15). Cette combinaison des informations apporte des indices sur les actions et leurs relations dans l'espace et dans le temps, qui ne sont pas perceptibles par la simple observation de ces images. La combinaison apporte davantage que la somme des informations récoltées par plusieurs images. C'est ce potentiel de mesure et cette synergie qui crée la nouvelle culture d'observation qui est mentionnée plus haut.

Évaluation

L'étape d'*évaluation* vérifie la cohérence de la reconstruction en combinant les résultats de *l'analyse*. La confrontation des indices entre eux solidifie la reconstruction et affine les hypothèses plausibles sur le déroulement de l'évènement. Les indices corroborés s'ajoutent aux

connaissances accumulées. Les incohérences et les limites de la reconstruction sont mises en évidence. L'*évaluation* considère les incertitudes de mesures, la validation des observations par des expériences et l'évaluation de la valeur probante des indices. Elle souligne les moyens de réduire les incertitudes et de vérifier certains indices par des *analyses* supplémentaires (p. ex. la calibration de la date, de l'heure et des intervalles de temps d'un appareil) ou d'autres sources d'informations. Des expériences qui reproduisent les conditions d'enregistrement des images peuvent être réalisées.

Des examens complémentaires peuvent faire appel à d'autres spécialistes (balistique, médecine légale, etc.). Les échanges d'informations peuvent corroborer les indices ou amener à considérer des alternatives sur les causes des observations. Les hypothèses s'affinent et se cristallisent pour évaluer les indices et fournir des moyens de preuve. Le « Case study 2 » du second article (Milliet, *et al.*, 2015a, fig. 11) présente le résultat de l'évaluation des indices en fonction de deux hypothèses sur la posture du protagoniste 4 de la figure 8 : soit il fait face à la caméra, soit il est de dos.

L'*évaluation* est effectuée comme la suite logique de l'*analyse*. Pour la recombinaison spatiale, une technique de mesure qui inclut un contrôle des incertitudes, telle que la photogrammétrie est préconisée. Les erreurs sont appréciées à mesure que l'*analyse* progresse pour déterminer la position, la forme ou les dimensions des objets et personnes d'intérêt. La progression est liée à la construction d'une représentation interactive afin d'explorer les relations spatiales entre les indices et de limiter les explications plausibles. L'interactivité est liée à la possibilité d'afficher ou de masquer chaque indice, d'ajouter des lignes, des formes et des mesures ou d'ajuster l'apparence des objets (filaire, surfaces, transparence, textures, etc.), l'éclairage ainsi que le point de vue et son champ de vision (Milliet et Sapin, 2016). Le changement de perspective permet d'évaluer les positions relatives ou la visibilité d'un endroit à l'autre.

La cohérence de l'ancrage temporel est évaluée à l'aide des points de vue disponibles. Une fois que les images enregistrées par plusieurs appareils sont intégrées sur une même ligne de temps, le suivi des mouvements et des réactions permet de s'assurer de l'enchaînement logique des activités. Cet aspect de cohérence temporelle est essentiel pour l'*analyse* des hypothèses. En effet, les observations faites avant, pendant et après un évènement peuvent être drastiquement différentes. Des hypothèses liées à la présence d'un objet, à la configuration de l'environnement (structure des constructions, configuration de véhicules, croissance de la végétation, etc.) ou aux conditions de visibilité peuvent n'être valables qu'à certains moments. Le fait de situer les images dans un référentiel constant et explicite permet d'éviter des erreurs dans l'*analyse* d'hypothèses. Un autre aspect à considérer est l'incertitude de l'échantillonnage temporel de chaque appareil ou chaque caméra¹⁰ connectée à un système de surveillance. La cadence d'enregistrement des images n'est pas toujours stable dans le temps et devrait être vérifiée par rapport à une référence externe (p. ex. une horloge filmée ou une lumière cadencée). La décomposition de séquences d'actions peut être améliorée en considérant la cadence d'enregistrement de chaque appareil.

¹⁰ Le multiplexage des signaux vidéos peut modifier la cadence d'enregistrement de plusieurs caméras connectées.

Le travail systématique avec un pair est garant de vérification. Pour cette raison, la méthodologie formalise la part du travail individuel et la collaboration avec les pairs. De manière nuancée par rapport à la méthodologie ACE-V (Analyse, Comparaison, Évaluation et Vérification), la vérification ne porte que sur certains aspects du travail. Un second avis permet de conforter les observations, d'estimer l'influence d'un changement d'opérateur sur les mesures et de passer en revue les documents produits. Le recours aux pairs est notamment recommandé pour procéder à la description indépendante du contenu d'images ambiguës. Ceci permet d'évaluer la convergence ou non des observations. L'interprétation de certaines mesures est renforcée par le fait que plusieurs opérateurs réitèrent les mesures. Ceci permet d'intégrer les erreurs dues à l'opérateur dans l'interprétation des résultats. Lorsque des données pour quantifier la valeur des indices peuvent être obtenues, il est souhaitable d'utiliser des rapports de vraisemblance ou une échelle verbale pour exprimer la valeur probante des indices lors de l'étape d'évaluation (Marquis, *et al.*, 2016).

L'observation des contenus de plusieurs images qui proviennent de différents appareils renforce l'appréciation de leur authenticité. Cette appréciation intervient lorsque la reconstruction a progressé. En effet, les concordances et discordances entre les contenus des différentes images sont constamment relevées lors de la reconstruction. Les cohérences dans l'environnement sont systématiquement utilisées. À contrario, toute incohérence remet en question l'authenticité des images exploitées. Cette plus-value de la méthodologie apparaît en fin de processus et mérite d'être notée.

Communication

Les images entrent dans la spirale par le centre. Elles sont ensuite organisées, analysées et évaluées pour produire des informations et des indices qui s'accumulent dans la *communication*, représentée par une hélice circulaire verte située à l'extérieur de la spirale (Figure 2). Cette hélice symbolise un potentiel de *communication* qui augmente grâce aux informations extraites des images témoins. Ce potentiel permet des échanges continus et bidirectionnels avec les parties prenantes de l'enquête. Des échanges formels ou informels ont lieu notamment avec les enquêteurs, les magistrats et d'autres spécialistes. En plus des échanges oraux ou écrits, les images fournissent des illustrations qui facilitent la *communication* visuelle. Cette dernière intervient :

- Dans la phase de développement de l'enquête. Les outils d'*analyse* contribuent à explorer de nouvelles pistes ou alternatives. L'éventail complet des outils est à disposition pour faire progresser la reconstruction au gré des interactions avec les interlocuteurs.
- Dans la phase finale de l'enquête, la *présentation* des conclusions utilise des moyens beaucoup plus limités dans leur interaction et fige certaines hypothèses sur le déroulement de l'évènement. Ce caractère définitif est regrettable. Il serait préférable que les outils d'*analyse* fassent partie des bonnes pratiques des magistrats et des autres experts. Elles permettraient à ces derniers de mieux vérifier leurs hypothèses plutôt que d'être contraints par la version figée de la *présentation*. Cet aspect est discuté dans le Chapitre 5.

Les informations transmises sont symbolisées par des flèches vertes sortantes sur la figure 2. Elles comprennent non seulement le partage des connaissances accumulées, mais aussi des pistes d'enquête susceptibles de faire progresser la reconstruction telles que la recherche et la récolte de nouvelles images témoins. La *communication* peut donc amener à modifier la direction de l'enquête. La recherche de témoins peut s'étendre aux images enregistrées avant l'évènement, par exemple des repérages ou des comportements suspects. Ce type d'actes préparatoires donne lieu à une entrée d'informations ou d'images qui précèdent l'évènement. Par commodité, le développement de l'enquête va s'inscrire dans la spirale avant la *pré-analyse*. Un périmètre plus large peut être considéré pour intégrer les voies d'accès ou d'autres endroits pertinents.

Les nouvelles images ou données reçues sont symbolisées par des flèches entrantes rouges. Des informations inédites peuvent modifier le questionnement du cas. Les données entrantes sont traitées comme des traces de la même manière que dans la *pré-analyse*. La copie du matériel, l'extraction des métadonnées et la décomposition de nouvelles questions en objectifs spécifiques sont liées à l'entrée dans la spirale.

La *communication* bidirectionnelle souligne le lien ténu qui existe entre les données sortantes et entrantes. Lorsque l'exploitation des images est entravée par le manque de témoins ou de données de référence sur des objets, personnes, endroits ou moments particuliers, un retour sur les lieux ou la récolte de ces données sont des pistes pour faire progresser la reconstruction.

Les informations et illustrations produites orientent le *travail sur la scène* et la *récolte*, qui sont considérées comme des étapes extérieures au processus et autonomes ; elles peuvent être réalisées par des intervenants variés et associées à des manuels, des protocoles ou procédures séparés. À titre d'exemple, un manuel¹¹ de photogrammétrie forensique décrit comment utiliser cette technique pour récolter des données de référence en vue de l'exploitation d'images témoins. Bien qu'externalisées, ces étapes sont dès le début liées à l'exploitation par la *communication*. Pour expliciter les synergies avec l'examen des images, la figure 2 illustre la relation possible entre les informations sortantes (flèches vertes) et les entrées de données (flèches rouges). Ces étapes externes génèrent des entrées d'information ou de matériel à l'intérieur de la spirale, comme un relevé tridimensionnel de la scène de crime ou de nouvelles images témoins qui viennent d'être récoltées. À l'intérieur de la spirale, les traces acquièrent du potentiel de *communication* à partir du moment où elles sont organisées, analysées et évaluées.

La *communication* comprend aussi la collaboration avec d'autres spécialistes pour élargir l'éventail des examens et techniques d'*analyse* qui contribuent à la résolution du cas. La comparaison de personnes, d'objets, le traitement des pistes audio, l'examen de sons particuliers ou encore la modélisation de la dynamique sont des exemples d'analyses susceptibles de faire progresser les connaissances.

En ce qui concerne l'information sortante, les images peuvent apporter un soutien aux entretiens et aux auditions avec les témoins et les protagonistes pour stimuler leur mémoire et amener des

¹¹ https://www.dropbox.com/s/i9sp7eyyg9lw4fs/ManuelPhotog_Draft.pdf?dl=0, site visité le 20.07.2017

informations supplémentaires sur ce qu'ils ont vécu. La position et le champ de vision des témoins peuvent être visualisés dans une représentation de la scène et des indices liés à l'évènement. Des témoignages ou d'autres indices matériels peuvent être confrontés avec la reconstruction.

Présentation

La fin du processus est marquée de manière explicite par la flèche sortante de la *présentation*, point de non-retour de la *communication* de la reconstruction. La reconstruction est mise en forme selon le destinataire de l'information. Par souci de clarté, les étapes de la reconstruction sont présentées comme la suite logique d'opérations et de techniques appliquées pour répondre aux questions de l'affaire. La revue des résultats et des conclusions par un pair est recommandée. La relecture d'un rapport écrit permet d'en vérifier le contenu. En tout temps, de nouvelles informations peuvent changer les conclusions de la reconstruction. Pour cette raison, le fait qu'elle soit ouverte et que les parties disposent d'outils d'*analyse* similaires pour raisonner sur la *présentation* des conclusions serait souhaitable.

Quelques recommandations générales sont formulées sur la création de représentations spatiales et temporelles pour présenter la reconstruction d'un évènement. Il est primordial de distinguer l'environnement de la scène, les traces observées et les indices obtenus de manière claire et explicite. Le réalisme de la représentation 3D ne devrait pas supplanter la visualisation des traces et des indices pertinents lors de la visualisation. En effet, les détails ou les couleurs inutiles ont tendance à attirer l'œil et distraire l'observateur, qui risque de passer à côté ou de minimiser l'importance des indices pertinents, qui sont le fruit d'une exploitation complète. L'utilisation d'objets graphiques simples et schématiques pour les traces et les indices évite une surcharge de détails. Le choix du point de vue devrait éviter de modifier la perception de l'observateur. Des vues en plan ou en coupe facilitent une appréciation correcte des distances et des angles. Les vues en perspective isométrique ou les perspectives qui correspondent à l'angle normal de la vision humaine doivent être privilégiées pour éviter les erreurs liées à la perception (Milliet et Sapin, 2015). Un choix libre du point de vue avec un outil simple d'utilisation serait souhaitable pour permettre aux parties de visualiser la représentation depuis différents endroits.

Au niveau de l'évolution temporelle, les éléments fixes doivent être distingués des éléments statiques et des éléments dynamiques qui ne sont observés que sur quelques images. Une indication claire doit permettre de séparer des observations faites à différents moments et intégrées dans une même représentation. Plusieurs états peuvent aussi être utilisés pour montrer l'évolution de la situation en fonction des observations et des mesures obtenues à partir des images. Lorsqu'une séquence d'images informe sur le mouvement d'une personne ou d'un objet, la représentation de positions successives est possible. De manière générale, l'animation devrait se limiter aux positions observées et à l'incertitude qui leur est associée ; l'interpolation doit être évitée. De plus, le timing des images dont sont issues les observations doit être calibré par rapport à des intervalles de temps connus.

La présentation de plusieurs vidéos qui montrent un évènement depuis plusieurs points de vue doit préciser si les séquences sont situées dans le temps de manière relative (avant ou après les observations qui situent d'autres séquences) ou par rapport à un temps absolu (référence externe).

La représentation de scénarios ou de versions des faits devrait être laissée aux parties. Dans ce sens, un système ouvert faciliterait la visualisation et l'utilisation des traces et des indices par l'une et l'autre des parties pour élaborer et présenter leur scénario.

Chapitre 5 : Discussion des résultats

Les résultats de cette thèse de doctorat mettent en évidence les facettes de l'utilisation des images pour reconstruire des activités criminelles. La méthodologie proposée contribue à formaliser l'utilisation des images témoins, devenues communes et omniprésentes. Elle fournit un modèle d'exploitation de ces images en science forensique, qui constitue une base solide pour les praticiens chargés de reconstruire un évènement à partir d'images. Ce chapitre discute l'intégration de ce modèle dans la pratique forensique, en particulier sa complémentarité par rapport aux procédures standardisées. La discussion s'étend ensuite à l'apport de la réflexivité tout au long des phases de recherche et aux limites de la stratégie de recherche avant de proposer des pistes de recherches. À noter que dans ce chapitre et le suivant, le terme méthodologie désigne la méthodologie consolidée (MC), présentée au chapitre précédent.

Intégration dans la pratique forensique

Les cas résolus constituent les exemples les plus démonstratifs de l'intégration de la méthodologie dans la pratique forensique. Dans des affaires traitées qui sont encore en cours de procédure, les discussions informelles avec les enquêteurs et le dénouement de l'enquête ont confirmé les échanges envisagés et les indices amenés par la méthodologie. Le travail de reconstruction de la scène à l'aide des images et la représentation d'une chronologie de l'évènement ont trouvé leur résonance dans l'enquête au niveau :

- De la recherche de matériel sur une zone et une période élargie.
- Du travail d'analyse des écoutes téléphoniques pour préciser la période d'intérêt (chronologie vérifiée avec la chronologie des appels qui ont suivi la commission du délit).
- Des observations et mesures sur un véhicule qui ont permis de trouver le type de véhicule suspect (comparaison concluante avec un véhicule suspect).

Le second et le quatrième article fournissent des exemples de cas qui illustrent l'application de la méthodologie et sa plus-value. La partie qui suit synthétise l'apport de la méthodologie.

Les évènements particuliers qui sont enregistrés par différentes personnes et divers appareils génèrent des images témoins, dont la signification peut être ambiguë et les conditions d'enregistrement inconnues ou pour le moins incontrôlées. Ces témoins peuvent être

décomposés en traces qui véhiculent des informations lacunaires et partielles sur un évènement en partie inconnu. Cette thèse de doctorat démontre qu'une reconstruction complète passe par des étapes distinctes et permet d' :

- Approcher les questions du cas, en les formulant de manière adaptée et en mettant en évidence ce que les images peuvent apporter.
- Accroître le nombre d'observations en ajoutant une description systématique du contenu des images aux métadonnées disponibles.
- Élargir le périmètre et la fenêtre temporelle de l'affaire en fonction des indices apportés par les images.
- Intégrer dans un même référentiel les images enregistrées par des appareils différents en tenant compte de leurs conditions d'enregistrement.
- Augmenter les connaissances sur l'évènement par la combinaison des images de plusieurs systèmes d'enregistrement en utilisant les informations des métadonnées et le son enregistré.
- Obtenir des informations qui ne sont pas directement perceptibles sur les images en mesurant les points de vue et les observations faites sur les images pour les replacer dans l'environnement spatial de la scène et les situer dans le temps.
- Exploiter des images périphériques et à priori sans lien avec les activités criminelles du cas pour générer de nouveaux indices.
- Affiner les hypothèses envisagées sur le déroulement d'un évènement passé en confrontant les indices et en vérifiant la cohérence de la reconstruction.

Les images témoins apportent des informations exclusives sur le moment de l'évènement. Ces informations permettent de générer et d'analyser des hypothèses sur l'évènement lui-même. Dans ce sens, ces images complètent les images documentaires telles que les photographies liées à l'intervention sur les lieux, qui ne peuvent amener des informations que sur ce qui est constaté après l'évènement.

D'autres effets de la méthodologie constatés dans les affaires traitées sont exposés ci-après, notamment la synergie entre traitement criminalistique et enquête judiciaire.

Parmi ces effets, les indices d'activité extraits des images ont un potentiel d'utilisation lors des auditions en vue de confronter les versions des faits des protagonistes et des témoins. Des informations précises sur l'espace-temps cernent les pistes de l'enquête et permettent d'établir une chronologie factuelle de l'évènement avec le rôle des protagonistes. Associés au savoir-faire des enquêteurs qui mènent les auditions, les indices circonstanciels des images contextualisent les traces découvertes et les témoignages, ce qui facilite la production de scénarios plausibles.

L'idée évoquée par un praticien et confirmée lors des dernières collaborations de l'auteur avec des enquêteurs soutient qu'une prévisualisation précoce des images, conduite sur les lieux de l'évènement apparaît comme une source d'indices en « temps réel ». Ces indices orientent l'intervention sur les lieux, en particulier la recherche et le prélèvement de traces liées aux zones de contacts ou aux modes opératoires qui sont observés.

De manière générale, les indices d'activité révélés par l'exploitation des images ont un impact sur la recherche de traces matérielles. Idéalement, l'exploitation des images devrait se dérouler en parallèle à l'intervention sur les lieux pour améliorer la gestion de la scène de crime. Cette répercussion singulière de la reconstruction des activités peut amener des informations qui facilitent la sélection des traces pertinentes. La vision centrée sur les possibilités de comparer et d'identifier à partir des images est élargie à une vision plus complète qui considère leur potentiel informatif circonstanciel. Ce potentiel permet de générer des propositions nouvelles sur les activités criminelles, en particulier sur les actions inattendues et usuelles ou qui n'ont rien à voir avec les *modi operandi* présumés du délit. Des traitements des images vidéo extraites permettent par exemple d'améliorer la visibilité des activités enregistrées de nuit dans des conditions de faible luminosité. L'apport d'indices sur les activités est particulièrement approprié pour orienter le prélèvement de traces invisibles à l'œil nu. L'ADN de contact, par exemple, est généralement prélevé sur les endroits où des transferts sont envisagés d'après les propositions du moment sur l'activité du criminel (Hazard, 2014). Comme l'explique Barclay (2009), le déroulement détaillé des évènements qui se passent sur les lieux permet la découverte de nouveaux points de contact entre l'auteur, la victime ou la scène. Non seulement ces points de contact sont susceptibles d'amener des informations nouvelles, mais ils alimentent aussi l'analyse du comportement, qui à son tour permet d'envisager des points de contact supplémentaires.

Les images peuvent aussi aider à prioriser les prélèvements à analyser. Pour l'ADN de contact, les prélèvements qui correspondent à des zones touchées ou des outils manipulés par des auteurs différents seront privilégiés dans le but d'obtenir les profils génétiques de l'ensemble des auteurs avec un minimum de prélèvements. Les points de vue de caméras sur les voies d'accès et les voies de fuite fournissent des indices d'activités qui délimitent l'étendue d'une scène de crime (sites secondaires, etc.). Une utilisation élargie des indices d'activités fournis par les images pourrait orienter le prélèvement de traces matérielles qui permettent l'identification d'auteurs et améliore la compréhension des évènements passés.

Ces exemples soulignent la plus-value de l'utilisation systématique des images pour la reconstruction du crime dès les premières phases de l'enquête criminelle. Les synergies avec l'intervention sur les lieux vont dans les deux sens : I) les images peuvent orienter le prélèvement de traces supplémentaires, II) des photographies documentaires peuvent être enregistrées lors de l'état des lieux en vue de faciliter l'exploitation des images, en particulier la reconstruction 3D.

En résumé, la méthodologie guide l'approche du cas et structure l'exploitation des images tout au long de l'enquête. Elle constitue un canevas pour approcher un cas pratique et choisir les tâches à effectuer afin d'amener des éléments de réponse aux questions en suspens. Elle fournit

des lignes directrices pour l'exploitation des images témoins, mais se distingue des protocoles et des procédures qui définissent respectivement des systématiques d'utilisation de techniques ou d'outils et des consignes à suivre pour réaliser une tâche particulière. La standardisation des procédures fait partie d'une démarche d'assurance qualité (QA), qui peut être compatible avec la méthodologie proposée.

La partie qui suit discute l'intégration de la méthodologie dans un système QA, avec des procédures standardisées, des manuels ou d'autres solutions qui structurent le travail des praticiens.

Procédures standardisées

Toutes les disciplines forensiques sont concernées par un programme QA complet, à tous les niveaux de la prestation fournie : les infrastructures et l'équipement, les qualifications et la formation du personnel, la collecte et la continuité des prélèvements, l'application de méthodes validées, les mesures de contrôle et le rendu des résultats (Lennard, 2013). De manière générale, les processus QA comportent trois dimensions interconnectées autour des processus forensiques (Brandt et Wilson-Wilde, 2013) : 1) L'accréditation des pratiques de laboratoire assure la conformité avec les standards internationaux et nationaux. 2) La certification des praticiens forensiques les autorise à effectuer des classes spécifiques de tâches et de méthodes. 3) La standardisation des cahiers des charges et des procédures assure que les produits, les services et les systèmes sont fiables et remplissent les exigences fixées par le système QA.

La méthodologie pourrait tout à fait s'intégrer dans un système QA. Elle est compatible avec les procédures standardisées qui concernent l'utilisation de techniques et d'outils spécifiques. Dans l'étape d'*organisation*, par exemple, le choix d'une technique est guidé par le rapport entre la plus-value de la technique et son coût en ressources humaines et financières. L'application des techniques intervient dans l'étape d'*analyse*. Elle consigne les opérations et les paramètres de manière à assurer le suivi de l'image tout au long de son exploitation. La standardisation implique une validation préalable des outils et techniques qui peuvent être intégrés à la méthodologie. La gestion de l'incertitude associée aux techniques fait partie de l'étape d'*évaluation*, qui comprend la vérification des indices et mesures effectuées. Finalement, la *présentation* des résultats, par exemple des images traitées, pourrait aussi être fixée à l'avance. Les étapes de la méthodologie sont donc compatibles avec l'utilisation de techniques standardisées et validées.

La méthodologie semble également complémentaire aux procédures standardisées, puisqu'elle offre une marge de manœuvre dans le choix des techniques. Cette marge de manœuvre pourrait orienter l'application de procédures standardisées par le praticien dans des circonstances précises. La méthodologie amène une réflexion générale sur la manière d'approcher un cas et de combiner une masse d'images. Elle offre des lignes directrices générales qui guident le choix des procédures à mettre en œuvre et leur articulation. Elle met l'accent sur certains aspects comme l'approche des questions du cas, l'élaboration d'une taxonomie de classification, le raisonnement hypothético-déductif ou la *communication* avec les parties prenantes de l'enquête, dont la

standardisation reste un défi. La méthodologie pourrait aussi être utilisée uniquement pour guider l'approche de cas qui sortent de la routine. En effet, elle fournit une vue structurée des étapes de l'exploitation des images qui interviennent dans la reconstruction d'un évènement passé, complémentaire à un effort de standardisation.

L'intégration de la méthodologie dans un système QA pourrait permettre de déceler des synergies qui améliorent l'efficacité de l'exploitation des images, en particulier dans les affaires qui font intervenir des techniques complémentaires. Ces synergies découlent du fait que la méthodologie représente une vue générale des différentes tâches et procédures qui interviennent dans les étapes d'*organisation*, d'*analyse* ou d'*évaluation*. Les articulations et les liens entre ces tâches sont mis en évidence soit à l'intérieur de la méthodologie, soit dans une *communication* soutenue entre professionnels, habilités à effectuer des tâches différentes. Chaque spécialiste est conscient de l'ensemble des possibilités et de la place de son travail par rapport à celui des autres avec qui il est en *communication* pour effectuer la reconstruction.

La méthodologie recommande la collaboration de plusieurs praticiens selon les tâches à effectuer et les techniques à mettre en œuvre. L'exploitation des images est pluridisciplinaire et concerne plusieurs spécialités, dont la délimitation varie selon le pays et l'institution. Plusieurs personnes, enquêteurs et techniciens, avec des compétences variées et complémentaires collaborent et s'attèlent à leurs tâches respectives. Ces tâches peuvent être par exemple la récupération de données effacées ou endommagées (« data carving »), le relevé de la scène, la photogrammétrie, les techniques de traitement d'images (Grigoras et Smith, 2013), le traitement du son ou encore la comparaison d'objets ou de personnes. Dans un système QA, la répartition des tâches effectuées en routine et standardisées est liée à la certification. La certification désigne qui est compétent pour effectuer telle tâche dans une institution. Cette compétence est liée à la conduite de tests collaboratifs ou d'exercices participatifs qui permettent de comparer les résultats obtenus par différentes personnes qui utilisent leurs propres outils. Qu'elle fasse l'objet d'une certification ou non, la confrontation avec les pairs renforce la confiance dans les résultats produits. À titre d'exemple, l'auteur a participé en 2015 à deux exercices collaboratifs organisés par le DIWG, un de photogrammétrie et un autre de traitement d'images ; ces tests permettent de comparer de manière anonyme la qualité des résultats de plusieurs spécialistes qui utilisent différents outils. Comme la vraie valeur est connue, chaque participant peut vérifier sa démarche. Dans le cas du traitement des images et des vidéos pour en améliorer la qualité, la confrontation des pratiques a contribué à un effort de standardisation (European Network of Forensic Science Institutes, 2015). Un document¹² accessible en ligne expose la terminologie et les bonnes pratiques liées au traitement des images. Le DIWG met également sur pied des tests de comparaison faciale, dans l'idée d'harmoniser et de comparer les pratiques européennes¹³.

¹² https://s-five.eu/FIVE_Best_Practice_Manual.htm, site visité le 20.07.2017

¹³ <http://www.enfsi.eu/projects/monopoly-programmes-mp/mp2011>, site visité le 20.07.2017

L'intégration de la méthodologie dans une institution impliquerait de l'adapter au cadre légal, aux infrastructures, aux équipements, aux dynamiques de fonctionnement et au savoir-faire national ou local afin de soutenir le travail des praticiens qui évoluent dans un système QA. L'intégration de la méthodologie dans un système QA soulève des questions au niveau des qualifications du personnel, de son implémentation et de son application (adéquation entre les produits délivrés et les objectifs visés, utilisation du raisonnement hypothético-déductif, etc.).

En résumé, la méthodologie est complémentaire aux lignes directrices et aux procédures par le fait qu'elle amène une culture de l'image témoin et une formalisation de la contribution des images aux besoins de l'enquête. L'approche démontre l'intégration des images traces dans l'investigation et souligne l'étroite collaboration qui a lieu entre spécialistes, intervenants sur les lieux, enquêteurs et procureurs pour faire avancer l'enquête. L'ensemble de comportements logiques, pratiques et efficaces qui permettent à une enquête de progresser rapidement doit cohabiter avec les méthodes standardisées qui tendent vers la déclinaison de chaque examen forensique des spécimens choisis afin de produire des moyens de preuve.

Apport de la réflexivité propre et partagée

Pour entamer le propos, voici une citation qui souligne l'importance d'une méthodologie scientifique pour la reconstruction (Chisum et Turvey, 2011, pp. 95-96) :

« A reconstruction must be a conclusion regarding what has occurred or not, based on a consideration of the forensic sciences, the scientific method, and analytical logic. Anything offered without this foundation is a guess, no matter how many years of experience one stacks beneath it for support. [...] reconstruction based on experience and intuition [...] contributes to the problem of oversimplification by lowering the bar well beneath the watermark of sound scientific methodology. »

Chisum et Turvey soulignent l'importance d'une méthodologie scientifique en matière de reconstruction, de manière complémentaire à l'expérience et à l'intuition, susceptibles de contribuer à la formalisation des pratiques. Cette thèse valorise les expériences de praticiens pour développer une méthodologie de reconstruction d'événements à partir d'images témoins. Elle met en lumière leur savoir-faire sous-jacent qui existe bel et bien, même s'il n'est pas forcément formalisé de manière explicite. L'effort de formalisation est récompensé par une mise en forme du savoir-faire, qui permet en quelque sorte de capitaliser les expériences pour enrichir les pratiques.

Paradoxalement, un autre aspect qui constitue une entrave à une formalisation explicite de la méthodologie est lié à l'évidence de son propre travail pour le spécialiste. Il n'explique pas ce qu'il connaît trop bien. Les pairs et à fortiori les autres parties prenantes de l'enquête et de la procédure judiciaire qui ne partagent pas le savoir du spécialiste peuvent éprouver des difficultés à comprendre ce qu'impliquent les analyses. Les prérequis, les étapes du travail, les possibilités d'examen et les indices obtenus sont plus aisément appréciés avec un langage commun.

Le fait de réfléchir sur sa propre pratique et de la soumettre à d'autres points de vue met en évidence les différences de perception qui représentent des sources d'incompréhension susceptibles d'entraver une communication avec des échanges efficaces. La transparence des étapes et du raisonnement qui mènent à la production des indices facilite une compréhension mutuelle avec les interlocuteurs de l'enquête et les pairs. La méthodologie met en évidence la manière dont les traces permettent de générer de nouvelles hypothèses et d'élargir le champ d'investigation du cas. Ce potentiel d'information des images se concrétise lorsque les parties prenantes de l'enquête reçoivent des indices supplémentaires. Ces informations supplémentaires impliquent une manière de travailler, qui peut être expliquée de manière claire, avec le concours des pairs. La réflexivité d'une part sur l'exploitation des images et d'autre part sur leur utilisation en synergie avec l'enquête contribue à élargir le potentiel des images témoins.

L'apport de la réflexivité est illustré par le cheminement du chercheur tout au long du travail. Une des particularités de la recherche qualitative est d'intégrer la vision et les expériences personnelles de l'auteur (Creswell, 2009). La description de la situation du chercheur et du projet de recherche contextualise les résultats et permet de mieux en saisir la portée. Le chercheur passe de la position d'un scientifique omniscient à celle d'un participant reconnu dans la production de connaissances partielles (Clarke et Friese, 2007). Le questionnement initial est : Comment suis-je arrivé à mes conclusions ? Son corollaire réflexif est : Qui suis-je pour arriver à mes conclusions ? Cette phase introspective permet de prendre conscience de l'influence :

- De la théorie, qui provient des notions reçues lors de la formation et de celles trouvées dans la littérature sur le sujet : L'auteur a suivi une formation de criminaliste généraliste, formé à l'exploitation des traces matérielles avec en sus des notions de criminologie, de droit, de photographie forensique et un complément dans le domaine du profilage physique et chimique des stupéfiants. Tout au long des études, il a utilisé les images pour documenter, analyser et comparer des traces matérielles. Les apports de la littérature sont résumés par la piste théorique du second chapitre.
- Des connaissances pratiques : Celles-ci proviennent notamment de son expérience professionnelle comme assistant diplômé dans les domaines de la photographie forensique, de l'investigation de scène de crime et de l'analyse des stupéfiants qui développent un regard critique sur le travail et les pratiques des étudiants encadrés. Sa thèse de doctorat dans le domaine de l'exploitation des images et de la photogrammétrie a permis à l'auteur d'élargir ses perspectives au niveau des manières de travailler, des technologies et des outils. Des expertises en imagerie forensique ont alimenté ses connaissances et expériences pratiques.
- Des intuitions : L'auteur a été convaincu de la plus-value d'intégrer les images dans un système de mesure afin de reconstruire des activités passées dès qu'il a commencé à utiliser la photogrammétrie, en 2008.

La considération de ces dimensions ne permet pas d'éliminer toute influence, mais de mieux l'apprécier en prenant du recul. Un regard critique sur sa propre démarche amorce une réflexion sur les raisons des choix effectués dans le traitement d'un cas particulier. Les choix sont contextualisés et compris. La démarche adoptée dans différentes affaires permet de repérer celles qui sont singulières et celles qui sont redondantes. Chaque nouvelle affaire alimente la démarche qui devient propre au praticien. Après quelques années d'expérience, une routine s'installe. Certains mécanismes deviennent évidents et ne sont plus explicités. Il faut exprimer formellement chaque étape pour que la démarche devienne explicite. Cette réflexivité propre permet de décortiquer son fonctionnement pour le décrire et le structurer. Parallèlement, le partage informel avec les pairs permet dans un premier temps d'obtenir leurs regards critiques sur cette structure transparente. Cet effort réflexif s'étend et fait progresser la conception initiale de l'auteur.

La littérature détaille bon nombre de facteurs d'influence liés à la réflexivité en matière de recherche qualitative. Certains auteurs soulignent l'importance de considérer les contextes interpersonnel et institutionnel de recherche, de même que les présupposés ontologiques et épistémologiques, qui font partie intégrante de l'utilisation de méthodes de recherche qualitatives (Mauthner et Doucet, 2003). Les sources d'inspiration de la stratégie de recherche ont marqué l'orientation pragmatique de la thèse de doctorat. La stratégie de recherche s'inspire du pragmatisme selon Peirce. Ce dernier écrit¹⁴ que le pragmatisme est basé sur des faits vivants et que tout ce qui arrive dans l'intellect passe par les sens. Il ajoute que les jugements perceptuels contiennent des éléments généraux (Peirce, 1903). Ce modèle place l'intuition et la perception des individus au centre de la construction logique des connaissances. Cette construction passe par l'abduction, raisonnement essentiel pour trouver des explications plausibles en lien avec les observations du terrain et les affiner au gré des découvertes faites tout au long de la recherche. Par conséquent, la recherche s'articule autour de situations réelles et d'expériences vivantes, qui mettent en relation les actions et leurs buts, à savoir les choix opérés par le praticien, leurs justifications et leurs conséquences.

Les dimensions interpersonnelles comprennent l'influence des chercheurs et chercheuses côtoyés par l'auteur, notamment Lorenzo Lanzi, qui a fait sa thèse sur la photogrammétrie et la modélisation 3D, Fabienne Fasseur et Marion Zwyzgart, spécialisées en recherche qualitative, les co-auteurs des articles scientifiques, Pierre Margot, Éric Sapin et Manon Jendly, le directeur de thèse, Olivier Delémont et Jean-Luc Gremaud, qui a officié comme expert externe lors de la présentation du mémoire intermédiaire. Les échanges avec les collègues et pairs, en premier lieu avec Éric Sapin, photographe émérite de l'ESC, ont été riches et soutenus tout au long du travail de recherche. Les présentations et discussions avec les pairs du groupe de travail suisse de police scientifique dans le domaine de l'imagerie et du DIWG ont également influencé le chercheur. Les dimensions institutionnelles ont été élargies grâce aux perspectives d'autres praticiens, qui évoluent dans des pays et institutions différents.

¹⁴ L'idée est tirée de la dernière des sept « Harvard Lectures on Pragmatism » de Peirce en 1903.

La phase d'exploration des expériences des praticiens a étendu la démarche réflexive à la manière de travailler d'autres personnes (Milliet, *et al.*, 2015b). Tout au long de la collecte et de l'analyse des entretiens individuels et de groupe, une posture réflexive et humble a été adoptée pour faire émerger une méthodologie ancrée dans les données empiriques et non dans les conceptions préexistantes de la méthodologie appliquée jusque-là par l'auteur. La réflexivité individuelle et collégiale des praticiens a également été stimulée lorsqu'ils ont partagé leurs visions sur les pratiques des uns et des autres.

La réflexivité partagée amène à une prise de conscience de son propre regard par l'étude de la perception des autres sur leur manière de travailler. Cet élargissement vers des perspectives et visions croisées enrichit la conception de la pratique. Les adaptations collégiales de structure, d'étapes ou de terminologie ont renforcé la « culture » de l'utilisation des images. L'exploration des expériences d'autres praticiens permet également l'émergence d'une méthodologie plus transparente. Certaines étapes implicites et sous-jacentes qui interviennent pourtant dans la reconstruction deviennent explicites, voire incontournables. Les praticiens (l'auteur y compris) n'expliquent pas aux autres ce qui va de soi. Ce phénomène est renforcé par le fait qu'il n'y a pas besoin d'expliquer sa manière de procéder aux pairs, parfois sujets aux mêmes automatismes professionnels. Ces éléments communs et universels se retrouvent dans la majorité des cas et interviennent dans la prise de décision. Le plus difficile à mettre à nu est le raisonnement dont la mémoire ne semble garder que les fruits, soit les indices tangibles obtenus in fine. La réflexivité partagée entre pairs contribue à expliciter l'ensemble des étapes et raisonnements qui interviennent pour générer des indices. Cette explicitation contribue à améliorer la compréhensibilité des résultats produits pour les pairs et à fortiori pour les non-spécialistes, qui sont bien souvent les destinataires finaux de l'information.

La confrontation avec les expériences des autres a permis à l'auteur de réaliser le caractère innovant de sa manière de pratiquer la reconstruction forensique d'évènement, au carrefour entre plusieurs disciplines et compétences uniques. Les praticiens ont élargi l'éventail des disciplines et amenés de nouvelles idées, notamment pour discuter l'intégration dans la pratique forensique. En définitive, la perspective de l'auteur, étayée par un champ d'expériences variées, a permis d'affiner la méthodologie de reconstruction d'évènement à partir d'images.

Limites de la stratégie de recherche

Comme discuté précédemment, l'intersubjectivité et la réflexivité ont été privilégiées tout au long des phases de collecte et d'analyse des données pour limiter les biais de la recherche qualitative. La validité est définie par l'étendue de l'ancrage empirique et conceptuel d'une méthodologie (Creswell, 2009). Dans ce sens, les résultats obtenus sont tout à fait valides, bien que limités aux expériences et contextes de travail des participants et du chercheur.

Le champ des expériences étudiées est européen, et suisse en particulier. Les solutions émergentes mettent en évidence un consensus de praticiens européens qui évoluent dans des cadres légaux et institutionnels différents. Si des parallèles peuvent être faits au niveau des étapes et des tâches de la méthodologie, ses modalités de mise en œuvre pourraient se révéler très

différentes d'un pays à l'autre ou d'une institution à l'autre. Concrètement, ces modalités sont discutées dans la partie sur l'intégration dans la pratique forensique, en particulier l'aspect complémentaire aux procédures standardisées.

En référence à la recherche qualitative (Dey, 2007), la validité est non seulement liée à la réflexivité, mais aussi à la cohérence de la méthodologie par rapport aux connaissances établies dans le domaine de l'exploitation des images. De plus, la fiabilité et le caractère généralisable des résultats ont une moindre importance que leur crédibilité et leur authenticité (Creswell, 2009). La stratégie de validation préconisée par Creswell en recherche qualitative repose sur : une description complète et transparente des résultats ainsi que des outils de recherche et de leurs conditions d'utilisation ; une clarification des biais possibles par une discussion de la réflexivité du chercheur ; la présentation d'informations divergentes par rapport au modèle général ; le débriefing avec les pairs et la confrontation de résultats intersubjectifs.

L'ancrage théorique de la problématique est exposé dans le premier article. La section intégration dans la pratique forensique situe les résultats et discute leurs implications pratiques. La section précédente discute la réflexivité propre et partagée, ainsi que la confrontation aux pairs. Les résultats sont intimement liés au contexte de collecte et d'analyse des données. En tant que tels, ils ne sont pas généralisables sous la forme d'une théorie ancrée formelle applicable à toutes les situations possibles, mais plutôt comme une théorie ancrée substantielle pour la reconstruction d'événements dans des cas qui comportent des images témoins, enregistrées par une ou plusieurs caméras. Les résultats de cette recherche sur la démarche de l'auteur et des pairs montrent que la méthodologie est cohérente. La généralisation de la méthodologie est limitée au champ des expériences de l'auteur et des pairs.

Un moyen de dépasser cette limite est de continuer à faire évoluer la méthodologie au gré des expériences, des échanges avec les praticiens et de nouvelles technologies d'enregistrement et de partage d'information visuelle.

Méthodologie vivante et holistique

Les évolutions successives de la méthodologie sont le fruit de multiples apports réflexifs des praticiens. Ces apports vivants concourent à la formalisation collégiale d'une manière de travailler. En fin de compte, la méthodologie représente le point de vue de l'auteur, augmenté par une exploration des pratiques. La transparence et l'ouverture aux pratiques des autres sont les ingrédients clés pour développer une méthodologie holistique d'exploitation des images. Les échanges constituent la pierre angulaire du développement d'une méthodologie vivante, à la mesure de la complexité des actions et des interactions qui interviennent tout au long du processus forensique. Les étapes, les tâches, les opérations et les outils doivent continuer à intégrer les connaissances pratiques, représentées par l'expérience des praticiens et les connaissances techniques, qui avancent avec les progrès technologiques.

Le maintien d'une réflexion personnelle et partagée sur les pratiques constitue selon l'auteur un élément clé pour stimuler une méthodologie évolutive qui tire profit de nouveaux outils dans un canevas cohérent et adaptable. Le processus de co-construction fournit des bases et des

références communes au groupe de praticiens impliqués dans les efforts de conception et de définition (p. ex. le DIWG). Ces fondements créent un terrain fertile pour aménager une bibliothèque d'expériences, animée par des flux dynamiques de connaissances qui soutiennent l'échange du savoir-faire. Une telle bibliothèque alimente également la formation des praticiens, comme l'ont relevé certains participants.

Le partage de retours d'expériences de cas pratiques dans un système cohérent de description des façons de travailler peut contribuer au développement d'un canevas holistique d'exploitation des images. La gravité et la qualification des cas, des questions et les spécificités de la méthodologie adoptée pour les résoudre peuvent alimenter une forme de matrice conditionnelle (Kearney, 2007). Cette matrice pourrait prendre la forme d'un référentiel accessible des variations de situations et de la variété des actions qu'elles ont entraînées. Une telle étude impliquerait une récolte et une analyse systématique et conséquente de données sur la manière de traiter les cas par les spécialistes impliqués. Le contexte institutionnel ainsi que les conditions locales et globales pourraient être des facteurs situationnels à considérer pour développer une théorisation ancrée plus générale qui décrive les choix et actions des praticiens (Clarke et Friese, 2007).

De manière plus spécifique, des efforts de formalisation pourraient être poursuivis sur des étapes particulières telles que la sélection, qui semble intervenir à différents stades de l'exploitation des images ou sur la gestion de l'incertitude liée à des images équivoques. Les traces de qualité limitée sont associées à une forte incertitude et susceptibles d'induire en erreur l'observateur. Les retours d'expérience et les échanges avec les pairs sont précieux pour réduire les risques d'erreur et faire avancer les connaissances sur les manières d'utiliser les techniques dans un canevas structuré et éprouvé.

Pistes de recherche

Cette section discute la transférabilité de la stratégie de recherche à d'autres problématiques forensiques et propose des pistes de recherche complémentaires sur l'utilisation des images dans l'investigation.

Transférabilité de la stratégie de recherche

La stratégie de recherche est inspirée du pragmatisme et de la théorisation ancrée. Cette dernière est basée sur une collecte et une analyse simultanée des données afin de formuler et vérifier des hypothèses en continu (Paillé, 1994). Cette particularité cyclique de progression des connaissances sur un comportement, un phénomène ou un événement s'appuie sur un raisonnement hypothético-déductif. Ce point de vue soutenu par une vision pragmatiste de la théorisation ancrée (Strübling, 2007) souligne un parallèle entre le raisonnement du chercheur et celui de l'investigateur. Ce point commun fait de la théorisation ancrée un outil de choix pour étudier les pratiques forensiques sur le terrain de l'investigation.

Cette stratégie de recherche innovante est transférable à d'autres domaines forensiques pour compléter les démarches centrées sur la standardisation des procédures de travail et intégrer les

expériences des praticiens dans la formalisation des pratiques forensiques. L'avantage est de mettre en avant les expériences et le savoir-faire des praticiens pour alimenter une base de connaissances et faire émerger un modèle théorique de manière structurée. En effet, des solutions sont proposées et confrontées aux pratiques pour profiler les moyens de faire progresser la réflexion sur les méthodes de travail en science forensique. Cette stratégie peut favoriser les échanges de points de vue des forensiciens, des enquêteurs ou encore des magistrats. Elle a une bonne portée pour étudier l'utilisation et la combinaison d'indices matériels dans l'investigation en dépassant les différences de perception ou encore de jargons entre les personnes impliquées dans les processus en jeux.

L'efficacité des lignes directrices repose principalement sur leur adaptabilité et leur utilité pratique. Bien qu'ils soient directement concernés par leur application, les utilisateurs ne sont pas toujours impliqués ou consultés dans leur conception. La stratégie adoptée complète les connaissances sur l'application des techniques par l'étude d'une méthodologie globale qui soutient les décisions quant à l'utilisation des outils appropriés en situations concrètes. L'implication des praticiens dans la création des méthodologies de travail est une solution efficace pour considérer la dimension humaine de l'utilisation des techniques et des procédures. En effet, une utilisation appropriée est guidée par des choix rationnels et des expériences passées dans un système de résolution de problèmes qui n'est bien souvent pas formalisé. L'étude des expériences de praticiens est une solution pragmatique pour évaluer la place et la contribution du savoir-faire dans un tel système. Cette solution est particulièrement appropriée pour explorer des domaines nouveaux où la méthodologie de travail n'est pas formalisée.

Recherche complémentaire

La contribution des images témoins mérite d'être approfondie. En plus de contribuer à l'investigation d'affaires criminelles par des indices directs ou circonstanciels, les traces peuvent être utilisées à des fins de renseignement forensique. Les indices liés aux personnes (visages) (Dessimoz et Champod, 2015) et aux objets (chaussures, habits) ont un potentiel de renseignement sur les activités criminelles pour détecter ou confirmer des séries de délits. Ce potentiel des images comme vecteur de renseignement a été démontré dans la littérature (Rossy, *et al.*, 2013). Dans une perspective élargie à la reconstruction des activités, les images témoins peuvent apporter des informations sur le mode opératoire des criminels ainsi que sur l'environnement immédiat des scènes de crime (Ribaux, *et al.*, 2010). Des informations sur le comportement des auteurs et des victimes peuvent contribuer à une meilleure compréhension des habitudes des criminels, des réactions des victimes et ainsi alimenter l'analyse situationnelle et renforcer les connaissances des phénomènes criminels. Cette contribution des images témoins comme catalyseur de connaissances mérite d'être approfondie pour renforcer les liens forensiques ainsi que les actions de prévention.

Une exploitation automatique permettrait d'augmenter l'efficacité de la méthodologie. Cet aspect est particulièrement critique pour l'exploitation rapide de vidéo de masse dans les affaires majeures. Malgré le souci constant de gagner en efficacité en tirant profit d'outils automatiques, les possibilités d'automatisation des étapes de la méthodologie sont limitées. L'automatisation

pose problème à cause de la qualité du matériel de base et de la complexité de l'interprétation des indices d'activité. À titre d'exemple, les outils de recherche et de comparaisons automatisées des images sont prometteurs, mais leur application est limitée lorsque les conditions d'enregistrement des images ne sont pas contrôlées. Une solution envisageable serait de tirer profit de chaque outil de manière maîtrisée, en l'intégrant dans une méthodologie d'exploitation qui alimente les processus de renseignement. Il faudrait ajuster les paramètres des outils automatiques en fonction des circonstances du cas, de manière analogue à ce qui est proposé pour la *pré-analyse* et l'*organisation* des images. Un déploiement des outils encadré par une systématique rigoureuse est une piste intéressante pour viser la production d'indices et l'élaboration d'hypothèses de manière simultanée à la conduite des investigations.

La veille technologique mérite une attention particulière. En effet, l'exploitation des images est intimement liée à leur lecture, qui évolue avec les technologies de capture des images. Bien avant l'arrivée des images numériques, Barthes parle d'un : « *paradoxe historique important : plus la technique développe la diffusion des informations (et notamment des images), plus elle fournit les moyens de masquer le sens construit sous l'apparence du sens donné.* » (Barthes, 1964, p.7). Il impute les variations de lecture aux codes et savoirs pratique, national, culturel et esthétique investis dans l'image. Une observation directe et objective de la réalité à travers une image implique que le créateur et le lecteur partagent les mêmes consciences et connaissances des codes optiques, techniques ou culturels qui interviennent dans la création des images (Rouillé, 2005). Dans cette perspective, cette recherche alimente une culture de l'image témoin qui renforce la lecture et l'utilisation des images en tant qu'indices. L'auteur a constaté que la prise de conscience du potentiel de reconstruction (mesures, intégration 3D, son, chronologie) change la culture de l'observation des images 2D. Dans le contexte social et culturel actuel, les codes évoluent rapidement avec les technologies d'enregistrement et de partage de photographies, de vidéos et de contenu virtuel. Les gens s'habituent à visualiser les objets en trois dimensions et à changer de point de vue rapidement. La densité des informations et le rapport au réel à travers les images et les représentations virtuelles changent. Les pratiques d'extraction et de combinaison des indices doivent suivre ces changements pour rester sur le fil d'une observation et d'une exploitation bien aiguës. La culture forensique de l'image trace devrait continuer à évoluer avec l'utilisation de nouveaux outils de représentation de l'espace et du temps, par exemple la réalité virtuelle. L'auteur prépare actuellement deux articles qui abordent l'utilisation de nouveaux outils de fusion d'images pour augmenter l'information spatiale¹⁵ par la création de panoramas et pour cumuler des informations temporelles¹⁶ enregistrées à différents moments.

La méthodologie construit une représentation « augmentée » de l'évènement par l'ajout de couches d'information successives qui proviennent des images traces et de la documentation. Actuellement, la *présentation* de la reconstruction est faite de manière à faciliter la compréhension des faits passés à l'aide d'une représentation qui distingue l'environnement, les traces et les indices. Cependant, cette représentation a tendance à figer certaines hypothèses,

¹⁵ Image fusion to increase the spatial information in three-dimensional forensic reconstruction.

¹⁶ Image fusion to combine temporal information in three-dimensional forensic reconstruction.

qui conditionnent la compréhension de l'évènement. Par conséquent, l'utilisation de la reconstruction par les parties pour débattre des scénarii de l'évènement jusqu'au tribunal est limitée. La création d'une représentation augmentée serait dynamisée en relevant les défis suivants :

1. L'intégration de données abondantes et nouvelles sur les traces et leur environnement spatio-temporel justifierait un effort de recherche. En effet, les développements technologiques des moyens d'enregistrement audiovisuels et de documentation 3D des scènes de crime, des objets ou des personnes seront à suivre de près.
2. Le développement d'un langage commun avec des principes et des outils de communication accessibles à tous les acteurs du système judiciaire serait profitable. Des codes explicites de création et d'utilisation de représentations visuelles de l'espace et du temps permettraient de revisiter la scène, les traces et les indices. Cela donnerait aux enquêteurs et aux parties la possibilité de formuler et d'apprécier des alternatives sur le déroulement de l'évènement. Le rôle du forensicien par rapport à l'établissement d'une reconstruction ouverte pourrait être clarifié pour garantir une bonne compréhension des informations communiquées et éviter qu'une représentation soit assimilée à la réalité et devienne une nouvelle mémoire de l'évènement.

Chapitre 6 : Conclusion

Cette recherche s'intéresse aux rôles des images en science forensique, et plus particulièrement à celui des images témoins, liées à un évènement passé. Nombreuses, disparates car enregistrées par des appareils différents, et parfois ambiguës, ces images constituent bien souvent des traces inédites et précieuses pour reconstruire et comprendre le déroulement d'activités criminelles. Cette utilisation des images est au cœur de ce travail, dont le but atteint est d'exploiter au mieux l'information véhiculée par l'image témoin comme support à la reconstruction forensique d'un évènement. Pour cela, cette recherche :

- Construit et développe une méthodologie d'exploitation des images à la croisée des réflexions personnelles et des expériences pratiques.
- Tire parti de cette méthodologie pour traiter des cas pratiques et reconstruire des évènements complexes.
- Met en évidence des apports concrets à la résolution d'affaires criminelles.

Ces trois contributions majeures de la thèse sont développées dans les paragraphes qui suivent, avant de mettre en évidence les défis à venir.

En premier, la construction de la méthodologie a mis successivement à contribution les pistes théoriques de la littérature forensique, les expériences personnelles de l'auteur basées sur des cas concrets et les expériences de praticiens sondées à l'aide d'entretiens individuels et de groupe. Cette construction originale intègre les cas traités et les expériences des praticiens dans la formalisation de l'exploitation des images en science forensique. Elle permet également de dépasser les différences de perception, de s'entendre de manière collégiale sur la terminologie et de favoriser les échanges de points de vue entre les praticiens et avec les parties prenantes de l'enquête. Elle structure l'exploitation des images pour orienter les praticiens vers la recherche d'une vérité factuelle. La formalisation de l'exploitation des images permet de mieux expliciter les indices qu'elles peuvent apporter aux enquêtes. La plus-value amenée par la reconstruction 3D, la chronologie ou les indices sonores devient plus nette pour les forensiciens, les enquêteurs et les magistrats. Le fait de percevoir cette plus-value des images constitue un nouveau paradigme. Le potentiel latent des images est mieux intégré et anticipé lorsque les cas sont traités. L'observation des images change.

En second, la méthodologie élaborée a permis d'exploiter les images et de reconstruire les évènements liés à plusieurs cas pratiques. En réponse aux questions de recherche, elle apporte une solution structurée et applicable qui s'adapte aux questions investiguées, intègre des images traces qui proviennent de systèmes d'enregistrement hétérogènes et permet de dégager des informations sur l'espace 3D, le temps et le son. Elle constitue un modèle de gestion des questions, des informations, du matériel et des examens qui peuvent être effectués dans un cas particulier. Elle fournit un cadre de travail pour établir une stratégie d'exploitation appropriée, assortie d'un cheminement plausible et justifiable vers une solution. Cette exploitation

structurée des images témoins apporte de nouvelles perspectives sur la découverte des faits au sujet d'événements passés.

Même dans les cas pratiques avec peu d'images, un plus grand nombre d'observations sont réalisées en décrivant leur contenu de manière systématique. L'observation structurée à l'aide de catégories descriptives prépare l'observateur qui est à même d'extraire et de communiquer des informations efficacement. L'*organisation* permet aussi une mise en relation multidimensionnelle des images en fonction de l'appareil utilisé, des indications temporelles, de la description du contenu, du point de vue ou d'autres critères comme les analyses envisagées.

Une des forces de la méthodologie est d'utiliser des éléments périphériques, à priori sans intérêt pour créer des liens entre les images et faire avancer la reconstruction. La mesure de l'espace et du temps clarifie les circonstances et limite les hypothèses sur le déroulement des actions des protagonistes. L'intégration des images dans l'espace et dans le temps fournit des indices sur les activités investiguées, en sus des indices liés aux personnes. La combinaison des traces amène à la découverte de nouveaux indices, non directement perceptibles à partir des images.

L'exploitation des images contribue à étendre le champ de l'enquête tant au niveau du périmètre considéré que de la fenêtre temporelle. Elle contribue aussi à générer de nouvelles hypothèses qui changent la compréhension de l'événement et influencent la direction de l'enquête. Dans les cas traités, les images, le son et les métadonnées enregistrés par plusieurs appareils ont permis d'améliorer la compréhension des actions, des réactions et des interactions des protagonistes, des témoins ou des intervenants. En associant des informations morcelées, disparates et des indices sur les positions de plusieurs objets ou personnes, des microséquences d'événements apparaissent avec leur place dans un enchaînement logique et cohérent. Cet enchaînement amène une vue d'ensemble des situations reconstruites. Cette dernière permet de confronter les indices, de vérifier la cohérence de la reconstruction et de structurer des moyens de preuves en fonction des hypothèses correspondantes aux différentes versions des faits qui sont alléguées.

Pour la *présentation* de la reconstruction du cas, des représentations appropriées de l'espace et du temps contribuent à une vue d'ensemble et complètent le rapport et les conclusions. Des recommandations sont proposées pour la création de telles représentations. Elles devraient présenter de manière synthétique et distincte l'environnement de la scène, les traces et les indices obtenus à partir des images. Schématiser les traces et les indices permet d'éviter une surcharge de détails susceptible de distraire le destinataire de l'information. D'autres recommandations concernent le choix du point de vue, la distinction d'observations qui se rapportent à des moments différents et les incertitudes associées aux mesures. Il est primordial de se cantonner à la représentation des traces et des indices obtenus à partir des images et de laisser aux parties le soin de présenter leur scénario.

Et enfin, des apports concrets au niveau de l'enquête ont été constatés dans les affaires traitées. La recherche d'images étendue à un champ spatio-temporel plus large que celui de l'événement a mené à la découverte de nouvelles images pertinentes. La chronologie de l'événement a été confirmée par d'autres moyens d'enquête : la recherche sur une fenêtre temporelle plus serrée a

permis de mettre en évidence des communications pertinentes et la chronologie des appels a confirmé celle fournie par les images. Les mesures d'un véhicule ont permis de trouver le type de véhicule suspect : la comparaison avec ce véhicule suspect a été concluante.

La reconstruction de la scène et de la chronologie a permis aux enquêteurs de mener des auditions en disposant d'une référence solide pour confronter les différentes versions des faits des protagonistes. Alliés au savoir-faire des enquêteurs, les indices des images contextualisent les traces et les témoignages pour produire des scénarios vraisemblables.

Dès le début de l'enquête, la reconstruction des activités à partir des images contribue à orienter la recherche de traces pertinentes en mettant en évidence des nouveaux points de contact entre l'auteur, la victime et la scène. Le traitement du signal fait apparaître des points de contacts qui ne se voient pas directement. La systématique descriptive relie les traces aux personnes ou objets reconnus. Les informations visuelles et auditives éclairent également le comportement des protagonistes, qui aide à comprendre leurs rôles ou leurs méthodes.

Au niveau des voies d'accès ou à proximité de la scène de crime, les caméras de surveillance amènent souvent des indices sur les activités de repérage et les activités liées aux voies d'entrée ou de fuite. Ces indices sont susceptibles de mettre en évidence des scènes secondaires ou des activités préparatoires en lien avec le crime. Lors de l'intervention sur la scène de crime, de tels indices peuvent amener au prélèvement de nouvelles traces et à l'enregistrement de nouvelles photographies qui complètent la documentation de la scène étendue.

Pour le futur, le principal défi est de poursuivre l'intégration dans le processus de reconstruction de données riches et variées. Ces données proviennent d'une part de la prolifération des témoins générées par les moyens d'enregistrement et de partage des images, d'autre part de nouvelles technologies de documentation comme l'imagerie multispectrale, les images produites par les drones et les scanners optiques ou laser. L'intégration de ces données soulève aussi la question de la création de représentations appropriées en vue de collaborer avec les parties prenantes de l'enquête et de présenter une reconstruction ouverte au tribunal.

En définitive, la méthodologie peut encore être affinée par de nouvelles expériences et échanges avec les pairs. L'auteur va continuer de développer une méthodologie vivante, partagée et reconnue par les pairs en espérant que les praticiens suisses et étrangers y trouveront une source d'inspiration pour résoudre des affaires criminelles.

Bibliographie

- ALLEN E., TRIANTAPHILLIDOU S. (2011), *The manual of photography*, 10th ed., Focal Press, Oxford.
- AUTEUR INCONNU (1900a), Politische Rundschau. *Liechtensteiner Volksblatt* (23. November).
- AUTEUR INCONNU (1900b), Attentat contre l'Empereur Guillaume. *Le Petit Parisien* 8786 (17 novembre), p. 1.
- AUTEUR INCONNU (1900c), Attentat contre l'Empereur Guillaume. *Le Petit Parisien* 8787 (18 novembre), p. 1.
- BARCLAY D. (2009), *Using forensic science in major crime inquiries*, Willan Publishing, Devon, UK.
- BARTHES R. (1961), Le message photographique. *Communications* (1), pp. 1-13.
- BARTHES R. (1964), Rhétorique de l'image. *Communications* (4), pp. 40-51.
- BERTILLON A. (1903), Description d'un nouvel appareil de photographie métrique appliquée aux constatations judiciaires. *Revue Suisse de Photographie* 9, pp. 193-196.
- BRANDI J., WILSON-WILDE L. (2013), Standard methods. in: *Encyclopedia of Forensic Sciences*, SIEGEL J.A., SAUKKO P.J., HOUCK M.M. (Eds.), Vol. 3, Academic Press, Waltham, pp. 522-527.
- BRYANT A., CHARMAZ K. (2007), *The SAGE handbook of grounded theory*, SAGE, Los Angeles.
- BULBUL H.I., YAVUZCAN H.G., OZEL M. (2013), Digital forensics: An analytical crime scene procedure model (ACSPM). *Forensic Science International* 233 (1-3), pp. 244-256.
- CHEN M., FRIDRICH J., GOLJAN M., LUKAS J. (2008), Determining image origin and integrity using sensor noise. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3 (1), pp. 74-90.
- CHISUM W.J., TURVEY B.E. (2011), Chapter 5 - Practice Standards for the Reconstruction of Crime. in: *Crime Reconstruction*, CHISUM W.J., TURVEY B.E. (Eds.), Second ed., Academic Press, San Diego, pp. 91-113.
- CLARKE A.E., FRIESE C. (2007), Grounded theorizing using situational analysis. in: *The SAGE handbook of grounded theory*, BRYANT A., CHARMAZ K. (Eds.), SAGE, Los Angeles, pp. 363-397.
- CRESWELL J.W. (2009), *Research design qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*, 3rd ed., SAGE, Los Angeles.

- DE SINGLY F. (2008), *L'enquête et ses méthodes : Le questionnaire*, 2ème ed., Armand Colin, Paris.
- DELAGE C. (2006), *La vérité par l'image : De Nuremberg au procès Milosevic*, Denoël, Paris.
- DESSIMOZ D., CHAMPOD C. (2015), A dedicated framework for weak biometrics in forensic science for investigation and intelligence purposes: The case of facial information. *Security Journal*, pp. 1-15.
- DEY I. (2007), Grounding categories. in: *The SAGE handbook of grounded theory*, BRYANT A., CHARMAZ K. (Eds.), SAGE, Los Angeles, pp. 167-190.
- EUROPEAN NETWORK OF FORENSIC SCIENCE INSTITUTES (2015), Project S-FIVE (Standardisation of Forensic Image and Video Enhancement), <https://s-five.eu/>, last access 29.11.2016.
- FARID H. (2009), Image forgery detection. *IEEE Signal Processing Magazine* 26 (2), pp. 16-25.
- FENIMORE C., CHANG W. (2012), Developing a forensic image examination quality rating metric, National Institute of Standards and Technology.
- GREER C., MCLAUGHLIN E. (2010), We predict a riot?: Public order policing, new media environments and the rise of the citizen journalist. *British Journal of Criminology* 50 (6), pp. 1041-1059.
- GREER C., MCLAUGHLIN E. (2012), "Trial by media": Riots, looting, gangs and mediatised police chiefs. in: *Policing, Politics, Culture and Control: Essays in Honour of Robert Reiner*, PEAY J., NEWBURN T. (Eds.), Hart, pp. 135-153.
- GRIGORAS C., SMITH J.M. (2013), Digital imaging: Enhancement and authentication. in: *Encyclopedia of Forensic Sciences*, SIEGEL J.A., SAUKKO P.J., HOUCK M.M. (Eds.), Vol. 2, Academic Press, Waltham, pp. 303-314.
- HAZARD D. (2014), *La pertinence en science forensique. Une (en)quête épistémologique et empirique*. Thèse de doctorat, Institut de Police Scientifique, Université de Lausanne.
- HOOGEBOOM B., ALBERINK I. (2010), Measurement uncertainty when estimating the velocity of an allegedly speeding vehicle from images. *Journal of Forensic Sciences* 55 (5), pp. 1347-1351.
- IRVINE J.M. (1997), National imagery interpretability rating scales (NIIRS): overview and methodology. in: FISHELL W.G. (Ed.), *Airborne Reconnaissance XXI*, SPIE, 3128, San Diego, CA, USA, pp. 93-103.
- KEARNEY M.H. (2007), From the sublime to the meticulous: The continuing evolution of grounded formal theory. in: *The SAGE handbook of grounded theory*, BRYANT A., CHARMAZ K. (Eds.), SAGE, Los Angeles, pp. 127-150.

- LACOUR W, MILLIET Q, SAPIN E, RIBAUX O, WEYERMANN C (2016), Forensic traces timeline: A comparison between physical and digital trace, Poster session, 3rd European Digital Forensic Research Workshop, Lausanne, Switzerland.
- LANZI L., CORREVON D., SAPIN E., DE PRIESTER J. (2006), Étude de cas: Évaluation de la vitesse d'un véhicule enregistré par une caméra de surveillance. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique* 59 (2), pp. 233-238.
- LENNARD C. (2013), Principles of quality assurance. in: Encyclopedia of Forensic Sciences, SIEGEL J.A., SAUKKO P.J., HOUCK M.M. (Eds.), Vol. 3, Academic Press, Waltham, pp. 509-514.
- LOCARD E. (1920), L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques, E. Flammarion, Paris.
- LUKAS J., FRIDRICH J., GOLJAN M. (2005), Determining digital image origin using sensor imperfections. in: SAID A., APOSTOLOPOULOS J.G. (Eds.), Image and Video Communications and Processing, SPIE, 5685, San Jose, CA, USA, pp. 249-260.
- MARGOT P. (2014), Traçologie: la trace, vecteur fondamental de la police scientifique. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique* 67 (1), pp. 72-97.
- MARQUIS R., BIEDERMANN A., CADOLA L., CHAMPOD C., GUEISSAZ L., MASSONNET G., MAZZELLA W.D., TARONI F., HICKS T. (2016), Discussion on how to implement a verbal scale in a forensic laboratory: Benefits, pitfalls and suggestions to avoid misunderstandings. *Science & Justice* 56 (5), pp. 364-370.
- MARTIN J.-C., DELÉMONT O., ESSEIVA P., JACQUAT A. (2010), Investigation de scène de crime : Fixation de l'état des lieux et traitement des traces d'objets, 3ème ed., Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- MAUTHNER N.S., DOUCET A. (2003), Reflexive Accounts and Accounts of Reflexivity in Qualitative Data Analysis. *Sociology* 37 (3), pp. 413-431.
- MILLIET Q., DELÉMONT O., MARGOT P. (2014), A forensic science perspective on the role of images in crime investigation and reconstruction. *Science & Justice* 54 (6), pp. 470-480.
- MILLIET Q., DELÉMONT O., SAPIN E., MARGOT P. (2015a), A methodology to event reconstruction from trace images. *Science & Justice* 55 (2), pp. 107-117.
- MILLIET Q., JENDLY M., DELÉMONT O. (2015b), An innovative and shared methodology for event reconstruction using images in forensic science. *Forensic Science International* 254, pp. 172-179.

- MILLIET Q., SAPIN E. (2015), Integration of trace images in 3D crime scene reconstruction. 2015 International Symposium on Sino Swiss Evidence Science, Haikou, Hainan Province, China, pp. 1-10.
- MILLIET Q., SAPIN E.G. (2016), Integration of trace images in three-dimensional crime scene reconstruction. *Journal of Forensic Science and Medicine* 1 (2), pp. 48-52.
- PAILLÉ P. (1994), L'analyse par théorisation ancrée. *Cahiers de recherche sociologique* (23), pp. 147-181.
- PEIRCE C.S. (1903), Harvard lectures on pragmatism (1903). Pragmatism as the logic of abduction (lecture VII). in: The essential Peirce, (1998) P.E.P. (Ed.), Vol. 2, Indiana University Press, Bloomington, pp. 226-241.
- RANKIN B.W.J., WELSH C. (2013), Accreditation. in: Encyclopedia of Forensic Sciences, SIEGEL J.A., SAUKKO P.J., HOUCK M.M. (Eds.), Vol. 3, Academic Press, Waltham, pp. 515-518.
- REISS R.A. (1903), La photographie judiciaire, Charles Mendel, Paris.
- REISS R.A. (1911), Manuel de police scientifique (technique). I. Vols et homicides, Payot, Alcan, Lausanne, Paris.
- RIBAUX O., BAYLON A., LOCK E., DELÉMONT O., ROUX C., ZINGG C., MARGOT P. (2010), Intelligence-led crime scene processing. Part II: Intelligence and crime scene examination. *Forensic Science International* 199 (1-3), pp. 63-71.
- ROBSON C. (2002), Real world research: A resource for social scientists and practitioner-researchers, 2nd ed., Blackwell, Oxford UK etc.
- ROSSY Q., IOSET S., DESSIMOZ D., RIBAUX O. (2013), Integrating forensic information in a crime intelligence database. *Forensic Science International* 230 (1-3), pp. 137-146.
- ROUILLE A. (2005), La photographie : Entre document et art contemporain, Gallimard, Paris.
- SCIENTIFIC WORKING GROUP ON IMAGING TECHNOLOGY (2009), Section 7: Best practices for forensic video analysis, Version 1.0, 2009.01.16, SWGIT guidelines for the forensic imaging practitioner, pp. 1-16.
- SCIENTIFIC WORKING GROUP ON IMAGING TECHNOLOGY (2010a), Section 9: General guidelines for photographing tire impressions, Version 1.2, 2010.01.15, SWGIT guidelines for the forensic imaging practitioner, pp. 1-3.
- SCIENTIFIC WORKING GROUP ON IMAGING TECHNOLOGY (2010b), Section 10: General guidelines for photographing footwear impressions, Version 1.2, 2010.01.15, SWGIT guidelines for the forensic imaging practitioner, pp. 1-3.

- SCIENTIFIC WORKING GROUP ON IMAGING TECHNOLOGY (2012a), Section 12: Best practices for forensic image analysis, Version 1.7, 2012.06.07, SWGIT guidelines for the forensic imaging practitioner, pp. 1-16.
- SCIENTIFIC WORKING GROUP ON IMAGING TECHNOLOGY (2012b), Section 23: Best practices for the analysis of digital video recorders , Version 1.0 2012.06.11, SWGIT guidelines for the forensic imaging practitioner, pp. 1-14.
- SCIENTIFIC WORKING GROUP ON IMAGING TECHNOLOGY (2013a), Section 14: Best practices for image authentication, Version 1.1, 2013.01.11, SWGIT guidelines for the forensic imaging practitioner, pp. 1-11.
- SCIENTIFIC WORKING GROUP ON IMAGING TECHNOLOGY (2013b), Section 16: Best practices for forensic photographic comparison, Version 1.1, 2013.01.11, SWGIT guidelines for the forensic imaging practitioner, pp. 1-9.
- SCIENTIFIC WORKING GROUPS ON DIGITAL EVIDENCE AND IMAGING TECHNOLOGY (2010), Guidelines & Recommendations for Training in Digital & Multimedia Evidence, Version 2.0 2010.01.15, SWGDE/SWGIT Guidelines & Recommendations, pp. 1-19.
- SCIENTIFIC WORKING GROUPS ON DIGITAL EVIDENCE AND IMAGING TECHNOLOGY (2015), SWGDE/SWGIT Digital & Multimedia Evidence Glossary, Version 2.8, 2015.05.27, SWGDE/SWGIT Guidelines & Recommendations, pp. 1-24.
- STRÜBLING J. (2007), Research as pragmatic problemsolving: The pragmatist roots of empirically-grounded theorizing. in: The SAGE handbook of grounded theory, BRYANT A., CHARMAZ K. (Eds.), SAGE, Los Angeles, pp. 580-601.
- TIMAN T., OUDSHOORN N. (2012), Mobile cameras as new technologies of surveillance? How citizens experience the use of mobile cameras in public nightscapes. *Surveillance and Society* 10 (2), pp. 167-181.
- TRUTH FOR RECONCILIATION COMMISSION OF THAILAND (2012a), Third interim report (july 2011 - march 2012), Bangkok, Thailand, pp. 1-25.
- TRUTH FOR RECONCILIATION COMMISSION OF THAILAND (2012b), Final report july 2010 – july 2012, Bangkok, Thailand, pp. 1-378.
- VAN HOUTEN W., GERADTS Z. (2009), Source video camera identification for multiply compressed videos originating from YouTube. *Digital Investigation* 6 (1-2), pp. 48-60.
- WEISS S.L. (2008), Forensic photography: The importance of accuracy, Prentice Hall, New Jersey.

WEYERMANN C., GUEISSAZ L., LEFEUVRE A., CURCHOD J., MILLIET Q., VOISARD R.
(2009), Reconstruire. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique* **62** (2), pp. 37-48.



UNIL | Université de Lausanne

Faculté de droit, des sciences criminelles et d'administration publique

Ecole des sciences criminelles

Développement d'une méthodologie d'exploitation des images témoins en science forensique

Thèse de doctorat - Annexes

Quentin Milliet



Contents lists available at ScienceDirect

Science and Justice

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scijus

A forensic science perspective on the role of images in crime investigation and reconstruction



Quentin Milliet*, Olivier Delémont, Pierre Margot

Institut de Police Scientifique, Ecole des Sciences Criminelles, University of Lausanne, Batochime, CH-1015 Lausanne, Switzerland

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 November 2013

Received in revised form 27 June 2014

Accepted 2 July 2014

Keywords:

Analysis
Traces
Clues
Photography
Documentation
Examination

ABSTRACT

This article presents a global vision of images in forensic science. The proliferation of perspectives on the use of images throughout criminal investigations and the increasing demand for research on this topic seem to demand a forensic science-based analysis. In this study, the definitions of and concepts related to material traces are revisited and applied to images, and a structured approach is used to persuade the scientific community to extend and improve the use of images as traces in criminal investigations. Current research efforts focus on technical issues and evidence assessment. This article provides a sound foundation for rationalising and explaining the processes involved in the production of clues from trace images. For example, the mechanisms through which these visual traces become clues of presence or action are described. An extensive literature review of forensic image analysis emphasises the existing guidelines and knowledge available for answering investigative questions (who, what, where, when and how). However, complementary developments are still necessary to demystify many aspects of image analysis in forensic science, including how to review and select images or use them to reconstruct an event or assist intelligence efforts. The hypothetico-deductive reasoning pathway used to discover unknown elements of an event or crime can also help scientists understand the underlying processes involved in their decision making. An analysis of a single image in an investigative or probative context is used to demonstrate the highly informative potential of images as traces and/or clues. Research efforts should be directed toward formalising the extraction and combination of clues from images. An appropriate methodology is key to expanding the use of images in forensic science.

© 2014 Forensic Science Society. Published by Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

1. From document to trace: the image in forensic science

The purpose of this paper is to persuade the scientific community of the need to extend and improve the use of images as traces in criminal investigations. First, the literature on the current use of images in forensic science is reviewed. Then, the existing definitions and concepts are used to explore and rationalise the process employed to extract clues from trace images. Finally, a structured approach is proposed that can help scientists understand the underlying processes involved in their decision making and that demonstrates the highly informative potential of images as traces and/or clues.

Since the end of the 19th century, analogue photography has been widely used to document crime scenes. Photographs were considered an impartial way to record information and create a “memory” of the

scene at a given moment that could be referred to throughout an investigation [1]. Photographic images are used to *document* persons (suspects, arrested persons, deceased persons, etc.), objects on several scales (clothes, weapons, tools, written documents, fibres, etc.) and marks (wounds, blood traces, finger-marks, footmarks, tool marks, etc.) [2].

Photographs have historically served many purposes. Standardised profile and full-face identity photographs were used in Bertillon's anthropometric system to identify criminals [3]. The reproducible and controlled acquisition process allowed images to be recorded and described systematically. Bertillon's physiognomic taxonomy was based on photographs. Although photographs were already in use at the time, Bertillon's system innovatively allowed the identity of an arrested person to be retrieved if they had already been photographed. Several examples in Fig. 1 illustrate the physiognomic resemblances between different persons [4].

This example illustrates the need for a well-defined reference system when photographs are being created and used for a specific purpose, i.e., to recognise human faces; photographs must be described and recorded systematically to obtain standardised images. Although

* Corresponding author at: Institut de Police Scientifique, Ecole des Sciences Criminelles, University of Lausanne, Batochime, CH-1015 Lausanne-Dorigny, Switzerland. Tel.: +41 21 692 46 26; fax: +41 21 692 46 05.

E-mail address: quentin.milliet@unil.ch (Q. Milliet).



Fig. 1. Illustrations from Bertillon's anthropometric course (1895) showing the physiognomic resemblances between different persons (full-face and profile photographs) ©Institut de Police Scientifique (IPS), University of Lausanne.

process may be fairly transparent and controlled, the main source of ambiguity is the human face itself and how its features may differ between persons (Fig. 1) or for the same person over time. A study conducted on a database of profile and full-face photographs commented on the relative homogeneity of facial proportions and described the necessity of using as many features as possible to correctly discriminate between individuals [5].

Crime scene or object photographs are generally taken to *record* or *document*, but their final purpose is often to illustrate. The documentation and illustration processes are different. Illustrations support description. As one of the methods used to document a crime scene, images illustrate the overall configuration of the scene, the procedure followed, the observations made and the traces discovered [6]. Photographs are presented with captions in a logical and coherent manner to create a symbolic representation of the scene and the investigation's findings. Sometimes sketches of various types [7] or 3D reconstructions [8] may complete the representation. Illustrations are carefully selected to present the observations and findings from a case. Images are then oriented to communicate information to different actors and decision-makers in the law enforcement and judicial system.

Forensic scientists also use images to analyse and compare. The characteristics of handwriting, finger-marks or other types of traces and objects are often more conveniently observed, described and compared using images [9]. Magnification or enhancement can facilitate the analysis and comparison of details; a thorough examination or verification of the results by another party can be performed at any time when photographic documentation is available.

This review suggests that documentary images fulfil a variety of purposes. Whatever the purpose, the documentation process is key to creating appropriate images with explicit meanings. Once its subject is defined, the image must be framed and illuminated. Photographers rely on optical and technical knowledge to choose the appropriate lighting, lens, exposure and focus [10]. Specific challenges arise when documenting particular subjects, such as fire scenes or latent marks [11]. Whether analogy (accurate reproduction) or enhancement (contrast) is the objective, proper forensic science documentation implies controlling the acquisition process to achieve an accurate and reliable representation of the subject. The sole action of photographing a subject does not in itself assure an accurate representation. As Reiss emphasised in 1903 [1], the choice of viewpoint has a strong influence on object recognition. Unusual perspectives can render a photographed object almost unrecognisable. Barthes [12] explains that common sense leads one to perceive photographs as perfect reproductions of reality. Photography involves information reduction (perspective projection of 3D space, optics, camera acquisition process, etc.) and human intervention (point of view, framing of the subject, lighting, effects, etc.). Thus, photography records only part of the real world through a limited perspective, transforming reality into a new photographic reality through optical, technical, aesthetic and ideological codes [13]. To control the reduction of information inherent in the photographic process, standardised codes are promulgated in professional communities. The documents produced by the Scientific Working Group on Imaging Technology (SWGIT) provide examples of such codes. These documents outline general guidelines for the photographic documentation of various types of traces, such as tyre or footwear impressions [14, 15]. They also describe the equipment and step-by-step procedures required to capture traces properly. They emphasise the guidelines, procedures and work flows that guarantee the proper recording of images with due consideration to the rules of admissibility. Such procedures ensure control over the acquisition process, which provides a known relationship between the images and reality. For example, a scale can be used to gauge image magnification, or metric cameras can be used to control the projection of a 3D world on a 2D image plane when measuring and drawing plans from "overall" photographs [16].

Technology has evolved quickly in the digital era, and many new tools are now available for forensic documentation, including videography of the crime scene [17,18], photogrammetry [19–25], and 3D laser scanning [8,26–28]. Taking photogrammetry as an example, Fraser [29] explains how technology is transferred to non-specialist users. After costs are reduced and operation is simplified, new techniques can be used for documentation purposes by following simple codes, such as the 3 × 3 rules for photogrammetry [30]. New tools offer new possibilities, and research efforts emphasise their application for particular purposes. Many forensic science applications are described in the literature, and their proper implementation relies primarily on the operator's technical skills and experience. However, if the appropriate rules are not followed and the subject is not known beforehand, such images may not be immediately interpretable.

When not used as a means to *document*, images may become visual traces or remnants of past events. The distinction between documentary images and images as traces is the result of different processes and end goals:

- The creation of an image to *document* a subject
- The examination of an image to retrieve information about the subject.



Fig. 2. Photograph of the German Emperor's procession showing the offender attacking with a hatchet ©IPS, University of Lausanne.

In the latter case, the creation of trace images is more or less uncontrolled because the conditions surrounding the recording may be unknown and may result in an ambiguous relationship between the images and the reality they represent. Such images may thus be problematic because their meaning is not straightforwardly presented to the observer.

It is important for an observer to understand how visual traces are created. The well-known Locard's exchange principle describes how material traces can be transferred to or from the perpetrator of a crime [9]. The intensity of a crime can lead to contact in which matter or traits are transferred [31]. Transfer to or from an item relevant to the crime presumably involves material as it is typically defined, but various forms of this principle have been mentioned in the literature [32]. Several writers propose natural general rules, such as "every contact leaves a trace". Transfer has even been extended by Klasen [33] to include non-physical and remote contact, such as photons emitted from the crime scene. The transfer of photons from the subject to the recording media occurs when the light illuminating an object reaches the camera to form an image. Different visual traces of reality (environment, subject, etc.) are generated under different conditions (lighting, viewpoint, colour balance, camera and settings). The sometimes remote physical connection between the image and reality requires knowledge of optics, imaging systems and the interactions between light and matter to understand the meaning of visual traces [34].

Images as traces become the objects of forensic examinations when investigators need to retrieve information about reality. Knowledge of the laws of physics is critical in understanding the signification of ambiguous images. Reconstructing reality from images is a speculative, inferential process through which the possible causes of the visual trace are determined (presence of persons, objects, time, actions, etc.).

This process is inherently uncertain, and the reduction of this uncertainty is time-consuming, sometimes impossible and frequently inappropriate. For example, an image of the perpetrator of a crime may either be used to make rapid decisions in an operational context (e.g., to communicate a rough description to facilitate arrest) or may be more thoroughly examined to undertake a comparison of seized clothes (possible source objects) with the perpetrator's clothes in the image (trace). In the latter case, the camera, the perspective, the scene configuration, the illumination, and other factors are considered. The next section discusses the growing potential of analysing images as traces; it reviews the fundamental concepts related to material traces and applies them to images.

2. Images as traces

In 1903, Reiss [1] mentioned the use of an image as a physical remnant of a past action; a photograph of the German Emperor's procession had coincidentally captured an image of the offender who attacked Kaiser Wilhelm II with a hatchet in Breslau on November 16, 1900. The photograph is a physical remnant of the event and provides valuable information about the attack and the offender (Fig. 2). Photographs of the attack on the World Trade Center in New York on September 11, 2001 provide a similar type of record.

This visual trace became a clue to the perpetrator's appearance, position and pose while holding the weapon. This example is anecdotal but illustrates the potential of images as traces; a photograph or video can testify of the existence of the subject, including its location. The information available in an image can generate propositions about the action, a process that requires formalisation. The informative potential of this image is further analysed in the final section.

The widespread use of digital imaging devices for surveillance (CCTV) and entertainment (mobile phones,¹ compact cameras, etc.) has increased the number of images being recorded and has multiplied the opportunities to analyse them for traces of criminal activities. This paper emphasises the need to formalise the use of visual traces for investigative purposes. In this section, the definition of a material trace is reviewed and applied to images. Margot [35] defines a *material trace* from a forensic perspective: “*Mark, signal or object, the trace is an apparent sign (sometimes invisible to the naked eye). It is the vestige of a presence and/or an action, located where these occurred.*”² He also describes the key features of a trace:

- **Materiality**
Traces may exist without specific meaning. They have physical, chemical and biological characteristics that can be measured and compared. Physical traces are the traces most likely to be found in images (visible characteristics).
- **History**
Images have a present, material reality as photographs, but they also have a relationship with the past. The photograph is a silent and immediate witness of the existence of the subject as it was and where it was when the image was captured [36].
- **Incompleteness or imperfection**
The inherent characteristics of traces limit the information that can be extracted from them. New data may cause the fragmentary information extracted from traces to be revised.
- **Unusual occurrence (effect of a particular activity at a specific place and time)**
Traces related to an activity under investigation must be distinguished from *regular* traces or the contaminations found in a given environment whose presence is legitimate or unrelated to the activity.
- **Indicative of its source (object or person) and the action that produced it (explanatory proposition)**
Material traces related to criminal activity become *clues* once they are transformed into meaningful information about a presence or an action. The clues contained in images are apparent signs, visual signatures of the criminal and/or his action.

Clues are used during the early phases of an investigation, as described by Kind [37] and Brodeur [38] and reiterated by Barclay [39] (p. 344): “*The investigative phase is characterised by neutrality, crime reconstruction, gradual resolving of uncertainty, gathering of intelligence, provision of critical fact, and substantial policing activity across many lines of enquiry. The subsequent evidential phase is more focused on an individual suspect and has the obvious purpose of meeting the requirements of the criminal justice system*”.

The evidential value of clues is often assessed using a hierarchy of explanatory propositions about the source (clues about a person’s or object’s presence), activity (clues about an action or sequence of events) or crime [40]. *Source* determination refers to the process of narrowing down the persons or objects from which the visual clue may have come. In this process, the measured characteristics of material traces are used for [31]:

- **Identification, i.e., to characterise the physical, biological and chemical nature of traces without a known source that can be used for comparison**
- **Classification, i.e., to infer multiple potential sources that have the same class characteristics as the visual trace of the person or object**

¹ More than 4.4 billion camera phones (of more than 5 billion devices) were expected to be in use by the end of 2012. <http://www.statista.com/topics/840/smartphones/chart/653/prevalence-of-selected-features-in-the-global-installed-base-of-mobile-phones/>.

² Free translation from the French: “*Marque, signal ou objet, la trace est un signe apparent (pas toujours visible à l’œil nu). Elle est le vestige d’une présence et/ou d’une action à l’endroit de cette dernière*”.

- **Individualisation, i.e., to narrow the possibilities down to a single common source (hypothesis: this object or person is visible in the image)**

In Fig. 2, clues about the perpetrator’s appearance (face, clothes) provide information about the trace’s source. Among the possible sources, i.e., a group of suspects, if only one has the same features as those observed in the trace, the visual clue may lead to individualisation. The population of potential sources and the frequency of the characteristics determine the value of the information, which is usually weighed against competing propositions from other parties in a Bayesian framework [41], as any other type of evidence would be.

When assessing the value of a clue related to a certain *activity*, the position of the trace, its quantity, shape or presence by chance in the environment must be considered [42]. In the photograph of the woman attacking the German Emperor (Fig. 2), it is necessary to determine the angle from which the photograph was taken to obtain clues about the action, i.e., the offender’s position and pose, the way the weapon was handled and the victim’s position. Clues about an activity may include a combination of spatial and temporal dimensions whose significance is determined in the context of the case. Before a more detailed analysis of this photograph is provided in the final section, the types of traces that can be obtained from images are discussed.

In the next sections, the literature related to the forensic science analysis of images is reviewed in the context of the fundamental forensic science questions about reality (who, what, where, when and how).

3. Review of the analysis of images as traces in forensic science

The first step in an investigation is to find material related to the case under scrutiny. Images must be detected if they are to be analysed. If the acquisition system (storage media, camera, lens, meta-data, etc.) is available, the serial numbers of the components and the system settings (date & time, filenames, format, etc.) are examined. Digital images must be retrieved from their storage media. Analogue systems, however, may require physical restoration, and compatible scanning or playback devices may be needed to extract digital files. Closed circuit television (CCTV) systems or computers may require digital technology expertise to copy or repair files properly. Video recordings are often combined with audio, a separate object of forensic analyses. Bijhold et al. [28] discuss the forensic analysis of audio and other technical issues related to video files (formats, codecs, etc.) that are not addressed in this paper.

The SWGIT documents describe best practices for forensic video and image analysis [43,44] and include the following technical disciplines: *photogrammetry*, photographic comparison (assessment of the correspondence between image features and the features of known objects³), *content analysis* (making inferences about subjects/objects, conditions, acquisition processes, physical aspects of the scene, etc.) and image authentication. The protocol identifies three primary tasks:

- **Technical preparation for the subsequent tasks may include instrument calibration, playback optimisation, colour balance, *visual inspection*, and *file organisation*.**
- **Examination is the application of image science expertise to *extract information from images* (e.g., demultiplexing, decoding/encoding, duplication, capture, *reconstruction*, format conversion, *timeline sequence reconstruction*, enhancement, video stabilisation). In image analysis, the image features are characterised and the image’s structure is interpreted (e.g., watermark detection, extraction of the Photo Response Non-Uniformity signature, image alteration evaluation, and the *development of case-specific image exploration strategies*).**
- **Interpretation is the application of expertise to draw conclusions about video recordings (authenticity), the *content of those recordings***

³ The Analysis, Comparison, Evaluation & Verification procedure is recommended (ACE-V).

(comparison with objects such as garments or vehicles) or the *subject depicted in the images* (e.g., the source of the objects).

The best practices are “agency oriented” and include recommendations for evidence management, quality control and assurance, security, infrastructure, work management, documentation, training, competency, and proficiency. Workflows describe recommended sequences of operations and provide an overview of possible examination and interpretation tasks from an expert perspective. The *bold topics* mentioned above are superficially developed. Further development would explicitly describe the steps forensic practitioners should take (how to review the material, triage imagery, design an image exploration strategy, reconstruct an event or timeline or answer investigative questions). It is worth exploring these topics further to complement such guidelines.

A structured approach to extracting information during crime investigation and crime reconstruction has yet to be developed. A methodology is needed to support investigators' work. This review of the forensic science literature is “trace oriented” and explores how traces become clues or parts of the answers to questions asked during criminal investigations. These questions are related to unknown elements of reality. Images may offer information about these elements. Analysis may focus on one or both of the following aspects to extract information:

- *Technical aspect* encompasses primarily *digital traces* and provides information about the characteristics of an image. These aspects include the acquisition system (camera, lens, etc.), time and date, location (GPS coordinates), image format, dimensions, orientation, photographic settings and storage media (analogic, digital).
- *Image content* depicts the subject through light collected at the viewpoint. This light interacts with physical (and sometimes chemical) characteristics of matter to leave *visual marks* of reality that can provide information about an event or action and its environment.

Informative traces become clues that offer answers to the different types of questions that arise in criminal cases. Discussions of informative images in the forensic literature, such as the recurrently disputed questions of image authenticity and integrity, primarily address images' technical aspects.

- What is the image's source? (Authenticity)
This technical aspect may explore digital clues about the source of an image, i.e., the camera used. If available, the optical system (camera and lens) can be studied to determine the origin of an image by measuring sensor imperfections or random noise patterns [45–47]. Image authenticity is difficult to establish because it involves both determining the source (camera) and ensuring the integrity of the image content. The SWGIT protocol discusses degradation, editing, information loss and feature-based modifications as factors affecting image authentication [43]. The best practices for authentication have been described elsewhere [48].
- Has an image been tampered with? (Integrity)
This question concerns the integrity of the image content. Integrity cannot be directly proven unless authenticity has been established. However, discrepancies in the scale, illumination or shading of a subject may indicate that the image has been manipulated. Several image processing techniques can be used to detect forgeries or modifications of image content [49]. Even if modifications are not detected, the skillful manipulation or staging of a subject cannot be excluded [11]. The purpose of the modification and the skills and technologies required must be considered when assessing the likelihood of alleged manipulation.

Issues not related to the image as an information medium but to its content are also considered by the forensic community, primarily to evaluate whether the content has the potential to produce evidence, as indicated by questions of source (who & what) and activity (when,

where & how). The literature addresses these questions, whose answers are unknown elements of reality.

3.1. Source, persons – who?

Visual clues can provide information about the persons appearing in the image. Such clues may have a variety of uses. In the early stages of an investigation, rough descriptions may help investigators locate protagonists, apprehend suspects or recognise them at checkpoints. A rapid response is needed, and straightforward, observable characteristics are therefore used. During the investigation phase, visual clues may help exclude suspects, limiting potential sources and reducing lines of inquiry to a limited number of persons. Visual clues from the image content are analysed to describe the perpetrator's anthropometric features (unknown identity), i.e., to identify a population of persons sharing these features (physical appearance, colour of hair, skin, etc.). The extracted information, even when fragmentary and uncertain, can help investigators find leads or eliminate suspects.

Answering “Who?” formally involves reducing the population of potential suspects by using visual clues for description, classification or individualisation. Visual clues become evidence during the judicial process. Quantifying uncertainty becomes critical at this stage. Visual clues are compared to the anthropometric features of suspected persons (known identities). The comparison process is followed by an assessment of the evidential value of the clues to achieve classification or individualisation, i.e., proof of presence.

The literature about facial features is the most abundant. The main challenges of the comparison process are described by Vanezis and Brierley [50], who distinguish general facial characteristics from more individual features, such as scars, moles or ears and discuss the importance of image orientation (viewpoint), quality and sharpness, head movements and facial expressions. In the UK, metric techniques (photogrammetry), facial morphology analysis and image superimposition are used to perform facial image comparisons [51]. Vanezis and Brierley studied the effects of image orientation (angle), distance from the camera, image resolution and illumination conditions. They concluded that all of these factors have a strong effect on the analysis of facial features and therefore the possible outcomes of a comparison. Their findings indicate the importance of retrieving information not only about the creators but also about the conditions under which an image was created. No consensus has been reached about the value of facial features in individualisation; although they have been successfully used in casework [52], several studies have failed to find highly discriminating and reliable features, even for experiments with small data sets [5,53]. To overcome the effects of variations in head orientation and facial expression, the 2D image approach has shifted to 3D facial shape recognition techniques [54,55]. Although a Japanese system for computer-assisted facial individualisation [56] has proven successful, the results of a pilot study in which 3D models of faces were aligned with questioned images for comparison were not encouraging because the features varied according to pose and facial expression [57]. Several authors have assessed the individualising value of facial features. Ritz-Timme et al. [58], for example, published a literature review and study on the frequency of various facial features in several populations.

Photogrammetric measurement techniques and the use of other anthropometric features, such as height and body parts [59–63] or gait [64–66], for comparison purposes have been described extensively in the literature. Larsen et al. [67] studied factors such as clothing and posture, which influence the reproducibility of body measurements in images. These authors also examined how the length of several body segments varied in Danish individuals of the same height and reported the most discriminating features. Hoogeboom et al. [68] presented a thorough study of the sources of errors made when measuring a person's height from images. Tests were conducted on persons of known heights to assess the influence of camera quality, point of view (front, side, back), operator and subject height on the precision and

accuracy of measurements. Precision was found to depend on the camera and accuracy on the viewpoint. Operators also have a strong influence on image measurements. The authors recommend performing validation measurements on test persons under the same conditions used to create the original image, which includes using the same camera at the same location and orientation and positioning test persons in the same stance as the perpetrator. Validation experiments are conducted to gain control over unknown conditions and meet the standards of proof. Image integrity must also be guaranteed by properly sealing packaging and tracking the operations performed. This ensures that the legal criteria for the admissibility of images as evidence are respected [69]. Authentication is established if an image's origin, chain of custody and operations (input, processing, output) are known.

The studies reviewed focus primarily on measurement techniques and their associated errors. In addition to these technical issues, the core debate centres on whether a set of features can be used to individualise and provide evidence of presence through visual clues. However, the critical factor limiting the individualisation potential of the features examined seems to be the quality of the visual clues themselves. When the standards of proof cannot be met, traces still have informative potential. This potential is obscured in evidence-centred debates, neglecting a broader view of traces as vectors of imperfect information.

3.2. Source, objects – what?

The difference between this question and the previous question is that visual clues are used for the description, classification or individualisation of objects instead of persons. For investigative purposes, visual clues may be used to describe objects. A description may also be used to recognise objects. Visual description is an efficient way of communicating the distinctive features of an object. Illustrations bypass verbal descriptions, which require codified observations. Visual clues may also prevent potential objects from being noticed, limiting potential sources. In the literature, the detection of objects using images has been widely explored by computer science engineers, who have focused on the automatic recognition of objects, such as weapons [70, 71]. Most computer vision applications are designed to detect and recognise specific target objects in well-defined and known conditions [72]. They use distinctive features of objects to examine the content of images. These distinctive features are compared automatically to find candidate objects, which may match the reference objects within a defined tolerance that includes variations in scale, orientation, lighting and colour. Such variations may occur even if the same object appears in both images. No universal solution has been found to replace human vision. The unpredictable and singular nature of events or crimes under investigation complicates efforts to define appropriate operating conditions. Such approaches may inspire more structured investigative uses of visual clues.

Few studies have addressed the extraction of visual clues from objects. One review of studies conducted by fibre examiners discussed several studies that compared visual clues from an offender's clothing with clothing seized from suspect(s) [73]. The studies focused on the degree of correspondence between visual clues and suspected clothing and on assessing the frequency of the features examined. Design, colour, construction, textile pattern, individual fibres and characteristics, such as labels, repairs, defects, buttons, folds, creases and accessories, were considered valuable individualising features. This example demonstrates that knowledge about the characteristics of specific types of objects is required if their source is to be correctly deduced from visual clues. In the case of tools, for example, class and sub-class characteristics⁴ created through manufacturing processes must be

distinguished from individual characteristics, which are acquired randomly through use and thus vary across the lifetime of an object [74]. The most valuable characteristics used in the individualisation of objects are often macroscopic and microscopic. Magnification is required to distinguish such characteristics, and the scale of the objects represented in images analysed as traces is often not sufficient to distinguish microscopic individualising characteristics. This fact is symptomatic of the emphasis on providing evidence for courts of law and explains the forensic community's lack of interest in visual clues derived from objects that cannot eventually lead to individualisation.

Though not emphasised in the literature, the macroscopic observation of imperfect and incomplete visual traces offers unexplored potential for the identification and classification of objects through visual clues.

3.3. Activity, space – where?

Digital traces (GPS coordinates or time zone) and visual traces derived from image content offer potential clues about the location at which an image was taken. Spatial clues may help practitioners recognise a particular location (buildings, shops, road signs, etc.). Relative scales and the illumination of objects or persons offer qualitative clues about the subjects' position. When the time is known, solar shadows facilitate the calculation of subjects' geographic position under certain circumstances [75]. If the location of the subject is roughly known, the point of view can be determined using the information available about the scene. Photogrammetric techniques can be applied to compute an image's viewpoint from measurements, known objects or shapes (geometric constraints) [76]. A survey of the scene can be performed via laser scanning or photogrammetry to gather accurate spatial data (documentation). Remondino et al. [77] compared both techniques and issued recommendations for choosing the most appropriate technique. Techniques using a single image are also proposed for measuring the position and dimensions of objects or material traces [78–80].

3.4. Activity, time – when?

The issue of “when” encompasses dating images, examining the timing of videos or reconstructing the chronology of events [81]. Digital files often include metadata [82] that may offer clues about the date and time an image was taken or about the time intervals between images taken by the same recording system. The date and time at which a photograph was taken may prove important in criminal cases. Levi et al. [83] describe the following techniques for dating images based on their content. This information may corroborate or exclude alleged times:

- Measure the shadows or sunlight to estimate solar direction (most accurate)
- Recognise vegetation to determine the season
- Correlate clues about the weather using meteorological data

The visibility of these elements is a prerequisite for using these techniques; the first technique requires investigators to travel to the scene to perform measurements. Any visual trace that evolves noticeably over time may become a clue (e.g., newspapers, buildings under construction and shops). Important information can also be collected from the timing of videos. For example, the time between frames may be irregular, and cameras can be calibrated to International Atomic Time (IAT) or Coordinated Universal Time (UTC).

3.5. Activity, actions – how?

Answering this question frequently requires answering the previous questions and involves using visual traces of a known person or object (who or what) to find clues about an action or event (activity). Several

⁴ The AFTE Glossary defines Subclass Characteristics as “discernible surface features of an object, which are more restrictive than Class Characteristics in that they are produced incidentally to manufacture, are significant in that they relate to a smaller group source (a subset of the class to which they belong) and can arise from a source which changes over time”.

authors [84,85] have described how to estimate the speed of vehicles using surveillance footage from CCTV cameras. Reference times from the footage were used to measure time intervals during an accident (calibration, when). After the accident, a photogrammetric survey documented and reconstructed the spatial environment of the scene. Even if the scene had changed, the video revealed fixed elements in the environment (road marks, concrete blocks, etc.) that allowed forensic practitioners to calculate the viewpoint of the camera (where). Finally, visual clues from the sequence of images were examined to determine the successive positions of the vehicles involved in the accident (what & where). Uncertainties about space and time were combined to calculate the mean speed and the latitude created by uncertainty. Sources of error were discussed because the speed evaluation was used in court. Validation experiments using the original CCTV system and a car driving by at known speeds were performed to quantify the error or measurement uncertainty of the speed calculation [84]. Statistical analyses were used to combine uncertainties about distances and times between images. These examples illustrate how temporal and spatial clues from several images (video) can be combined to determine the speed of a vehicle. The potential of images to provide clues about activities has therefore been explored to answer a specific question, i.e., to determine the speed of a vehicle. This ad-hoc methodology is promising and reveals the broad potential of using visual traces to reconstruct events. Similarly, sequences of action can provide clues about the course taken by perpetrators. Edelman and Bijhold studied the tracking of persons' and vehicles' movements using image sequences from multiple cameras [86].

Most of the publications reviewed in this section focus on technical issues, comparing different measurement techniques or studying error rates. This logical approach produces confidence in the precision and accuracy of the information images can contribute in court. However, the literature overlooks the valuable contributions that images can make by providing investigative or intelligence clues that facilitate the decision-making process⁵ [87]. While these contributions are widely exploited for security purposes, e.g., in police inquiries, they remain largely unexploited by the scientific community.

The problematic factor, as Margot has indicated, is always the quality of the trace [35]. Traces are imperfect and incomplete by definition but nevertheless have informative potential. This inherent potential is usually tapped only for the purposes of individualisation, but it can have a much broader informative potential. Images' usefulness in classification, the combination of various visual clues, the elimination by iterative reduction of a suspect population and the reconstruction of activities are under-researched. It is within this broader perspective that a framework for the analysis of images as traces in forensic science is explored to introduce the perspectives and challenges of using images as clues in investigation and event reconstruction and in intelligence activities [39]. The image analysis in the next section demonstrates the vast amount of information images can convey.

4. Trace images in investigation and crime reconstruction

Images are often direct witnesses of crimes or events. Moreover, they are generally more explicit and less fragile than other material traces. Indeed, traces that are not documented and collected on the crime scene can be irretrievably lost [6]. Deterioration can be rapid and can lead to loss of information, especially when a scene cannot be protected or is not discovered in a timely manner. Chisum [88] uses the term “evidence dynamics” to describe the natural or provoked degradation, disappearance and replacement (contamination) of material traces; this concept was first formalised by Kind [89]. Like Kind's observer who watches as a situation develops, images allow investigators to select relevant information from the “mass of obscuring detail and

pre-existing patterns”. Visual traces of criminal behaviour may also facilitate the recognition and collection of relevant material traces. When a scene is extensively disturbed by continuous and intense activity, most of the relevant material traces may be destroyed, leaving images to provide the only evidence available to reconstruct how such scenes have transformed over time.

As discussed previously, space and time are central to reconstructing a sequence of events. When reconstructing an activity, the spatial relationships of traces and their context are more important than the traces themselves in generating and evaluating propositions about the actions that may have produced them. Images have immense potential for reconstruction because they provide both spatial and temporal clues.

The use of images in criminal investigations is accompanied by challenges. The search for, detection of and recognition of visual features as signs of criminal activity and the extraction of clues that provide valuable information about sources and activities are difficult tasks no matter the material trace involved [35]. The constitutive elements of a case must be distinguished from the environment and from persons or objects whose presence is legitimate. This distinction depends on the context (circumstances, background information and environment). The constitutive elements of an event include:

- Conditions (lighting, viewpoint, camera and settings)
- Persons and objects (source)
- Space, time and actions (activity)

Distinguishing relevant traces from regular or legitimate ones is difficult [90]. Analysing images as traces is not a straightforward task and needs to be developed further by forensic scientists. Indeed, it is crucial, especially during the investigative phase when relevant material may still be discovered. Investigation progresses through an iterative hypothetico-deductive reasoning process:

1. A speculative abduction phase generates propositions about the possible causes of visual clues, i.e., constitutive elements of an event (crime).
2. A deductive phase evaluates these propositions to determine whether other clues confirm or contradict them.

Fig. 3 schematically describes the reconstruction of an event from images. Visual clues from an image are used to generate propositions about an event (abduction). Then, these propositions may or may not be corroborated by clues that are reasonably expected (deduction). These clues may be extracted from other images, material traces, or other pieces of information. The reconstruction process is iterative, shifting between the production and evaluation of propositions.

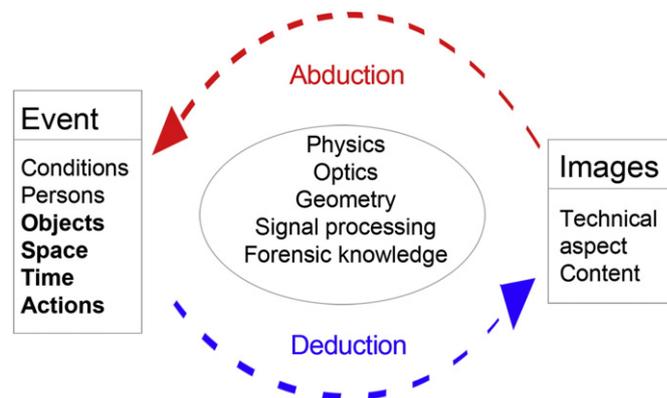


Fig. 3. The process of reconstructing an event from images as traces: clues about persons, objects, space, time or actions are obtained through an iterative reasoning pathway; abduction of hypothetical constitutive elements is followed by deduction to evaluate whether these elements are corroborated by other clues or if the propositions need to be refined or revised. Bolded elements are of prime interest because they are the most neglected in the forensic literature. Forensic knowledge includes generalist and specialist knowledge that can be used to interpret clues.

⁵ Aeppli et al. (2011) recently published a detailed exploration of the contribution of forensic science to decision-making in police organisations.

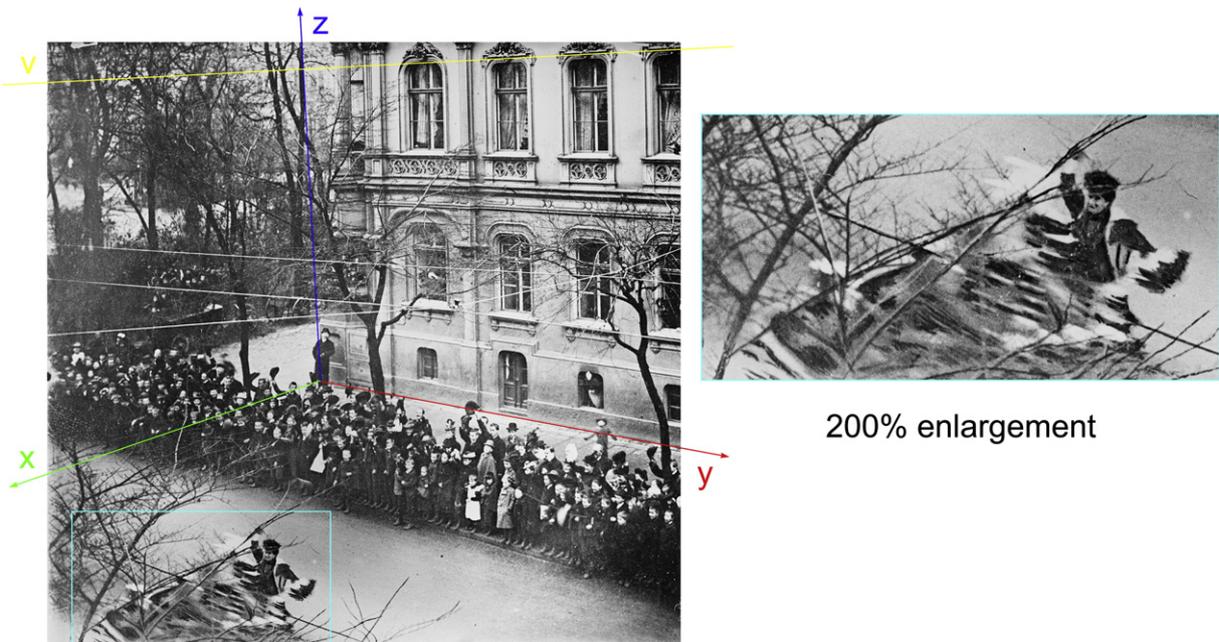


Fig. 4. Photograph of the German Emperor's procession with annotated main axis (x, y, z), vanishing line v and enlarged action of interest.

Table 1

Description of the first and second meanings of the traces from Fig. 4; in the second column, the constitutive elements are indicated in (parentheses).

Technical aspect / content	1 st meaning	→	2 nd meaning
Frame	Large; overview of the spectators of the Emperor's procession; a tree branch, the carriage and the road are only partly inside the frame		Approximate width of the road from the tree branch visible in the bottom left-hand corner (space)
Format	6.70 (cut) × 6.40 cm		Acquisition system and film (conditions)
Viewpoint	Vanishing points facilitate the construction of the vanishing line using the rules of projection; high-angle shot with an oblique perspective; top surfaces visible (window ledges)		Overview; height of the viewpoint; flattening of the subject and reduction of the dimensions (conditions, space)
Lens	"Normal" focal length close to human vision; real proportions with no noticeable distortions; deep depth of field; sharpness on the scene of interest; background slightly blurred		Settings (conditions); spatial details (space); descriptive precision (persons, objects)
Composition	Foreground: assailant and carriage are close but partially occluded by branches; spectators in the middle-ground; landscape in the background		Limited accuracy in positioning the assailant (space)
Shapes	Well defined shapes; delimited objects and silhouettes; faces and gazes of the spectators Lines of the pavement, the road, the building and the window Blurred lines		Number of spectators, direct witnesses (persons) Regular shapes; parallel lines; vanishing points and line (space, conditions) Directional movement of the carriage; dynamic information about speed (actions)
Dimensions	Relative sizes of the silhouettes and objects		Relative measurements possible; proportions (objects, persons)
Colours	Shades of grey (inverted negative)		No information about the colours (objects, persons)
Lighting	Slight underexposure of dark shades Slight haloes of light Diffuse light, soft shadows		Fine details are difficult to distinguish in dark areas (objects, persons) Possible physical alteration of the photograph (conditions) White-out, mist weather, limited spatial benchmarks (time, space)
Texture	Fine film grain; superposition of two silver photography grains from the negative of a positive		Photographic reproduction of a positive negative → positive → negative ^a (conditions)

^aInformation provided by the author of the reproduction (Reiss).

Table 2
Description of the first and second meanings of the traces from Fig. 4 according to the fundamental questions.

Questions	1 st meaning	2 nd meaning
Source, persons – who?	~150 persons on the pavement, 1 leaning against the building, 1 on the ground floor of the building At least 3 persons appear at the windows of the 1st and 2nd floors of the building Distinctive anthropometric and facial features of the individuals Group of people visible in the background on a perpendicular street	Potentially 300 witnesses if the same number of people are standing on the opposite pavement (H) Key eyewitnesses with an overview of the scene Description and recognition of persons (witnesses, assailant, etc.) Possible route of the Emperor's procession
Source, objects – what?	Warm garments (coats, hats, gloves) People remove their hats	Social or occupational class; characteristics of garments indirectly informative about persons (who?); cold weather Habit; sign of respect
Activity, space – where?	Building and road are recognisable Objects with regular geometry Blurred carriage on the road Assailant's feet are not visible Blurred left hand holds a bouquet Right hand holds a blurred hatchet	Location of the action Reconstruction of the perspective (Table 1) Movement and direction of the carriage Position not clear (bodily measures could be useful clues) Gift, present, or peaceful attitude Weapon, movement, violence, attack
Activity, time – when?	Warm garments; tree without leaves	Winter; weather information from the lighting (table 1)
Activity, actions – how?	Opposite meanings of the objects in the assailant's hands Moving carriage	Dissimulation to approach the carriage and surprise attack Speed could be approximated if the shutter speed is known; moving target

Whenever a proposition is contradicted, it can be discarded, refined or conserved if the discrepancies can be explained. Therefore, throughout the reconstruction process, knowledge about the constitutive elements of the event (persons, objects, space, time and actions) is continually updated.

The speculative abduction phase is difficult and exploratory. Forensic science knowledge is particularly valuable in this phase. Indeed, knowing the informative potential of various types of clues aids the reconstruction process. For example, awareness of vehicles' features facilitates their recognition.

4.1. Case study

The hypothetico-deductive reasoning process clearly explains how the meaning of images is constructed in a forensic science context. The example below demonstrates the highly informative potential of images as traces. Visual traces provide information about sources and activities. Hypothetico-deductive reasoning is an intuitive pathway for discovering the unknown elements of a case. In forensic science, the propositions are related to the meaning of the images. For example, in the photograph of the assassination attempt on the German Emperor, traces of the photographic conditions, the scene, the protagonists and the attack can be recognised to determine their informative potential. As explained earlier in the [Review of the analysis of images as traces in forensic science](#) section, clues or evidence may be obtained from these traces. Fig. 4 shows the photograph of the German Emperor's procession in which the main axis is annotated, a vanishing line is added and area of the action of interest is enlarged.

The analysis is conducted on two levels to transform traces into meaningful clues:

1. The first level involves direct and unambiguous observation of a procession watched by spectators and an event being precipitated by a strange actor next to the Emperor's car.
2. The second level of meaning is context dependent. At this level, explanatory propositions are generated and tested against other clues. For example, the format may correspond to a particular model of camera (proposition about the acquisition system). If the photograph was recorded using this acquisition system, deduction

can be used to characterise compatible lenses (verified by clues on the lens).

From a forensic science perspective, the second level focusses on possible analyses and propositions. Table 1 summarises the image's traces from a technical perspective and the content of Fig. 4; Table 2 describes the clues about persons, objects and activities derived from the image. Emphasis is placed on the clues and their relations to the constitutive elements of the event (persons, objects, space, time, actions and conditions).

Clues about the source include patterns that are recognisable because of their similarities to known objects or persons. The rules of projection facilitate the decoding of images of objects or persons. Recognition depends on a known "template" and on transformations, such as scaling, translating and rotating that allow objects in 3D space to be viewed in 2D. This analysis demonstrates the complexity of extracting clues from an image and makes latent or "invisible" operations more explicit. Mental processes, even the most obvious ones, tend to remain unexplained and unnoticed. This particular example should increase the analyst's awareness of underlying processes.

Context is essential. The attacker may be approaching the Emperor to throw a flower or a present to him. However, the fact that the emperor was attacked at this moment (the context) designates the person approaching the coach as the attacker. The context ensures the generation of appropriate propositions.

This example demonstrates how traces become clues of a past event and that much information can be obtained from a single image. However, a scientific and structured approach to using images in the reconstruction process does not exist, and no methodology has been developed to articulate such an approach. The mass of information is even larger for videos, and more transformations have to be undertaken to understand the meaning of moving images (sequence, movements, dynamic settings such as zoom or focus, editing, sound).

5. Conclusion

The current research focuses on how clues from images are used throughout an investigation. Increased attention should be paid to how clues about persons, objects, space, time and actions are combined

to reconstruct events using images. Indeed, images are increasingly common in investigations because the proliferation of photography or video technologies now allows everyone to have a recording device in their pocket. Whenever unusual events or major crimes occur, visual traces are easily and often massively gathered by journalists, bystanders and surveillance systems. The increasing volume of images available to be analysed for traces indicates the necessity of redressing the neglected aspects outlined in this paper. The analysis shows that images, which are often only used as evidence, have much greater potential. Though the example used is anecdotal, it demonstrates that images are powerful conveyors of information about the past. However, the extraction and combination of clues from images have not been described in the forensic science literature. The use of images to reconstruct events throughout a criminal investigation should be formalised to realise the full potential of these images. A methodology would provide a sound basis for expanding the use of images in the investigation and crime reconstruction process.

Acknowledgements

The authors would like to thank the University of Lausanne for sharing the images presented in this research. The authors also acknowledge the reviewers for their valuable comments on the first version of this article.

References

[1] R.A. Reiss, La photographie judiciaire, Charles Mendel, Paris, 1903.
 [2] R.A. Reiss, Manuel de police scientifique (technique). I. Vols et homicides, Payot, Alcan, Lausanne, Paris, 1911.
 [3] A. Bertillon, La photographie judiciaire avec un appendice sur la classification et l'identification anthropométriques, Gauthier-Villars, Paris, 1890.
 [4] A. Bertillon, Cours théorique de signalement descriptif (portrait parlé) en vingt leçons, Identification anthropométrique. Instructions signalétiques (complement to the original publication, Imprimerie administrative, Melun, 1893), Imprimerie Chaix, Paris, 1895, p. 24.
 [5] J.P. Davis, T. Valentine, R.E. Davis, Computer assisted photo-anthropometric analyses of full-face and profile facial images, *Forensic Sci. Int.* 200 (2010) 165–176.
 [6] J.-C. Martin, O. Delémont, P. Esseiva, A. Jacquat, Investigation de scène de crime: Fixation de l'état des lieux et traitement des traces d'objets, 3ème ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2010.
 [7] H.C. Lee, T.M. Palmbach, M.T. Miller, Henry Lee's Crime Scene Handbook, Academic Press, San Diego, California, 2001.
 [8] U. Buck, B. Kneubuehl, S. Näther, N. Albertini, L. Schmidt, M. Thali, 3D bloodstain pattern analysis: ballistic reconstruction of the trajectories of blood drops and determination of the centres of origin of the bloodstains, *Forensic Sci. Int.* 206 (2011) 22–28.
 [9] E. Locard, L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques, E. Flammarion, Paris, 1920.
 [10] E.M. Robinson, Crime Scene Photography, Elsevier Academic Press, Burlington, MA, 2007.
 [11] S.L. Weiss, Forensic Photography: The Importance of Accuracy, Prentice Hall, New Jersey, 2008.
 [12] R. Barthes, Le message photographique, *Communications* (1961) 1–13.
 [13] A. Rouillé, La photographie: Entre document et art contemporain, Gallimard, Paris, 2005.
 [14] Scientific Working Group on Imaging Technology, Section 10: general guidelines for photographing footwear impressions, version 1.2, 2010.01.15, SWGIT Guidelines for the Forensic Imaging Practitioner, 2010, p. 3.
 [15] Scientific Working Group on Imaging Technology, Section 9: general guidelines for photographing tire impressions, version 1.2, 2010.01.15, SWGIT Guidelines for the Forensic Imaging Practitioner, 2010, p. 3.
 [16] A. Bertillon, Description d'un nouvel appareil de photographie métrique appliquée aux constatations judiciaires, *Rev. Suisse Photogr.* 9 (1903) 193–196.
 [17] D.R. Redsicker, G. Gordaner, S.H. James, A.C. Laws, A.D. Redsicker, The Practical Methodology of Forensic Photography, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, New York, 2001.
 [18] Scientific Working Group on Imaging Technology, Section 20: recommendations and guidelines for crime scene/critical incident videography, version 1.0, 2012.01.13, SWGIT Guidelines for the Forensic Imaging Practitioner, 2012, p. 7.
 [19] M.J. Thali, M. Braun, W. Brüscheweiler, R. Dirnhofer, Matching tire tracks on the head using forensic photogrammetry, *Forensic Sci. Int.* 113 (2000) 281–287.
 [20] M.J. Thali, M. Braun, T.H. Markwalder, W. Brüscheweiler, U. Zollinger, N.J. Malik, K. Yen, R. Dirnhofer, Bite mark documentation and analysis: the forensic 3D/CAD supported photogrammetry approach, *Forensic Sci. Int.* 135 (2003) 115–121.
 [21] M.J. Thali, M. Braun, R. Dirnhofer, Optical 3D surface digitizing in forensic medicine: 3D documentation of skin and bone injuries, *Forensic Sci. Int.* 137 (2003) 203–208.

[22] M.J. Thali, M. Braun, W. Brüscheweiler, R. Dirnhofer, 'Morphological imprint': determination of the injury-causing weapon from the wound morphology using forensic 3D/CAD-supported photogrammetry, *Forensic Sci. Int.* 132 (2003) 177–181.
 [23] W. Brüscheweiler, M. Braun, R. Dirnhofer, M.J. Thali, Analysis of patterned injuries and injury-causing instruments with forensic 3D/CAD supported photogrammetry (FPHG): an instruction manual for the documentation process, *Forensic Sci. Int.* 132 (2003) 130–138.
 [24] L. Lanzi, La photogrammétrie numérique combinée avec la modélisation 3D: Applications aux sciences forensiques, Institut de Police Scientifique, Université de Lausanne, Lausanne, 2009, p. 304.
 [25] C. Weyermann, L. Gueissaz, A. Lefeuvre, J. Curchod, Q. Milliet, R. Voisard, Reconstruire, *Rev. Int. Criminol. Police Tech. Sci.* LXII (2009) 37–48.
 [26] J. Bijhold, Z. Geradts, L. Klases, Forensic imaging. a review: 2001 to 2004, 14th International Forensic Science Symposium, Interpol, Lyon, France, 2004, pp. 189–205.
 [27] U. Buck, S. Naether, M. Braun, S. Bolliger, H. Friederich, C. Jackowski, E. Aghayev, A. Christe, P. Vock, R. Dirnhofer, M.J. Thali, Application of 3D documentation and geometric reconstruction methods in traffic accident analysis: with high resolution surface scanning, radiological MSCT/MRI scanning and real data based animation, *Forensic Sci. Int.* 170 (2007) 20–28.
 [28] J. Bijhold, A. Ruitrook, M. Jessen, Z. Geradts, S. Ehrhardt, I. Alberink, Forensic audio and visual evidence, in: N.N. Daéid, M.M. Houck (Eds.), *Interpol's Forensic Science Review*, Taylor & Francis, 2010, pp. 353–392.
 [29] C.S. Fraser, Some thoughts on the emergence of digital close range photogrammetry, *Photogramm. Rec.* 16 (1998) 37–50.
 [30] P. Waldhausl, C. Ogleby, 3 × 3 rules for simple photogrammetric documentation of architecture, *Int. Arch. Photogramm. Remote. Sens.* XXX (1994) 4.
 [31] K. Inman, N. Rudin, Principles and Practices of Criminalistics: The Profession of Forensic Science, CRC Press, Boca Raton, 2001.
 [32] F. Crispino, Le Principe de Locard est-il scientifique? Ou analyse de la scientificité des principes fondamentaux de la criminalistique, Institut de Police Scientifique, Université de Lausanne, Lausanne, 2006, p. 166.
 [33] L. Klases, Photography and digital imaging | overview, in: J.A. Siegel (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences*, Elsevier, Oxford, 2000, pp. 1254–1264.
 [34] E. Allen, S. Triantaphillidou, The Manual of Photography, 10th ed. Focal Press, Oxford, 2011.
 [35] P. Margot, La trace comme vecteur fondamental de la police scientifique, in: I. Ricordel (Ed.), *L'expertise en police scientifique*, Xavier Montauban SA, Montrouge, 2011.
 [36] R. Barthes, La Chambre claire: Note sur la photographie, 2ème ed. Gallimard, Paris, 1997.
 [37] S.S. Kind, Crime investigation and the criminal trial: a three chapter paradigm of evidence, *J. Forensic Sci. Soc.* 34 (1994) 155–164.
 [38] J.-P. Brodeur, The Policing Web, Oxford University Press, USA, 2010.
 [39] D. Barclay, Using forensic science in major crime inquiries, in: J. Fraser, R. Williams (Eds.), *Handbook of Forensic Science*, Willan Publishing, Devon, UK, 2009, pp. 337–358.
 [40] R. Cook, I.W. Evett, G. Jackson, P.J. Jones, J.A. Lambert, A hierarchy of propositions: deciding which level to address in casework, *Sci. Justice J. Forensic Sci. Soc.* 38 (1998) 231–239.
 [41] C.G.G. Aitken, F. Taroni, Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists, 2nd ed. John Wiley & Sons, Chichester, 2005.
 [42] R. Cook, I.W. Evett, G. Jackson, P.J. Jones, J.A. Lambert, A model for case assessment and interpretation, *Sci. Justice J. Forensic Sci. Soc.* 38 (1998) 151–156.
 [43] Scientific Working Group on Imaging Technology, Section 12: best practices for forensic image analysis, version 1.7, 2012.06.07, SWGIT Guidelines for the Forensic Imaging Practitioner, 2012, p. 16.
 [44] Scientific Working Group on Imaging Technology, Section 7: best practices for forensic video analysis, version 1.0, 2009.01.16, SWGIT Guidelines for the Forensic Imaging Practitioner, 2009, p. 16.
 [45] J. Lukas, J. Fridrich, M. Goljan, Determining digital image origin using sensor imperfections, in: A. Said, J.G. Apostolopoulos (Eds.), *Image and Video Communications and Processing*, SPIE, San Jose, CA, USA, 2005, pp. 249–260.
 [46] M. Chen, J. Fridrich, M. Goljan, J. Lukas, Determining image origin and integrity using sensor noise, *IEEE Trans. Inf. Forensics and Secur.* 3 (2008) 74–90.
 [47] W. van Houten, Z. Geradts, Source video camera identification for multiply compressed videos originating from YouTube, *Digit. Investig.* 6 (2009) 48–60.
 [48] Scientific Working Group on Imaging Technology, Section 14: best practices for image authentication, version 1.1, 2013.01.11, SWGIT Guidelines for the Forensic Imaging Practitioner, 2013, p. 11.
 [49] H. Farid, Image forgery detection, *IEEE Signal Process. Mag.* 26 (2009) 16–25.
 [50] P. Vanezis, C. Brierley, Facial image comparison of crime suspects using video superimposition, *Sci. Justice* 36 (1996) 27–33.
 [51] R. Moreton, J. Morley, Investigation into the use of photoanthropometry in facial image comparison, *Forensic Sci. Int.* 212 (2011) 231–237.
 [52] R.A. Halberstein, The application of anthropometric indices in forensic photography: three case studies, *J. Forensic Sci.* 46 (2001) 1438–1441.
 [53] K.F. Kleinberg, P. Vanezis, A.M. Burton, Failure of anthropometry as a facial identification technique using high-quality photographs*, *J. Forensic Sci.* 52 (2007) 779–783.
 [54] D. Smeets, P. Claes, D. Vandermeulen, J.G. Clement, Objective 3D face recognition: evolution, approaches and challenges, *Forensic Sci. Int.* 201 (2010) 125–132.
 [55] N. Lynnerup, M. Andersen, H.P. Lauritsen, Facial image identification using Photomodeler®, *Legal Med.* 5 (2003) 156–160.
 [56] N.L. Fraser, M. Yoshino, K. Imaizumi, S.A. Blackwell, C.D.L. Thomas, J.G. Clement, A Japanese computer-assisted facial identification system successfully identifies non-Japanese faces, *Forensic Sci. Int.* 135 (2003) 122–128.

- [57] M.I.M. Goos, I.B. Alberink, A.C.C. Ruifrok, 2D/3D image (facial) comparison using camera matching, *Forensic Sci. Int.* 163 (2006) 10–17.
- [58] S. Ritz-Timme, P. Gabriel, J. Tutkuvienė, P. Poppa, Z. Obertová, D. Gibelli, D. De Angelis, M. Ratnayake, R. Rizgeliene, A. Barkus, C. Cattaneo, Metric and morphological assessment of facial features: a study on three European populations, *Forensic Sci. Int.* 207 (2011) 239–247.
- [59] L. Rudin, P. Yu, T. Papadopoulos, Geometrical methods for accurate forensic videogrammetry, part I: measuring with non-point features, in: A. Said, J.G. Apostolopoulos (Eds.), *Image and Video Communications and Processing*, SPIE, San Jose, CA, 2005, pp. 261–271.
- [60] L. Rudin, P. Monasse, P. Yu, Geometrical methods for accurate forensic videogrammetry, part II: reducing complexity of Cartesian scene measurements via epipolar registration, in: A. Said, J.G. Apostolopoulos (Eds.), *Image and Video Communications and Processing*, SPIE, San Jose, CA, 2005, pp. 272–283.
- [61] L. Rudin, P. Monasse, P. Yu, Epipolar Photogrammetry: A Novel Method for Forensic Image Comparison and Measurement, in: *International Conference on Image Processing*, IEEE, Genova, 2005, pp. 385–388.
- [62] L.M. Klasek, O. Fahlander, Using videogrammetry and 3D image reconstruction to identify crime suspects, in: L.I. Rudin, S.K. Bramble (Eds.), *Investigative Image Processing*, SPIE, Boston, MA, USA, 1997, pp. 162–169.
- [63] S.C. Jensen, L.I. Rudin, Measure: an interactive tool for accurate forensic photo/videogrammetry, in: L.I. Rudin, S.K. Bramble (Eds.), *Investigative and Trial Image Processing*, SPIE, San Diego, CA, USA, 1995, pp. 73–83.
- [64] N. Lynnerup, J. Vedel, Person identification by gait analysis and photogrammetry, *J. Forensic Sci.* 50 (2005) 112–118.
- [65] P.K. Larsen, E.B. Simonsen, N. Lynnerup, Gait analysis in forensic medicine, *J. Forensic Sci.* 53 (2008) 1149–1153.
- [66] P.K. Larsen, E.B. Simonsen, N. Lynnerup, Gait analysis in forensic medicine, *Videometrics*, IX, SPIE, San Jose, CA, USA, 2007, pp. 64910M–64918M.
- [67] P.K. Larsen, L. Hansen, E.B. Simonsen, N. Lynnerup, Variability of bodily measures of normally dressed people using PhotoModeler® Pro 5*, *J. Forensic Sci.* 53 (2008) 1393–1399.
- [68] B. Hoogeboom, I. Alberink, M. Goos, Body height measurements in images, *J. Forensic Sci.* 54 (2009) 1365–1375.
- [69] G.P. Joseph, *Modern Visual Evidence*, 43rd ed. Law Journal Press, New York, 2006.
- [70] N.M. Sirakov, S. Sang, S. Attardo, Integration of low level and ontology derived features for automatic weapon recognition and identification, in: A.S. Firooz, M. Abhijit (Eds.), *Automatic Target Recognition*, XXI, SPIE, Orlando, FL, 2011, p. 8.
- [71] F. Pipitone, Efficient RPG detection in noisy 3D image data, in: G.G. Charmaïne, T.H. Chadwick (Eds.), *Active and Passive Signatures*, II, SPIE, Orlando, FL, 2011, p. 6.
- [72] S.F. El-Hakim, Vision-based automated measurement techniques, in: K.B. Atkinson (Ed.), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Whittles Publishing, Scotland, UK, 2001, pp. 180–216.
- [73] J. Robertson, C. Roux, Forensic examination of fibres. A review: 2001 to 2004, 14th International Forensic Science Symposium, Interpol, Lyon, France, 2004, pp. 70–84.
- [74] L. Nadav, The forensic examination of marks, in: N.N. Daéid, M.M. Houck (Eds.), *Interpol's Forensic Science Review*, Taylor & Francis, 2010, pp. 51–69.
- [75] W. Lin, C. Xiaochun, Geo-location estimation from two shadow trajectories, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2010, pp. 585–590.
- [76] T. Luhmann, S. Robson, S. Kyle, I. Hartley, *Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications*, Whittles Publishing, Dunbeath, Scotland, 2006.
- [77] F. Remondino, A. Guarnieri, A. Vettore, 3D modeling of close-range objects: photogrammetry or laser scanning? in: J.-A. Beraldin, S.F. El-Hakim, A. Gruen, J.S. Walton (Eds.), *Videometrics*, VIII, SPIE, San Jose, CA, USA, 2005, pp. 216–225.
- [78] D. Gonzalez-Aguilera, J. Gomez-Lahoz, Forensic terrestrial photogrammetry from a single image, *J. Forensic Sci.* 54 (2009) 1376–1387.
- [79] A. Criminisi, A. Zisserman, L.J. Van Gool, S.K. Bramble, D. Compton, New approach to obtain height measurements from video, *Investigation and Forensic Science Technologies*, SPIE, Boston, MA, USA, 1999, pp. 227–238.
- [80] A. Criminisi, I. Reid, A. Zisserman, Single view metrology, *Int. J. Comput. Vis.* 40 (2000) 123–148.
- [81] C. Weyermann, O. Ribaux, Situating forensic traces in time, *Sci. Justice* 52 (2012) 68–75.
- [82] K. Cohen, Digital still camera forensics, *Small Scale Digit. Device Forensics* 1 (2007) 1–8.
- [83] J.A. Levi, Y. Novoselsky, N. Levin, N. Volkov, Determining the time and day of photography, *J. Forensic Sci.* 45 (2000) 153–157.
- [84] B. Hoogeboom, I. Alberink, Measurement uncertainty when estimating the velocity of an allegedly speeding vehicle from images, *J. Forensic Sci.* 55 (2010) 1347–1351.
- [85] L. Lanzi, D. Correvon, E. Sapin, J. De Priester, Etude de cas: Évaluation de la vitesse d'un véhicule enregistré par une caméra de surveillance, *RICPTS LIX* (2006) 233–238.
- [86] G. Edelman, J. Bijhold, Tracking people and cars using 3D modeling and CCTV, *Forensic Sci. Int.* 202 (2010) 26–35.
- [87] P. Aepli, O. Ribaux, E. Summerfield, *Decision Making in Policing: Operations and Management*, EPFL-Press (CRC), Lausanne, 2011.
- [88] W.J. Chisum, Crime reconstruction and evidence dynamics, in: A. Mozayani, C. Noziglia (Eds.), *The Forensic Laboratory Handbook Procedures and Practice*, Humana Press, 2011, pp. 105–122.
- [89] S.S. Kind, *The Scientific Investigation of Crime*, Forensic Science Services, Harrogate, England, 1987.
- [90] D. Hazard, P. Margot, O. Ribaux, Pertinence de la trace: Étude théorique et perspectives expérimentales, *Rev. Int. Criminol. Police Tech. Sci.* LXIV (2011) 341–374.



Contents lists available at ScienceDirect

Science and Justice

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scijus

A methodology to event reconstruction from trace images



Quentin Milliet*, Olivier Delémont, Eric Sapin, Pierre Margot

Institut de Police Scientifique, Ecole des Sciences Criminelles, University of Lausanne, Batochime, CH-1015 Lausanne, Switzerland

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 August 2014

Received in revised form 17 December 2014

Accepted 4 February 2015

Keywords:

Forensic

Investigation

Analysis

Collation

Classification

Video recordings

ABSTRACT

The widespread use of digital imaging devices for surveillance (CCTV) and entertainment (e.g., mobile phones, compact cameras) has increased the number of images recorded and opportunities to consider the images as traces or documentation of criminal activity. The forensic science literature focuses almost exclusively on technical issues and evidence assessment [1]. Earlier steps in the investigation phase have been neglected and must be considered. This article is the first comprehensive description of a methodology to event reconstruction using images. This formal methodology was conceptualised from practical experiences and applied to different contexts and case studies to test and refine it. Based on this practical analysis, we propose a systematic approach that includes a preliminary analysis followed by four main steps. These steps form a sequence for which the results from each step rely on the previous step. However, the methodology is not linear, but it is a cyclic, iterative progression for obtaining knowledge about an event. The preliminary analysis is a pre-evaluation phase, wherein potential relevance of images is assessed. In the first step, images are detected and collected as pertinent trace material; the second step involves organising and assessing their quality and informative potential. The third step includes reconstruction using clues about space, time and actions. Finally, in the fourth step, the images are evaluated and selected as evidence. These steps are described and illustrated using practical examples. The paper outlines how images elicit information about persons, objects, space, time and actions throughout the investigation process to reconstruct an event step by step. We emphasise the hypothetico-deductive reasoning framework, which demonstrates the contribution of images to generating, refining or eliminating propositions or hypotheses. This methodology provides a sound basis for extending image use as evidence and, more generally, as clues in investigation and crime reconstruction processes.

© 2015 Forensic Science Society. Published by Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The aim of this paper is to propose and describe a methodology for exploiting the investigative potential of images to reconstruct past events. Events and crimes are often recorded by surveillance cameras and are observed and recorded by witnesses or bystanders. Recorded images become recorded traces, which are a valuable source of clues to understanding what happened. Images provide information about persons, objects, space, time or actions. The contribution of images as vectors of information, while recognised by investigators, is most often ignored in the forensic science community, whose primary focus is on identification and evidential value of images [1]. During the investigative phase of an inquiry, forensic science is a crucial provider of information; it helps suggest and assess propositions, clarify sequences of events and prioritise lines of enquiry. By analogy, recorded images provide many clues and have great investigative potential. However, using images for such purposes has not been well-explored, formalised or described. A structured approach is required for integrating images as

traces or remnants of the past in the reconstruction process for specific events. We propose a methodology to using images in the framework of an investigation. Our solution anchors the wide emerging field of image analysis to fundamental forensic science concepts by explaining how trace images are transformed progressively into meaningful information.

1.1. Research strategy

The methodological aspects of image analysis have been studied in other disciplines, such as sociology [2]. Tools such as semiotic, composition and content analysis have provided a useful core basis for constructing the methodology, which required consideration of issues concerning the use of images as traces that are relevant to the forensic science perspective. Recurrent observations from case studies led to the development of a core methodology.

After the first conceptualisation phase, the methodology was tested and further refined through application to other cases; these practical cases involved an analysis of witness images (videos or photographs) with an ambiguous or incomplete meaning. We do not consider image manipulation or falsification part of the methodology. The aim of this

* Corresponding author. Tel.: +41 21 692 46 26; fax: +41 21 692 46 05.
E-mail address: quentin.milliet@unil.ch (Q. Milliet).

strategy is to extend the validity of the formalised methodology to the following contexts and cases:

1. The Truth for Reconciliation Commission of Thailand (TRCT) is a truth-seeking initiative that focused on “the violent events that took place in Thailand, especially during April and May, 2010”¹ and led to 92 deaths with over 1500 injured [3,4].² The methodology was applied to reconstruct two specific events in this particular context; one of them is used as an example in the section [Case study 1](#).
2. In the context of the Swiss criminal justice system, the methodology was applied to two homicide cases. These are described in the section [Case study 2](#).

Below, we propose an overview of the methodology, followed by a detailed analysis of each step, examples from the case studies and a discussion addressing the perspectives and limitations.

2. Methodology

The methodology provides guidelines and articulates concepts at a higher level of generality than in applying techniques; it is a sound basis for guiding the use of particular tools. The methodology was constructed in a sequential manner and consists of four main steps that are intimately related; each step relies on the results from the previous step. However, the methodology is not linear, but it is a cyclic and iterative progression of constructing information. Input, such as new material, reference data or other sources of information (e.g., reports, statements, and intelligence) are integrated into the process.

The methodology begins with a *preliminary analysis* (Fig. 1). The case and its circumstances, the questions asked and material submitted are considered to address the relevance, reliability and feasibility of the analysis as well as define specific objectives. This approach highlights expectations given reasonable propositions [5].

The first step, *collation*, concerns image detection and collection as pertinent traces as well as their order. The second step describes their *organisation* with an emphasis on trace classification, review and selection. The third step, *reconstruction*, focuses on the information extraction and combination. The fourth step, *evaluation*, describes the selective production of information and opinions that indicate their strength. *Communication* through memos, structured reports or demonstrations is output from the process; the various forms of communication are directed at different audiences and produced at different analysis stages.

Each step explicitly describes what happens during image analysis and processing (from photographs or videos). We emphasise the hypothetico-deductive reasoning framework, which aids the reconstruction process using images as clues. Abduction generates propositions about plausible causes for the clues, and deduction is used to examine these propositions with other clues, which may corroborate, refine or eliminate the propositions. Reconstructing an event from traces is similar to the clinical reasoning process used to form a diagnosis based on symptoms [6].

2.1. Preliminary analysis

Before beginning the technical work required for the image analyses, background information must be collected and digested to understand the context and particular situations in terms of locations, protagonists and approximate chronology. Despite the risk of bias, determining the context is essential; given the large scope of action and the extent of available images, background information aids in delimiting relevant questions and, thus, identifying the required resources.

¹ Regulation of the Office of the Prime Minister on the Truth for National Reconciliation B.E. 2553 (2010).

² http://issuu.com/thai_e-news/docs/final_report_trct_17_9_12.

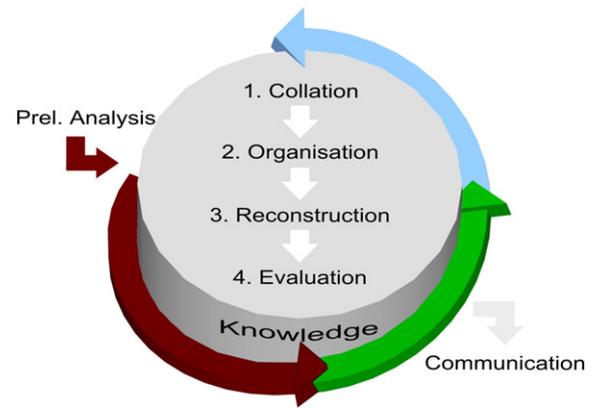


Fig. 1. Schematic description of the methodology with the preliminary analysis (initial input), the four main successive and iterative steps and the communication (output). New material or information may be integrated into the cycle at different steps; the findings may also be immediately communicated; the arrows represent the cyclic progression of knowledge.

Available information on the case under scrutiny provides an overview of the circumstances, pending questions and existing documentation (crime scene, investigation or autopsy reports, maps, sketches, notes, witness statements and forensic science reports that analyse material traces, such as gunshot residues, explosives, DNA, and fingerprints). Investigators or magistrates may provide such information. A briefing or visit to the scene may be necessary for familiarity with the locations and their configuration.

Knowing the context aids in determining the propositions that must be examined with unknown areas that must be explored; this is the basis of the approach. Unknown elements guide the analysis. As information increases, the questions evolve from general to specific. Specific questions aid in defining clear and achievable objectives that correspond to portions of the answer. Attention should be given not to answer questions directly using images because it may lead to the transposed conditional fallacy [7]. In a Bayesian framework, this error refers to transform a statement about the probability of an observation given a proposition about the activity under scrutiny directly into a statement about the probability of the proposition. Attention should be given that wrongly framed questions may lead to wrongly framed statements or answers, as many explicit examples can be found in the literature [8].

Priority objectives should be defined with each stakeholder to reach an agreement between their expectations and realistic outcomes from the forensic science analysis. Accepted objectives direct the process, and new relevant element may be added.

2.1.1. Material

Material may or may not be collected before the analysis begins. If it is collected, a global but critical review of the material submitted facilitates an assessment of whether the agreed-upon objectives can be fulfilled. The analysis is only feasible if the images may be informative. Otherwise, either more material must be collected, or the analysis cannot be performed. When no material has been collected, the context and questions should guide collection of relevant images.

The material authenticity and integrity is considered when assessing the possibilities. Image manipulations may be discerned, and the original material should be collected if possible.

2.2. Step 1. Collation

2.2.1. Detection

A preliminary analysis of the event leads the search for images related to the case under scrutiny. This approach is analogous to a search for traces in a crime scene and its extensions. Indeed, detection is not

typically on site, except for fixed surveillance cameras, such as CCTV (closed-circuit television) systems. The search for public and private surveillance systems in the vicinity of a scene should be rapid because many systems automatically delete images after a certain time lapse. Images exist once they are recorded on a storage media (analogic or digital). As such, they exist as traces; but they must be detected and collected to become clues. Widespread use of mobile recording devices broadens the “visual extension” of a crime scene. Images can be recorded by anyone (protagonists, witnesses, journalists or first responders, such as medical personnel, fire-fighters, and police officers). The images may be detected through media publications (paper or electronic). Otherwise, images may also be retrieved from computers using a search warrant or intercepted during transfer (when they are sent or received). New images are detected using many sources of information (e.g., seizures, indications from witnesses); public sourcing is also a potential source for discovering relevant images during the investigation. This detection step is an active approach that relies on intelligence about the existence of images and the diversity of the images as traces as well as an extensive search for their sources and locations.

Traces from the event must be distinguished from the noise (i.e., images unrelated to the case). Potentially relevant traces correspond to what is determined important based on the spatial, temporal or thematic issues in the situation. Throughout the analysis, findings may change the issues and influence the search. The informative potential of traces is assessed during a second step; therefore, the search is broad at the beginning and narrows thereafter.

2.2.2. Collection

Material is collected at the scene or provided by police officers, witnesses, media agencies, persons such as journalists or bystanders, and open sources (e.g., the internet or news). Guidelines and protocols must be defined to gather authentic material and information (metadata) about the source (e.g., camera settings, format), content (location, time, subject) and history (e.g., copy, editing, processing) of the images collected. Such information is only available when the source of images is contacted. Original images should be retrieved when possible. Material that may be useful for the investigation is collected and safely stored in an unaltered format.³ Preserving the original metadata should be considered when it is copied. Placing the images into a single folder facilitates organisation.

Information, documentation or images may be collected to complement the information on specific elements of the event (e.g., persons, time, locations). Photogrammetry and additional techniques can be used to obtain missing documentation and gather reference spatial data, such as sketches, tape measurements, photographs, GPS, total stations, and laser scanners [9].

2.3. Step 2. Organisation

2.3.1. Classification

Classification facilitates grouping and retrieving images, especially among a high quantity of material. The images are organised systematically using digital traces and the visual content. By adding keywords to the metadata, images can be simultaneously organised based on their source, time and content. The classification system benefits from integrating *keywords* into the existing metadata.

Metadata are extracted before opening the files to document their initial state and ensure the traceability of subsequent modifications. Information about the *source* (e.g., camera make and model, serial number, filenames), *time* (date and time of creation or modification) and, if available, *location* (e.g., GPS coordinates, CCTV location) are key elements for reconstruction.

To organise a high quantity of material, the image content is systematically described. The content classification scheme is based on case information and reference data or documentation. Because witness image recording is not standardised, the classification is based on high-level, not low-level features⁴, such as colour, intensity, shape, texture or dimensions.

Keywords are defined to construct *profiles* that encompass several levels of information described by the categories under scrutiny:

- *Persons (who?)*: The focus is on the presence of persons. Reference profiles with distinct features are constructed using written and iconic descriptions. Among the visual features, objects such as clothing and equipment are essential clues. The profiles are used to recognise the protagonists. The purpose is not identification; classification enables us to create subsets of images with content that may depict target groups of people or individuals.
- *Objects (what?)*: Keywords are defined to classify various types of objects (e.g., vehicles, guns, cameras, batons). For each type of object, the classes are defined using distinct criteria.
- *Space (where?)*: The scene is divided into areas or locations that can be recognised from the images. Avenues, streets, bridges, vegetation or apparent buildings and objects are useful for distinguishing key areas. These features typically appear in the background of images. Occasionally, locations are deduced because images pertain to a series of images from a camera that records during a short time interval.
- *Time (when?)*: The timeframes of interest are delimited. Even if approximate or relative, the known chronology allows the investigators to focus on key moments. The classifications are based on metadata, but basic criteria are added to determine the timeframes from the content (e.g., night-time, daytime).
- *Activity (how?)*: The actions are described based on the topics of interest and offer a rough classification of actions by type.

The list is not exhaustive, and criteria, like the description of the source, can be added. Relevant frames can be efficiently retrieved and extracted based on a description of action sequences in videos.

Classification offers a gross description of the traces in select categories, and images can be reviewed more rapidly. Organised images are efficiently retrieved throughout the analysis process. Table 1 provides a summary of the types of traces, their origin, what they reference and their meaning.

EXIF fields⁵ are generated using the recording system and are used to group images based on their source. Such selections represent a series of images from the same camera that share consistent time settings. Each series can be visualised in chronological order. These photograph or video sequences rapidly provide investigative leads to reduce the timeframe of interest. Simultaneously, groups are further separated using traces based on their content (persons, objects, etc.). Any combination of criteria can be used to review subsets of images or assess the available material. The combination of traces described in Table 1 provides coherent meaning to the images; they may provide essential information for the reconstruction process, as explained in the third step.

2.3.2. Assessment

The assessment focuses on the *informative potential* and *quality* of the traces. Relevant images are selected because they refer to specific classes of persons, objects, locations, moments or actions. Images that are traces become clues if they provide information consistent with the objectives. Propositions regarding constitutive elements of the case are tested, eliminated, confirmed or refined to generate coherent

⁴ Such features are typically used to automatically codify images from a database.

⁵ Metadata can be modified intentionally or accidentally when images are processed. EXIF fields are more informative than “files” information, because the latter is often modified when images are processed and copied onto computers.

³ As collected (e.g., JPEG, AVI).

Table 1
Classification scheme for images as traces; the type of trace, where it is from, its information and its meaning is detailed.

Type of trace	Trace from	Information about	Meaning
Digital	Metadata (EXIF)	Camera make and model	Images recorded by the same camera model
	Metadata (EXIF)	Camera serial number	Images recorded by the same camera
	Metadata (EXIF)	Date and time created	Time information from the camera settings
	Metadata (Files)	Date and time modified	Last edition of the files
Content	Persons ¹	Groups or individuals	Presence of specific groups of persons or individuals
	Objects	Types and classes	Presence of specific objects
	Space	Locations	Images of a particular area
	Time	Timeframes	Images recorded at an approximate moment (date, night-time, etc.)
	Activity	Topics	Images related to particular actions or events

¹ Various metadata fields (e.g., IPTC, Keywords, Labels) can be used to classify the content.

connections between the images. The images with the highest informative potential constitute direct clues on specific actions. Other images may be circumstantial clues. Still images are used for spatial clues. Videos are preferred over still images for temporal clues.

Among the relevant images, images with the best possible quality are selected. Certain quality parameters are related to the acquisition system and settings (camera make and model, lens, focal length, aperture, shutter speed, ISO sensitivity, sensor format, spatial and tonal resolutions, image size (pixels) and histograms of pixels values); other parameters are related to image processing (e.g., editing, formatting, resizing, enhancement, compression). The latter parameters are derived from the content: perspective, illumination, sharpness, visibility and size of the elements of interest. The listed parameters are neither exhaustive, nor independent⁶, but the list offers high-quality criteria that can be used to sort the images. Processing techniques may increase the visibility of details to distinguish them and maximise their informative potential. The entire image or specific areas should be selectively enhanced, highlighted and annotated. Different copies of an image may be used to visualise different objects or persons; in this regard, the use of layers and image stacks are appropriate. A reference to the original image (filename and frame number) and history of operations is maintained to ensure proper documentation of the process.

The assessment step also indicates missing material or information/documentation about specific elements and needs for collecting further material (step 1). Communicating these investigative leads is an output of the process. As a consequence, reference data and documentation on persons, objects, space and time or new material may be integrated in the cyclic process.

2.4. Step 3. Reconstruction

The reconstruction process for a sequence of events relies on recombining the elements that compose one or many dimensions of the events: space, time and actions.

2.4.1. Spatial recombination

Spatial information is typically⁷ inferred from image content. Locations are recognised with different degrees of reliability. The spatial analysis is aimed at positioning observations from images. The image perspective is determined to correctly position observations on the scene. A close examination may be sufficient for approximate localisation. However, spatial recombination requires a systematic approach to reconstruct a scene with clues from images and to create an appropriate representation in order to communicate the findings.

Reconstruction gradually proceeds from reference objects that compose the environment to constituent elements of the events with increasing levels of uncertainty.

⁶ For instance, exposure depends on the illumination of the subject, its optical properties, and settings, such as ISO sensitivity, aperture and shutter speed.

⁷ Except GPS tags that may appear in the metadata.

- a. *Fixed elements*, such as buildings, poles, and road markings, among other elements, are positioned using reference data (for example, multiple survey images or laser scans).
- b. *Static elements*, such as vehicles or heavy objects, are positioned using several witness images (mainly pairs of images).
- c. *Dynamic elements*, such as moving persons or objects, are positioned using single witness images.

The boundaries of these categories are not definite. Fixed elements may be displaced, and dynamic elements may be visible on several images. Unstable positions are associated with higher uncertainty (e.g., motion blur); subjects that are moving too fast are not recorded on images. Spatial clues comprise recognisable features of fixed or static objects or persons as well as their relative scales and illumination. Typical features include regular shapes, surfaces and lines, which are used as landmarks. Propositions on the visibility of such features between images are used for poor-quality, ambiguous images. The same principle may reveal the displacement of an object between images.

Repeating previous steps affords new clues. Data from several images are combined to reconstruct areas of interest and integrate dynamic elements. Knowing the camera, settings and configuration of the scene is critical.

The results are synthesised in the form of schematic representations, such as plans or 3D models, which include fixed, static and dynamic elements. These elements should be constructed as information “layers” or “blocks” to represent the elements separately or jointly. This flexibility facilitates progressive integration of new elements and creation of various representations that aid reasoning. The scale, level of detail and symbols should be adapted to ensure clear communication to the target audience. 2D representations, such as plans or cross sections are on scale and explicitly show the layout and extent of a scene with distances and dimensions; 3D models illustrate the spatial configuration with the elevation. It is convenient to show obstacles, lines of sight, visibility and diagonals (trajectories) and to provide interactive visualisation.

2.4.2. Time anchorage

The temporal analysis aims to determine the relative or absolute times when images were recorded. Relative clues facilitate chronology reconstruction; absolute clues position images at a reference time (e.g., an atomic clock).

Digital traces encompass various metadata fields, as explained in the second step. Classification and information about the camera facilitate chronological visualisation of a series of images. These temporal indications depend on the cameras' time settings and vary between series of images from different cameras. As long as the settings remain the same, relative timing is available, and time corrections can be applied to all images from a particular series.

For the content, anything that clearly evolves can be used as a temporal clue. Knowing action sequences enables positioning the images with time. Images that depict the same subject (e.g., action, object, person) from different perspectives may be combined, which requires

discerning corresponding observations or *direct* clues between images by comparing their content. In this regard, videos are especially valuable because they offer continuous⁸ and dynamic information. Assumptions such as motion continuity or the consistency of metadata indications provide *indirect* clues between series of images and are used to anchor images before, between or after each other.

A timeline is constructed according to actual knowledge of the event. The process is based on the combined digital clues and clues from the image content. Similar to a puzzle, different series of photographs or videos are added to update the reconstruction.

- a. Metadata provide indicative times to introduce a series of images. Continuous series (longest video or largest number of photographs) are used as a baseline.
- b. Images are moved along the timeline, and their content is compared to discern the images of the same phenomenon (i.e., direct clues). Typically, sudden light changes, moving objects or persons are clearly observable and provide anchorage points for time. Audio is also considered. Similar to light, acute and loud sounds (such as bells) are particularly helpful as anchoring points. Audio should be carefully considered because varying distances from the emitter and recorder introduce gaps between the recording times for a sound at different locations. Indications of potential simultaneity are examined by considering indirect clues between series of images.
- c. Information from images is combined to generate propositions regarding action sequences; these hypothetical sequences are deductively examined when the images are integrated. A proposition is verified if an action sequence is observed in several series of images; if not, chronological discrepancies are used to refine the potential sequence or move a series along the timeline until a coherent temporal reconstruction is obtained.
- d. An external reference is required to transform relative clues into absolute clues. Sunrise and sunset offer approximate references for a known date and location. Shadows, weather or vegetation are also indicative. Objects such as clocks and watches or audio clues may be used. CCTV, mobile phones or any system that is connected to a network may provide a reference time, such as UTC (Coordinated Universal Time). Series of images are added as layers of information, and corrections are introduced by iteratively adjusting the timeline.

The result is a progressive combination of images that offer simultaneous and/or sequential perspectives on an event. The output might take various forms: An illustrated chronology with a description, a graphical timeline or a film composed of mounted videos and photographs. Audio-visual techniques aid in communicating with investigators.

2.4.3. Action dynamics

Images provide information about the occurrence of actions or single events. Action dynamics is a two-fold process; actions are examined in detail, and the relationships between distinct actions are explored. Actions are broken into positions, postures, motions, contacts, and interactions and then qualified (by, e.g., speed, intensity). This detailed analysis indicates key phases and changes in the dynamics. Actions produce logical consequences and provoke natural reactions. People and objects that surround an action may be influenced. People's behaviour changes from active to passive or neutral to aggressive or defensive. Examining actions and reactions allows one to infer behaviours and states.

Spatial and temporal data are combined to clarify actions. Hypotheses are used to explore potential relationships, such as imputability, and determine whether observed consequences or reactions corroborate expectations.

⁸ Videos are recorded at a certain framerate (frames per second – fps) and remain continuous as long as they are unedited.

The characteristics of persons and objects are also used for reconstruction. Clearly, the recognition of particular persons or objects aids in understanding an action in its spatiotemporal context.

At some point, information from images is confronted with other sources of relevant information (e.g., material traces, witness statements) to generate the most comprehensive account of an event. The consolidation highlights corroborating information and discrepancies; this key collaborative phase advances information and aid in progressing the investigation. Communication between investigators and forensic scientists facilitates appropriate inquiry measures or analyses and contributes to a coherent reconstruction.

2.5. Step 4. Evaluation

The evaluation provides continuity to the reconstruction. The reconstruction consistency is evaluated through consolidation and logic. Propositions are limited and refined to narrow the potential courses of events. The specification yields critical alternatives. Reducing uncertainty and conducting experiments may facilitate selective evidence production.

2.5.1. Uncertainties

Corroboration using additional clues or validation experiments reduces uncertainty. If clues can be measured, their associated uncertainties are assessed during and from the reconstruction step. Further analyses may be selectively performed for additional precision and accuracy. Uncertainty mostly depends on the quality of the collected traces but is also influenced by the reliability of the techniques used.

Specific measurements based on a series of images from the same camera may aid in reducing uncertainty. Photogrammetric parameters, time settings or sensor imperfections and noise are a few examples of variables that increase the precision and/or accuracy of the results [10]. The material is reviewed to determine whether the conditions inherent to a particular technique have been met. If the requirements are not met, more images can be collected (step 1). Seizing cameras should also be considered in order to record reference images.

The combination of spatial and temporal data should consider the associated uncertainties. When the acquisition system is available, time settings and intervals can be calibrated against a reference clock (UTC). Camera calibration may be used to correct the time settings for series of images. The combined uncertainties from position and time have been described in the literature [11].

2.5.2. Validation

Validation experiments are performed to control possible sources of error and reduce uncertainty; these experiments are used, for instance, to measure the height of a person or the speed of a vehicle from CCTV images [10,11]. Such images are recorded from fixed perspectives. At the scene, reference images of known persons are collected, which are used for validation by aligning the image in question with the reference. This type of experiment is problematic when the perspective is not fixed (i.e., when images are collected by hand-held cameras or mobile phones).

Another possibility is to conduct a re-enactment on a reconstituted scene with the relevant objects, material traces and potential perspectives. Scenarios are explored in a real or virtual 3D environment to create a demonstration.

2.5.3. Evidence

When the information has reached a certain level of confidence, investigation shifts towards legal issues. At this point, propositions tend to crystallise, and clues are selected for evidence and evaluated accordingly.

The reconstructed sequences provide either direct, demonstrative evidence or indirect, secondary and circumstantial evidence. For instance, the video of a shot is direct evidence of the shooting location

and time. Circumstantial evidence is used to infer the occurrence of an event from a combination of clues about space, time, persons and objects. Spatiotemporal information may become evidence of causal relationships between actions. Information on the material and its source is used to recall witnesses for statements (or vice-versa) and to testify about the location and time images were recorded [12]. Finally, the court produces a decision based on the evidence and weighs the value of the evidence presented.

The evaluation output is more formal. Written reports are typically required by legal authorities. Visual communication also composes the output. Sketches, illustrations or any visual content that facilitate communication are appropriate. Recommendations and images may also be submitted for further analyses. For questions about the source, clues based on persons are used to describe, compare and identify the protagonists. The visual appearance may provide useful information about individuals (e.g., victims, witnesses or perpetrators); the same applies to objects. Evaluating characteristics may require specific and extensive knowledge, which may even lead to identification if the corresponding characteristics are sufficiently distinctive. It is important to distinguish between documented facts and reconstructions that are based on interpretation and inferences from the overall information.

3. Case study 1

The truth-seeking initiative of the Truth for Reconciliation Commission of Thailand (TRCT) focused on “*the violent events that took place in Thailand, especially during April and May, 2010*”.⁹ The degree of violence and unusual nature of the events presented several particularities that impacted the scientific investigation.

- The magnitude of the events: the events took place in multiple and large areas and involved many protagonists, witnesses, bystanders and casualties over short timeframes but during several weeks. Routine police work and forensic science activities are typically centred on sporadic and/or specified actions and are difficult to undertake in such complex situations. Therefore, unusual and extensive effort is necessary thereafter to reconstruct the sequence of events and their development.
- The transient nature of the event scenes: due to the number of people involved and on-going clashes between protesters and law enforcement, the scenes were not properly secured and protected to preserve physical traces. Typically, crime scene work is delayed until the situation is under control and security ensured; this delay limits the potential for gathering documentation and physical evidence due to natural or provoked degradation, disappearance and replacement (contamination and pollution).

In such a context, images are often the only remnants or traces that can be used as reliable witnesses to reconstruct the events; the images showed different states of the scenes before the situation stabilised; they were numerous and included a high potential for informing the reconstruction process. Exploiting this source of information required analysing large quantities of material (thousands of still images and hundreds of videos). The methodology was applied to reconstruct two specific events; one event is used in this paper to illustrate the results of several steps.

First, a general question was deconstructed into a succession of more specific ones:

- Who started the violent clashes?
Additional issues include persons (who), time or chronology (start), actions (clashes) and socio-cultural sensitivity (violent). As a certain level of ambiguity is apparent in events considered as “violent clashes”, the analysis deliberately focused on specific undisputed events that were considered the most violent (for example, explosions or shootings). Taking shootings as an example, parts of the answers to the following questions could be provided.
- Which groups of people were involved in the shootings?
 - Who were the persons being shot?
 - Who were the shooters?
- When did the shootings occur (chronology)?

The reconstruction of the sole action of shooting led to underlying questions.

- Where was the person shot?
- Where were potential shooters?
- What type of weapon was used?

The image analysis was divided into the following priorities with the stakeholders.

- Determine who was involved in shooting incidents.
 - Recognise groups of people and individuals.
- Reconstruct the chronology of the event to determine when the different shooting incidents occurred and which incident was first.
- Reconstruct the spatial configuration of the scene and determine the positions of persons involved in shooting incidents.
- Recognise the types of weapons.
- Add any new element that is relevant to the investigation.

New material was detected when cameras filming or photographing the event were recognised from images. The image in Fig. 2 shows another camera operating. This material and the person holding the additional camera were searched to collect and retrieve the recorded images. The images were higher quality and offered a closer view of a particular area, providing a decisive clue for reconstructing the course of events.

For classification, profiles were constructed for groups of persons using the following keywords: *Soldiers, Protesters, Journalists, Rescuers, Injured* and *Deceased*. The latter two keywords were also qualifiers (adjectives). Among the objects, vehicles were separated in three classes: *Medical, Civilian* and *Military*. Weapons were classified as *Shield*

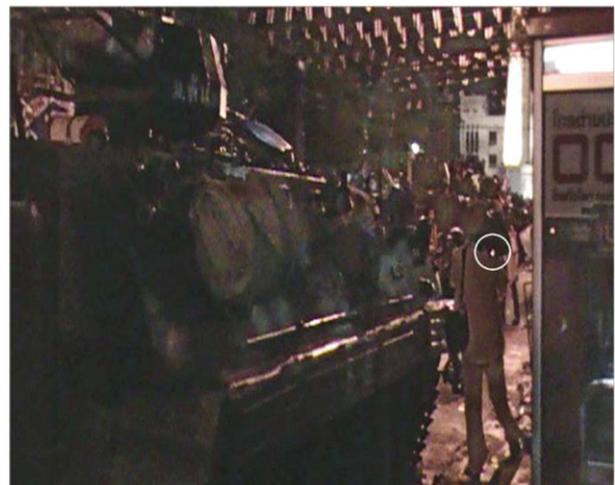


Fig. 2. An example of detecting new material; a person holds a camera that is recording (The white circle indicates light visible at the back of the camera).

⁹ Regulation of the Office of the Prime Minister on the Truth for National Reconciliation B.E. 2553 (2010).

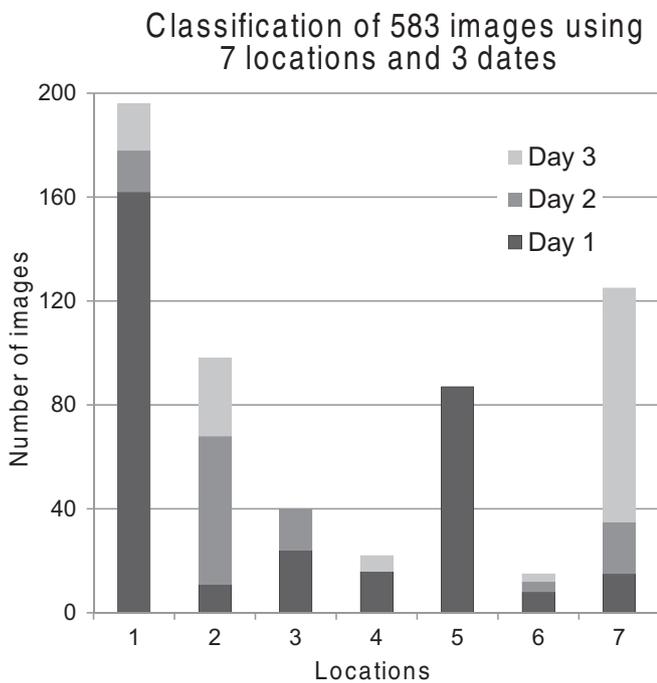


Fig. 3. Quantity of images per location and date as a result of the classification of 583 images according to 7 locations and 3 dates.

and baton, Teargas, Shotguns, Rifles, Explosives and Ammunitions. The locations were mainly divided into streets, places and bridges. Further criteria were added later to further divide a street into areas (South and North). The timeframes were described using dates and observable natural lighting conditions (daytime, twilight and night-time) because a turning point in violence escalation occurred after dusk. Among the activities, Casualties, Rescue and Shooting were used as keywords.

Fig. 3 shows the distribution of images according to 7 locations and 3 dates; the event occurred on day 1. Each subset of images corresponds to a specific location and date and has a certain quantity of images. The images from day 1 provided direct information on the event. The images from days 2 and 3 provided information on the consequences of this event (configuration of the scene, damages, etc.).

Regarding the assessment of the informative potential, an image depicting someone holding a rifle at a particular location leads to the following proposition: someone is holding a rifle in this area (locality) at this moment (time indication). The deduction orients the observer to search for other images that may document the presence of this person holding a rifle (in time and space). For instance, if another image apparently depicts the same person at another location, then the first proposition is refined as follows: the same person is holding a rifle at both locations. Temporal clues could provide further information on the sequence: either the person appears first on the first image or on the second image. Image selection is intimately related to the reconstruction step, the material is frequently reviewed and revised in light of new information to extract and integrate new elements.

A video showing people shooting or being shot provides direct clues. Images that show people aiming firearms or someone injured lying down would yield indirect or circumstantial clues regarding the shooting incident.

Maps, satellite, aerial or street images¹⁰, cadastral plans, crime scene sketches and photographs of the scenes were used as reference data. Additional documentation was collected for specific areas to obtain more detail and cover a larger area with the entry and exit paths. The

time interval between the events and surveys affected the reconstruction process (1 to 2 years in this case). These areas were surveyed using photogrammetry. Close-range photogrammetry was advantageous because it provided visual information on the scene at different angles and under different lighting conditions. Perspectives and conditions similar to the witness images facilitated interpretation of their content. Because the technique relies on geometry, observation and interpretation of the photographs, it was appropriate to properly “decode” witness images.

Enhancement techniques, multi-image photogrammetry and 3D modelling were used for spatial recombination. Images were either introduced in a photogrammetric project or directly used to estimate positions. The visibility of recognisable fixed elements, such as street markings and building features was enhanced to facilitate their use as common landmarks between survey images (e.g., Fig. 4) and witness images that depict dynamic elements, such as the person being shot (Fig. 5). Because the image was poor quality, visibility of the fixed elements was ambiguous. Propositions were generated to recognise background building features. When the features were inaccurately identified, their measured position uncertainty increased. These augmentations were used to refine the proposition; the features were changed until their positions became coherent using surveyed images and the images in question.

Schematic and flexible representations were used to communicate findings during the investigation. The plan shows the layout for the buildings, crossroads, vehicles, viewpoint, explosions and injured N°1 (Fig. 6); the 3D model illustrates the configuration of the street with the buildings, vehicles and phone booths around the injured N°1 position (Fig. 7). The 3D perspective complements the plan with regard to visibility, shielding and potential shooting trajectory. The snapshot in Fig. 5 was used to measure the injured N°1 position because this person was shot at this specific moment. The surrounding objects shielded the injured person and limited the potential shooting trajectories. For instance, potential shooters (white circle 2 in Fig. 7) have a line of sight with relative to the injured position, and the distance is within the range¹¹ of the firearms observed. The hypothesis of a relationship between these observations required the examination of the temporal clues.

For the time anchorage, a long CCTV video was used as a baseline to begin reconstruction and as a reference. Several videos were synchronised using corresponding sequences composed of flashlights, fires and sounds, such as gunshots or explosions. Fig. 8 shows a synchronisation point between two videos. The sudden light change from a flash is shown simultaneously on both videos.

The assumption that both videos were recorded at the same time was confirmed by additional observations before and after this moment. The combination of several videos and photographs on the same timeline is illustrated in Fig. 9. Videos 2 and 3 from series I and II were synchronised.¹² Indirect clues were used to place additional videos before (video 1), between (videos 3) or after each other (video 5 or photos series). Absolute clues were used to directly connect videos 2 and 4 (A lines on Fig. 9) to the reference CCTV time. Up to 5 simultaneous recordings describe the event from different perspectives.

Regarding action dynamics, the shooting incident was first examined. A video documents the persons moving around, the impact and its immediate consequences, which comprise the person's wounds and reactions by people in the vicinity. The action was continuously observed through a sequence of images, which describe successive positions on the road, the person's postures and body part motions and interactions with a flag the person held. Fig. 10 shows the combined luminous signal from the sequence of images that describe the action.

As explained above, the relative position of potential shooters to the person injured indicated a possible causal relation that was examined

¹⁰ For example, Google Maps (<http://maps.google.com/>) with satellite and street images (Google Earth/Street View).

¹¹ Under the assumption that no ricochet occurred.

¹² Editing and montage operations were initially performed to obtain continuous videos.



Fig. 4. Enhanced survey photograph of the street collected almost two years after the event; street markings (crossroad and white lines) and buildings are visible in the background.



Fig. 5. An enhanced image provides a clue about the position of a person before he is shot (near the right border of the image, injured N°1 in Fig. 6); the visibility for the crossroad and buildings is ambiguous.

by considering the temporal clues of the respective images. A small time interval is expected between a firearm discharge, the projectile impacting the target and a clear reaction by this target. An indirect clue between both images clarified the relationship. The imputability hypothesis was discarded because both actions were positioned at different moments.

Regarding combination with other sources of information, clues from autopsies provided information on the wounds and their possible causes. Firearms and ballistics specialists provided clues to recognise the types of weapons and ammunitions used as well as to reconstruct the trajectories. Witness accounts were considered with the findings and integrated as new propositions (e.g., the possible origins of the shot, a particular weapon, the presence of persons, spatial and temporal relationships). Such relevant information exchanges facilitated significant progress in the investigation.

4. Case study 2

The first case began with discovery of a body on the side of a small road during the morning. Four surveillance cameras from distant viewpoints recorded the activities of the vehicles and persons on the road

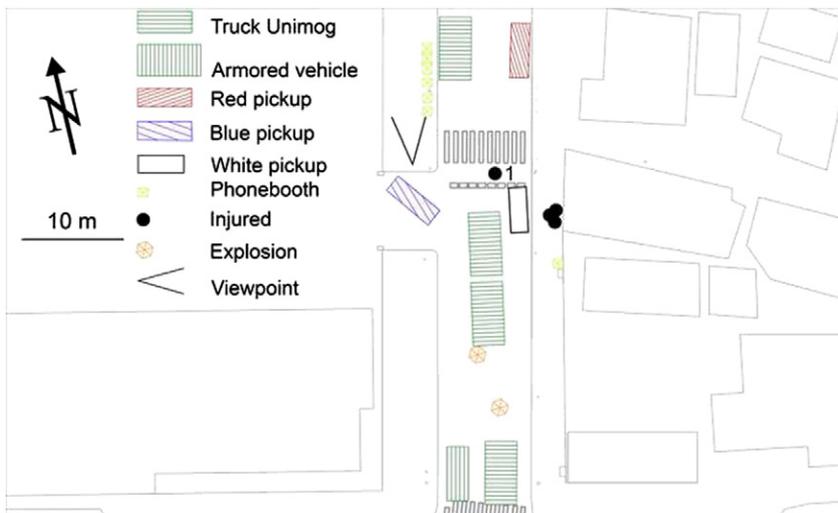


Fig. 6. Schematic 2D representation with buildings, crossroads, vehicles and various dynamic elements (the viewpoint of the CCTV image in Fig. 8, the positions of explosions and injured N°1, depicted in Fig. 5).

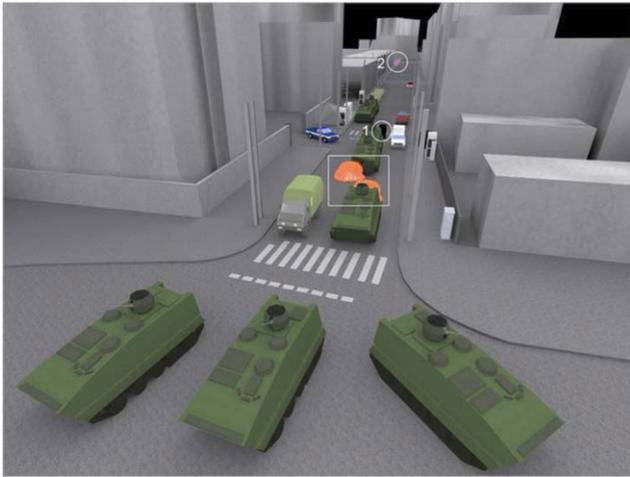


Fig. 7. Perspective of a schematic 3D representation of the event; this perspective illustrates the spatial configuration of the scene with fixed, static and dynamic elements; the positions of the explosions (square), injured N°1 (circle 1) and potential shooters (circle 2) are indicated.

during the night. The lighting was very weak, and the images were poor quality. The analysis aimed to increase the image quality and reconstruct the course of events from different perspectives. The second case involved a shooting after a dispute between two groups of people; several shots were fired from either or both groups. One person died, and two others were injured. A witness recorded three images of the protagonists using a mobile phone. The main issue was to determine the posture of one of the protagonists. Two propositions about the posture were formulated based on the legal question in dispute (i.e., whether one of the shooters was in a defensive posture). The second case is used to illustrate the results, with emphasis on the evaluation.

This example describes an evaluation of the knowledge base using two propositions related to the shooting incident that occurred in Switzerland. For the image in question, a man wearing a white t-shirt is masking another man, who is the individual of interest (Fig. 11). The inferior portions of his legs and one of his hands are visible. The question arose as to whether his left or his right hand was visible. This question led to an additional question. Is the individual facing the camera or not (if not, only his back would be visible)? This image assessment indicated a need to obtain the witness' mobile phone and the garments of the individual of interest. The camera was used to reduce the uncertainty associated with spatial reconstruction and perform validation experiments. An examination of the garments highlighted features from the t-shirt, shorts and shoes worn during the shooting. A validation experiment was performed to assess whether these features correspond to the observations from the image in question.

The experimental construction was based on the image's viewpoint and the protagonists' positions in the reconstruction. A person with similar corpulence as the individual of interest assumed the postures that corresponded to the hypotheses. Images were recorded with the witness' mobile phone when the person was facing the camera or away from it. The image in question was compared with the features of both postures (Fig. 11). The proposition that corresponds to the individual with his back towards the camera was excluded. As the individual is facing the camera, only his left hand is apparent, similar to the image in question. The potential for observing the right hand when the person was facing the camera was assessed during the validation experiments; simulations with a 3D body model also confirmed that the right hand could not be observed as it appears in the image in question, even with the greatest body contortions possible.

5. Discussion

General considerations about the methodology, and the contexts of the case studies, precede remarks about individual steps. Further validation is discussed at the end.



Fig. 8. Image showing synchronisation of two videos, the left video is a CCTV video (reference); the right image is from the same video as in Fig. 5 (note the light change); the flash from a third camera was used as a synchronisation point between both videos.

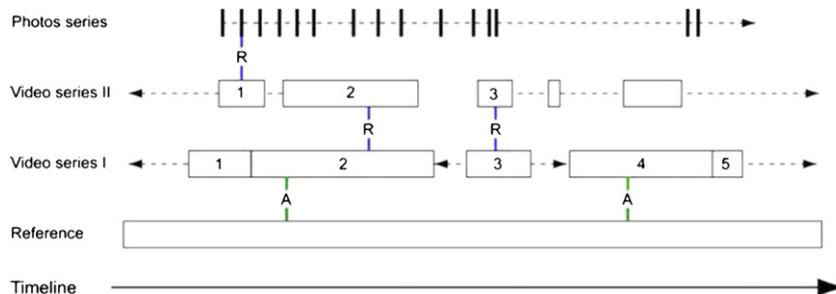


Fig. 9. A combination of the video I and II series (1, 2, 3, 4 and 5) and a series of photographs with a CCTV video (reference), which provided absolute temporal clues (A lines for Videos 2 and 4); the R lines indicate direct relative clues; the dotted lines indicate indirect clues before (Video 1), between (videos 3) and after the (video 5) synchronisation points.



Fig. 10. Detailed examination of an action illustrated by a combination of the luminous signals from a sequence of images based on a video; the person walks upright from position A to B (injured N°1 in Fig. 6), turns the head slightly before being shot in the head, and falls to the ground in position C.

The methodology complements existing guidelines that cover the production of admissible evidence by an agency or institution as well as procedures that describe specific tasks or the use of techniques. For instance the Scientific Working Group on Imaging Technology provides documents that cover general aspects like evidence management, quality, security, training, etc. [13]. Other tasks like image authenticity and integrity or the expression of evidential value are already covered in the literature [1].

Our methodology anchors the field of image analysis to fundamental forensic science concepts. Images, sound and metadata are considered as traces and used as such to uncover facts about past events. Measuring space and time allows to explore the circumstances more efficiently and to limit the possible working propositions. The provision of facts improves the comprehension and allows getting closer to the reality of the event using the available perspectives. Information from trace images (2D) is integrated in space (3D) and time (4D). The chain of events becomes clearer. Witness statements, perspectives and other information are contextualised. Their significance increases the understanding of causal relationships between activities.

The proposed methodology provides a sound basis for using images to document and reconstruct an event during an investigation. Applying this methodology to different contexts and case studies increases its scope and validity. Formalisation is counterbalanced by the flexibility of the cyclic process. The methodology is based on real-world research

with a strong anchorage in practical situations and solutions, which is demonstrated by the cases used as examples from Swiss magistrates.

In the cases related to truth-seeking in Thailand, this methodology was demonstrated as particularly appropriate for addressing images of large-scale events with high levels of complexity. Data and information from high quantities of material were efficiently structured and combined.

Considering the potential demands, it has been shown that the objectives must be defined, the analysis must be oriented to the case as well as its context, and the available information sources must be pre-assessed at the beginning of the investigation. The approach is directed by the specificities of each case. Time constraints in the operation may also influence the way that traces are detected and collected. Processing crime scenes to detect and retrieve all types of digital traces can be either comprehensive in investigative or legal settings or more selective in alternative contexts, such as battlefields, which demand quick operational intelligence [14]. As for crime scenes, exhaustive and selective processing should be balanced considering the necessary timeframe for the response.

Classification should remain flexible for adding new categories and instances, but it should also be systematic. A systematic description is valuable, even when only a limited number of images are analysed because it provides a coherent system for observations and communication.



Fig. 11. Left: Image in question for the individual of interest, who is concealed by the person wearing a white t-shirt; centre: image of a person mimicking the posture and wearing the clothing of the individual of interest with the back of the body towards the camera; right: image of the person mimicking the posture with the body facing the camera. Zones A, B, C and D in these images were observed; A: round and bright area on a dark background, which matched the logo observed at the base of the inferior portion of the short, was observed on the left and right images but not at the centre; B and C: the border edge of the shoe is wider in the centre image than the other images; D: the light angle in the left image matched the print on the t-shirt, which is visible in the right image but not the centre image.

To classify the content, automatic techniques facilitate quick detection and identification of objects or persons in images. For example, template matching may accelerate a search for specific objects or persons in large sets or databases of images. Such techniques are promising for generating an objective and approximate description but are only efficient under certain conditions [15]. The variability of real events and recording conditions is a recurring difficulty for automatic systems. Researchers also focus on tracking vehicles or persons in videos [16,17]. Regarding actions, Aggarwal and Ryoo [18] published a comprehensive review on automatic analyses of human activities. Although automatic techniques have many applications, much research is required to overcome the challenges posed by real-life situations with uncontrolled conditions and environments.

In this paper, we especially emphasised the use of clues about space, time and actions for event reconstruction. Information about persons and objects has not been thoroughly developed from the perspective of addressing source issues. However, classification is used to generate subsets of images that can be used for comparing (and potentially identifying) objects or persons. Certain authors recommend that “*Identification scientists*”, who are interested in *who* and *what*, not *how*, should have as little information¹³ as possible to avoid bias, in contrast to “*generalist–reconstructionists*”, who are concerned with *how* as well as *why* and should have access to anything related to the crime scene and physical evidence [19].

The hypothetico-deductive framework guides the generation and examination of propositions. Although it seems theoretical and time-consuming, it is a reflexive, critical and transparent means of considering alternatives throughout the analysis.

The methodology should be further validated by studying the reconstruction process followed by practitioners. Indeed, the present article proposes a methodology from limited experiences and perspectives. Peers' experiences in different cases would complement the methodology as well as extend its scope and practical anchorage.

6. Conclusion

This paper offers an original description of a methodology to reconstruct an event from images as traces throughout an investigation. The methodology uses images as clues and provides guidelines to formalise the analysis process. This contribution should enrich scientific exchange with other disciplines that rely on the extraction of information from images and initiate reactions from the forensic science community. Considering images as traces or remnants of the past extends their use as information in the investigation and crime reconstruction process. Our solution integrates images into a coherent system to extract and combine their information in a structured way. The added value gives an insight into the limits of interpreting images without integrating them into a system. The methodology includes a *preliminary analysis* and four main steps: collation, organisation, reconstruction and evaluation. Each step is characterised by specific reasoning schemes that lead to a meaning; the illustrations explicitly demonstrate data extraction and combination from images. Globally, the methodology progresses from general to specific propositions. More clues are continuously integrated into the reconstruction to advance from a gross to fine level of detail. Uncertainty is reduced until clues that can provide evidence for courts of law are discerned.

Successful application of the methodology to real cases provides practical solutions to real problems. The methodology provides a sound basis to extend the use of images, not only as evidence, but more generally as information in the investigation and crime reconstruction process. This formalisation effort provides a solid foundation for discussions and exchanges among peers.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Truth for Reconciliation Commission of Thailand (TRCT) and the Institute of Forensic Science of the University of Lausanne for the images presented in this article. Special thanks go to our colleagues at the Commission and at this institute, especially Isabelle Montani and Dr. Durdica Hazard for fruitful discussions and extensive support. The authors would like to thank the Swiss Federal Department of Foreign Affairs (FDFA) for supporting deployment of four Swiss forensic science experts alongside TRCT. A special thanks go to Dr. Beatrice Schiffer, who was the first forensic scientist mandated by the FDFA to work with the TRCT. She encouraged both the TRCT and FDFA to apply to further forensic science experts, among them is the main author, which allowed us to work in a unique environment and gather material for this research.

References

- [1] Q. Milliet, O. Delémont, P. Margot, A forensic science perspective on the role of images in crime investigation and reconstruction, *Sci. Justice* 54 (2014) 470–480.
- [2] G. Rose, *Visual Methodologies: An Introduction to Researching with Visual Materials*, 3rd ed. SAGE, Los Angeles, 2012.
- [3] Truth for Reconciliation Commission of Thailand, Third interim report (July 2011 – March 2012), *Progress Reports*, 2012, pp. 1–25.
- [4] Truth for Reconciliation Commission of Thailand, Final report July 2010 – July 2012, Final Report, 2012, pp. 1–378 (Bangkok).
- [5] R. Cook, I.W. Evett, G. Jackson, P.J. Jones, J.A. Lambert, A model for case assessment and interpretation, *Sci. Justice J. Forensic Sci. Soc.* 38 (1998) 151–156.
- [6] P. Pottier, B. Planchon, Les activités mentales au cours du raisonnement médical diagnostique, *Rev. Med. Interne* 32 (2011) 383–390.
- [7] C.G.G. Aitken, F. Taroni, *Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Chichester, 2005.
- [8] I.W. Evett, Avoiding the transposed conditional, *Sci. Justice* 35 (1995) 127–131.
- [9] J.-C. Martin, O. Delémont, P. Esseiva, A. Jacquat, *Investigation de scène de crime: Fixation de l'état des lieux et traitement des traces d'objets*, 3ème ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2010.
- [10] B. Hoogeboom, I. Alberink, Measurement uncertainty when estimating the velocity of an allegedly speeding vehicle from images, *J. Forensic Sci.* 55 (2010) 1347–1351.
- [11] L. Lanzi, D. Correvo, E. Sapin, J. De Priester, Etude de cas: Évaluation de la vitesse d'un véhicule enregistré par une caméra de surveillance, *RICPTS LIX* (2006) 233–238.
- [12] C. Delage, *La vérité par l'image: De Nuremberg au procès Milosevic*, Denoël, Paris, 2006.
- [13] Scientific Working Group on Imaging Technology, Section 12: best practices for forensic image analysis, version 1.7, 2012.06.07, SWGIT Guidelines for the Forensic Imaging Practitioner, 2012, p. 16.
- [14] S. Pearson, R. Watson, Introduction: using the digital triage forensics model to collect and process cell phones and SIM cards, *Digital Triage Forensics*, Syngress, Boston, 2010, pp. ix–xi.
- [15] M.S. Sarfraz, A. Shahzad, M.A. Elahi, M. Fraz, I. Zafar, E.A. Edirisinghe, Real-time automatic license plate recognition for CCTV forensic applications, *J. Real-Time Image Proc.* (2011) 1–11.
- [16] G. Edelman, J. Bijnhold, Tracking people and cars using 3D modeling and CCTV, *Forensic Sci. Int.* 202 (2010) 26–35.
- [17] N. Krahnstoever, Automated detection and prevention of disorderly and criminal activities, *Research Report Digest*, National Institute of Justice, 2012. 122.
- [18] J.K. Aggarwal, M.S. Ryoo, Human activity analysis: a review, *ACM Comput. Surv.* 43 (2011) 1–43.
- [19] W.J. Chisum, B.E. Turvey, *Crime Reconstruction*, Academic Press, Burlington, 2007.

¹³ The authors mention the evidence in question, its history, the circumstances of its collection and evidence to which the evidence in question is compared.



Contents lists available at ScienceDirect

Forensic Science International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/forsciint

An innovative and shared methodology for event reconstruction using images in forensic science



Quentin Milliet*, Manon Jendly, Olivier Delémont

Institut de Police Scientifique, Ecole des Sciences Criminelles, University of Lausanne, Batochime, CH-1015 Lausanne, Switzerland

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 December 2014

Received in revised form 13 July 2015

Accepted 15 July 2015

Available online 23 July 2015

Keywords:

Grounded theory

Photographs

Video recordings

Guidelines

Standard operating procedures

Quality assurance

ABSTRACT

This study presents an innovative methodology for forensic science image analysis for event reconstruction. The methodology is based on experiences from real cases. It provides real added value to technical guidelines such as standard operating procedures (SOPs) and enriches the community of practices at stake in this field. This bottom-up solution outlines the many facets of analysis and the complexity of the decision-making process. Additionally, the methodology provides a backbone for articulating more detailed and technical procedures and SOPs. It emerged from a grounded theory approach; data from individual and collective interviews with eight Swiss and nine European forensic image analysis experts were collected and interpreted in a continuous, circular and reflexive manner. Throughout the process of conducting interviews and panel discussions, similarities and discrepancies were discussed in detail to provide a comprehensive picture of practices and points of view and to ultimately formalise shared know-how. Our contribution sheds light on the complexity of the choices, actions and interactions along the path of data collection and analysis, enhancing both the researchers' and participants' reflexivity.

© 2015 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Currently, photographs and videos are omnipresent. A device for recording images is available in everyone's pocket. The resolution of compact and mobile phone cameras continues to increase. Moreover, surveillance cameras are installed by public authorities and private companies in nearly every sensitive area (public places and transportation, banks, commercial areas, etc.). All of these witness images, recorded from fixed or mobile viewpoints, contribute to generating more visual traces of critical events and all types of criminal activities [1]. Common practice in police inquiry, largely relayed by the media, recognises the crucial contribution of such images to investigations for reconstructing past events and searching for suspects, as illustrated by the investigation following the Boston Marathon bombing. The analysis of trace images of this event was very quickly conducted with the public's help after the FBI published images of the suspects¹. The public noted many possible individuals and

scenarios on the web. Because of the severity of the case and the celerity of the response required, the primary focus was on the outcome rather than the process. This example outlines that practical approaches based on the use of images exist, although they have not been deeply studied and formalised to describe how to integrate trace images from surveillance systems, witnesses or bystanders in the early stages of an investigation.

In contrast, the scientific community is increasingly concerned about the formalisation of workflows and good practices. This is part of the process of knowledge and understanding. It may even be pushed to the frontiers of the setup of standard operating procedures (SOPs) and routine protocols, which appear to be the trend in various fields of forensic science to achieve quality assurance [2,3]. Standard methods, personnel certifications and laboratory accreditation are the three pillars of quality assurance programmes [4]. Agency policies and protocols, standard operating procedures and technical manuals are being sparsely developed, notably as part of standardisation efforts, but there is still a lack of consensus on a global method. Although the guidelines precisely aim at providing a more formalised methodological frame, their effectiveness is more often than not hindered by their limited adaptability to the large scope of applications encountered by practitioners. The users of guidelines are not always involved or consulted in their conception, even though they are directly affected by their application.

* Corresponding author. Tel.: +41 0 21 692 46 26; fax: +41 0 21 692 46 05.
E-mail address: quentin.milliet@unil.ch (Q. Milliet).

¹ <http://www.fbi.gov/news/updates-on-investigation-into-multiple-explosions-in-boston>.

The forensic science literature about image analysis covers the application of techniques in depth but still lacks studies on the methodology that supports human decisions to use the appropriate tools in real-life situations [1]. In the authors' view, involving practitioners in designing a consensus from practical methodologies is of prime importance for taking into account the human dimension in the proper use of techniques. Indeed, this "proper use" is guided by rational choices and past experiences in a problem-solving framework that has not yet been formalised.

Starting from the hypothesis that sparse but highly relevant approaches have been developed and adapted by practitioners in accordance with the problems they face in their practice, we suggest formalising the foundation of consensus methodology, a bottom-up perspective. This article thus proposes to construct an innovative methodology drawn from practitioners' views and experiences in the field of image analysis in forensic science. This methodology is drawn from a research strategy based on concepts and ideas borrowed from grounded theory [5–8]. Interviews and focus group discussions were conducted to involve practitioners in the emergence, convergence and refinement of a systematic image analysis and event reconstruction methodology. Our objective was to determine how practitioners actually proceed, following the hypothesis that the most suitable methodology should emerge from a range of real-world experiences and empiricism. The results demonstrate the existence of underlying workflows among practitioners. These workflows led to the co-construction of a methodology, defined as five different steps that guide a practical approach to cases in forensic image analysis. This study provides evidence that practitioners who are involved in image analysis activities can make innovative and valuable contributions to understanding and formalising the way to use witness images for investigative and legal purposes and thus contributes to constructing the knowledge framework that encompasses their activities.

2. Research strategy

Our research strategy was inspired by the grounded theory (GT) approach, which is a qualitative approach to collecting and analysing data in a systematic, continuous and reflexive way [8–10]. GT allows for full benefit to be derived from the richness of practical experiences with real cases [11]. In contrast with laboratory experiments, it focuses on practices in natural settings and unpredictable situations, from which a bottom-up elaboration of solutions is enhanced. In this prospect, we used two distinct research tools to acquire practitioners' experiences and points of view: interviews and a focus group.

2.1. Data collection

2.1.1. Interviews

We chose to interview the main forensic image analysis practitioners in Switzerland, who were working in law enforcement agencies, police institutions or universities, with the aim of better understanding their "field" work, practices and experiences in forensic imaging. Semi-structured interviews were used for discovery and in-depth analysis. We interviewed 8 Swiss forensic practitioners, 7 men and 1 woman, with 33, 30, 27, 15, 10, 9, 8 and 6 years of experience, respectively, in image analysis and event reconstruction. We conducted our one-on-one interviews in a confidential and multi-language (French, German and English) setting between November 2012 and March 2013. We recorded each interview, the duration of which was approximately 2 h. Because of the differences in the language and jargon, an analogic transcription that centred on the content was performed for each interview. Every interview followed a common and structured protocol [12] that explored three main dimensions: (1) the context

of the interviewee's work, (2) his/her professional experience and (3) the (non-)existence of a formalised work methodology and the way(s) he/she reconstructed events from images in a particular case. Regarding the third dimension in particular, we asked each interviewee to choose a case from which the workflow could be co-constructed. In doing so, progressively, each interviewee was accompanied in his/her description and formalisation of his/her workflow. Concretely, a drawing representation of each workflow was elaborated with continuous validation by the interviewee. This phase stimulated the interviewees to reflect on their approaches and their conceptualisations. At the end, the participant could review and change the diagram until he/she felt the representation was accurate. Once the workflow diagram was complete, its applicability to other cases was discussed. The way(s) other cases were processed by the practitioner allowed the solution to be put into a wider perspective of application. The workflow was redrawn or refined to depict the practitioner's work in the cases discussed.

Every evolution or new diagram that was iteratively obtained was compared with the previous ones to understand how new experiences could be integrated. The methodology was continuously readjusted interview after interview by looking for similarities and differences between them. The analysis noted recurrences, inconsistencies and particularities in the content and structure of the different workflows collected. An experienced researcher in qualitative methods independently carried out a second analysis. Both points of view were compared to obtain intersubjective results. The intermediate diagram was shaped by the participants' views and was systematically generated during the collaborative construction of the diagrams during the interviews.

A general pattern was redundantly observed among the interviews. The wording still varied, but the intermediate diagram did not evolve greatly after six interviews. It appeared that additional interviews with Swiss practitioners would not provide new insights into the methodology. That is, saturation was reached, and the sampling was adapted accordingly [13]. At this point, sampling was purposively extended to complement the findings and to further explore the processes followed by practitioners who are active in forensic image analysis but working in other countries. Thus, the time had come to hold up the intermediate diagram to the scrutiny of other practitioners in focus group discussions.

2.1.2. The focus group

We opted for focus group discussions to expose and confront the intermediate diagram that was generated from the interviews to the perspective of other practitioners from other countries in Europe. The purpose was to include points of view and experiences from different contexts (judicial systems, institutions) and cases into a refined methodology. The discussion was carried out to better assess the accuracy of the empirical interpretations and the consistency of the methodology that had emerged thus far. This subsequent phase of data collection and analysis was conducted in October 2013 with members of the Digital Imaging Working Group (DIWG) of the European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI). The target group comprised 8 men and 1 woman who were from 9 different European countries and were experienced in image analysis (between 10 and 30 years of experience).

The main findings from the interviews, depicted in the intermediate diagram in Fig. 2, and the purpose of the discussions were first presented to initiate the focus group. This was performed in English with the practitioners who agreed to participate in our research confidentially. The procedure started with an individual reflection by each group participant, focusing on (1) the similarities and differences with his/her own workflows, (2) the changes he/she would make to translate it into his/her own practice, (3) the influence of the context and cases, and (4) any other comments

he/she had. We went around the table to seek and record the different views on these issues. Recurrent considerations among the presentations were outlined and discussed further within the group to reach a consensus and to refine the emergent methodology. The whole discussion took one hour and a half or so and yielded a final diagram of the methodology that was enriched by all participants' views. The interviewees were also given the opportunity to comment on the final diagram via e-mail by the end of October 2013.

2.2. Data analysis

Inherent to our grounded approach, data collection and analysis were carried out simultaneously [14]. Fig. 1 illustrates the continuous collection and interpretation of the data. From an analytical point of view, the co-construction of our image analysis and event reconstruction methodology grew through *ongoing analysis*. This also allowed for systematically identifying and linking emergent meaningful categories to discover concepts and elaborate hypotheses regarding what certain gestures, discourses and symbolic exchanges meant to individuals and groups in the field [11]. From the interviews, an intermediate diagram emerged that was continuously challenged with new findings when more data were collected through interviews and the focus group. Similarities and differences were integrated to perfect the diagram within a coherent framework. This constant comparison led to the formulation of a preliminary methodology of event reconstruction from images, grounded both in the set of data itself and in the actions, interactions and processes from which these data arose. The intermediate diagram represents a convergent outcome of the interviews. Then, we challenged and refined this intermediate diagram in the focus group discussions, and repeatedly moved back and forth between empirical data and the methodology being co-constructed.

2.3. Beyond the limits

To limit inherent bias in this qualitative research, we valued both intersubjectivity and reflexivity throughout the process of data collection and analysis [15]. We enhanced intersubjectivity while assessing the points of view of the interviewees, both between themselves and between them and the researchers. Moreover, inter-coding reliability was attained by challenging the interpretations of multiple researchers. We enhanced reflexivity very carefully throughout the data collection and analysis,

especially because the main researcher is experienced in forensic image analysis. This point was given particular attention to increase the credibility of the results as a genuine representation of the practice studied.

The results are intimately linked to empirical data. Participants are cited verbatim to present the results in their context. The sample number is small and the results are not intended to remain applicable to every possible situation. Instead, the shared methodology may still progress towards peer-recognition as new situations and suitable solutions are developed in practice.

3. Results

3.1. Outcome of the interviews: Intermediate diagram

References to an average of 2 cases were mentioned by the interviewees (18 cases in total). These cases included acts of violence against persons (including shootings), thefts, accidents, traffic accidents, plane crashes and fire investigations. No formalised methodology was straightforwardly and explicitly mentioned, but every practitioner had developed a practical problem-solving approach based on empirical know-how. Their approaches had certain systematic processes and encompassed distinct steps. There was no explicit standardised framework, but common features and similar steps were highlighted among the participants. Globally, three main steps were redundantly observed:

1. *Evaluation of possibilities* (viewing images and assessing the feasibility, considering the problem and the request),
2. *Analysis* (processing images),
3. *Communication* (presenting the results).

Steps were either aggregated into a single step or described separately. The *selection of images* and *verification* of the results were also regularly mentioned but were less common than the three mentioned above. *Work on scene* was described as an optional step. After carefully exploring and analysing the interviews, we were able to extract a preliminary visual representation of forensic image analysis. We built an intermediate diagram as a synthesis of the interviews' contents, especially encompassing the views exposed by the diagrams created by each interviewee. All of these individual diagrams were linear, and four of them included iterations (or connections with previous steps). These iterations were discussed with the practitioners, but no clear and systematic

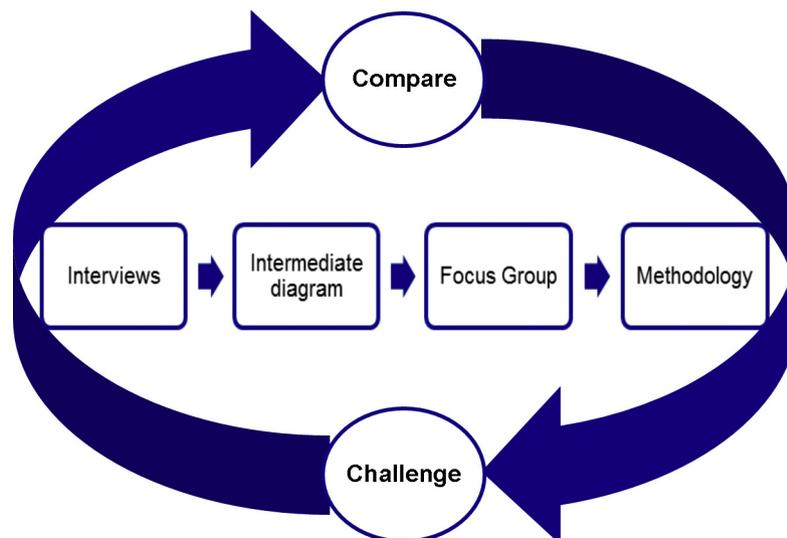


Fig. 1. Data collection and analysis overview.

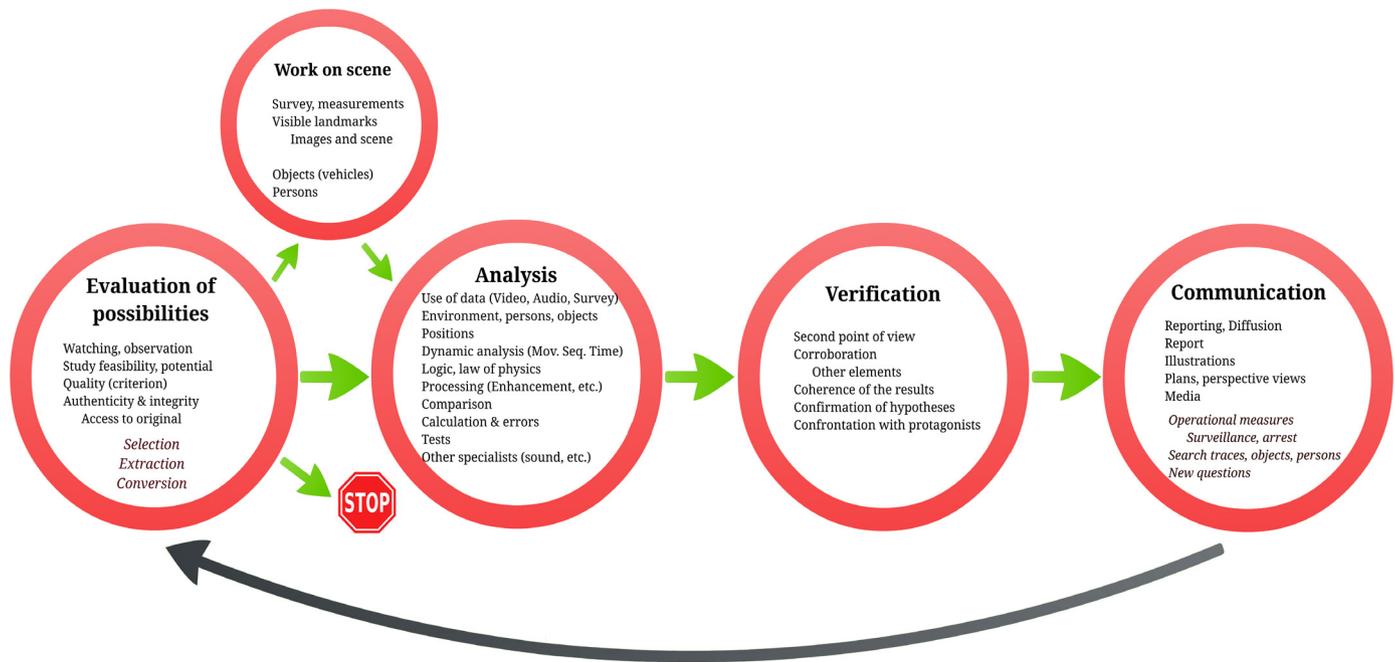


Fig. 2. Intermediate diagram of the methodology. The arrows indicate connections between the steps and options that are taken in different cases.

tendency was outlined. Therefore, an arrow running backwards was added to the diagram at this stage to stimulate further discussion on the issue of iterations. Fig. 2 presents the intermediate diagram of the methodology that emerged from the interviews and served for the subsequent initiation of the focus group discussion.

Interviews provided the first perspective on the meaning of a structured methodology and the key steps that practitioners identified when analysing their practice and know-how. The focus group enabled them to elaborate on similarities and differences to consolidate the methodology.

3.2. Outcomes of the focus group: Similarities and differences

Most of the participants agreed with the methodology described in the intermediate diagram, but refinements were implemented as the discussion unfolded around the main differences and the recurrent remarks. The modifications occurred on multiple levels: articulating the steps and delimiting the tasks and the terminology that described the tasks. Corroborated findings and exceptions are discussed before the refined methodology is presented.

The terminology for the first step was changed from *Evaluation of possibilities* to *Pre-analysis*. *Verification* was changed to *Validation*, then to *Assessment* and finally to *Evaluation*. For most of the participants, the meaning of the *verification* step designated the peer review of a written report.

Half of the interviewees included *work on scene* in *analysis* or as a separate step. This work encompassed acquiring images or a survey of the scene (and of relevant objects such as cars). The other participants did not include *work on scene* in their own approaches but rather in the duties of other persons. The proportions are rather indicative. But the results show that *work on scene* is always mentioned as a distinct step.

Communication occurs during every step of the process, as described by a participant² in the focus group:

“Communication is at most of the stages... That should be everywhere.” – Jules, image analyst.

² Each participant is designated by a fictional name and his function.

The last step was changed to *Reporting*. Once the final product is delivered, it cannot be further modified; thus, the arrow running backward from the intermediate diagram was removed. However, smaller arrows running back and forth were added between the *Evaluation* and *Analysis* steps (Fig. 3).

One interviewee provided a few examples of operational measures such as surveillance or arrest. Another added the search of material traces, objects or persons (Fig. 2). For the focus group participants, these aspects were the consequences of *reporting* and were thus perceived as outside the scope of the analyst’s work.

3.3. Shared methodology for event reconstruction from images

The final diagram in Fig. 3 represents our co-constructed methodology for analysing images for event reconstruction. It is divided into a sequence of 5 steps, defined as follows: *Pre-analysis* assesses the feasibility of the work; *Analysis* encompasses the work of different specialists and the use of many techniques; *Work on scene* is an alternative that may be chosen before or after *Analysis*; selection, extraction and conversion do not appear as separate steps but occur between the *Pre-analysis* and the *Analysis*; *Evaluation* consolidates the conclusions before *Reporting*.

Hereafter, a synthetic description of the content and meaning of every step with the main tasks is presented. Examples transcribed from the interviews and focus group discussions illustrate the main concepts and ideas. Afterwards, the interpretation of the results is discussed around three main axes. First, are the steps based on a systematic structure or implicit intuition? Then, what are the influences of individuals or institutions on the process? Finally, is the solution a case-by-case or a global model?

3.3.1. Pre-analysis

For a majority of participants, assessing the authenticity and integrity of images was either a preliminary check or the purpose of the analysis, as described by Jim, image analyst: “It might be the question at hand... that comes into the analysis part. However, for many other cases, it would probably go into the pre-assessment because you need to know what type of material you have to analyse.”

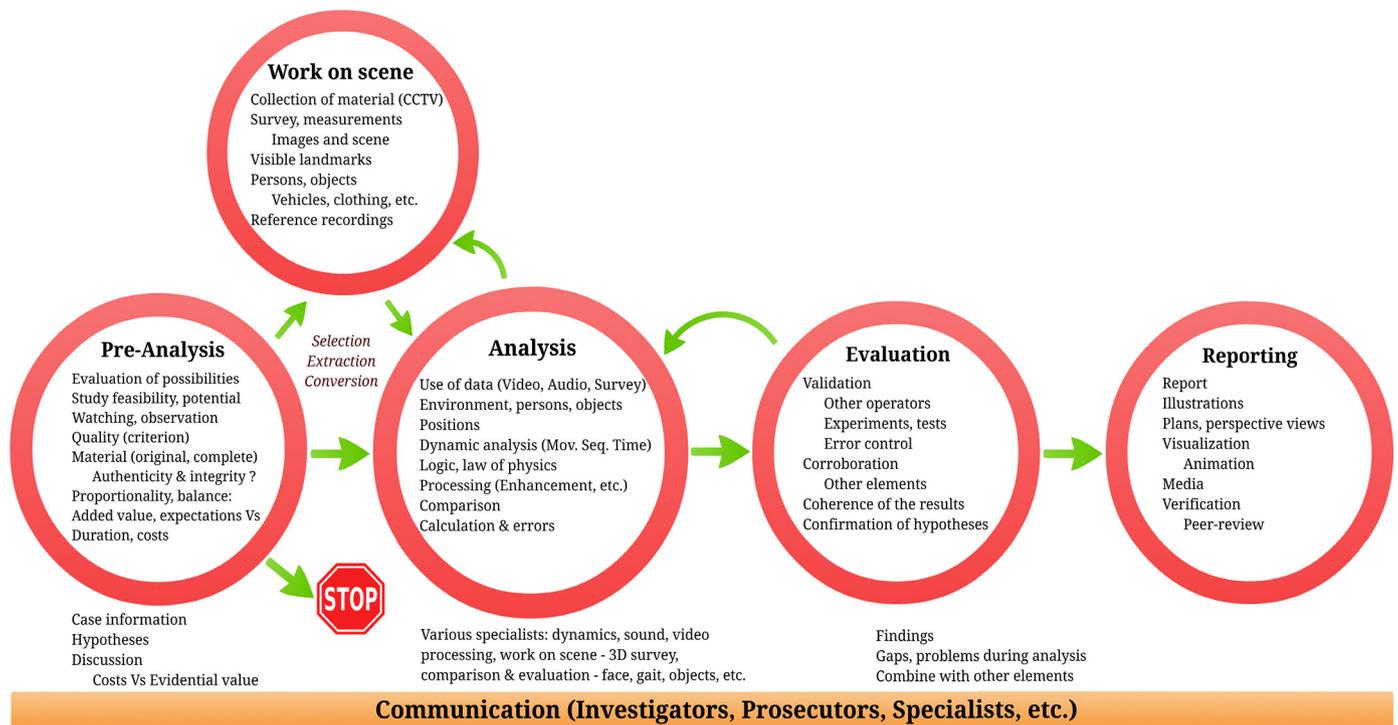


Fig. 3. Final diagram of the shared methodology including the main steps. The arrows indicate direct connections and alternatives in the sequence of steps, and iterations are represented by curved arrows pointing backwards.

The importance of communication in the study of the feasibility and potential of images was outlined by most participants. Informal discussions or written reports with the stakeholders (police investigators or magistrates) are used to balance the added evidential value with the costs and duration of the analysis. Money affects decisions with a nuance expressed by one of the panellists:

“A big thing for us is not so much the cost as the proportionality. How much has the investigating officer asked us for, and can we reduce that to make it more a manageable request?” – *Luc, image analyst.*

The case information and hypotheses were noted as critical aspects in the decision of whether to pursue an analysis. The utility of the analysis or investigative value was also dependent on the rest of the case and the value of other traces. Images may represent one source of information among other traces used to perform a global *pre-analysis*. The available information and hypotheses could evolve quickly, and bidirectional communication of the findings with the stakeholders was perceived as crucial in investigations.

3.3.2. Work on scene

Work on scene is performed to collate images related to the case, reference recordings about persons or objects such as vehicles or clothing or reference data collected during the survey of the scene (photographs, measurements, 3D scans, photogrammetry, etc.). Time is an issue, as outlined during the focus group discussion:

“I visit the crime scene as soon as possible. I visit the crime scenes very often to collect CCTVs, and other colleagues from my office... take photos from the crime scene... other colleagues from another lab... collect evidence from the scene. They are working under the standard ISO 17025.” – *Lucien, image analyst.*

Work on scene is presented as an alternative step depending on the institution's policy and the case needs. Visiting the scene is mentioned as a way to check hypotheses about the interactions

between light and matter or the recording conditions. *Work on scene* is systematically performed if measurements are required. From the perspective of investigators who are also working on crime scenes, *work on scene* might precede the preliminary analysis. Another participant referred to an autonomous procedure as “*the scene of crime officers... accredited versus 17020*” – *Jim, image analyst.*

3.3.3. Analysis

Processing operations such as extraction, conversion or enhancement are conducted in most cases. Selection, extraction and conversion were perceived as belonging to either the *pre-analysis* or the *analysis*. Viewable images may be sent to other stakeholders for analysis when only technical support is required. When they perform the analysis, the practitioners use all the data they have at hand. They first use metadata and visual information, then reference data gathered from the *work on scene* and, finally, the audio of some videos.

The segmentation of the environment, persons and objects visible in the images was recurrently observed. The focus was usually placed on specific persons or items such as cars or weapons; their positions are part of the observations. In the image sequences, positions informed observers of movements, sequences and the timing of actions over time. This dynamic analysis was used to describe, for instance, the behaviour of protagonists in assault cases. Logic and the laws of physics were used to analyse dynamics and the meaning of audiovisual observations.

Some practitioners described measuring positions to reconstruct accidents or shooting incidents, to determine the speed of vehicles, and to measure the height or gait of protagonists. These examples required *work on scene* to obtain reference data from the scene, objects or persons. Calculations and errors were always associated with measurements. The approximations of a person's height or the speed of a car may require repeating measurements at the scene (arrow back towards *work on scene*).

Comparison work was recurrently mentioned and seemed very closely connected to reconstruction. Indeed, many aspects of the

analysis implied recognising objects or persons amongst images. For instance, the dynamics of an assault involved recognising the protagonist. Comparisons between objects or persons were also part of performing correct measurements. A protagonist's height or gait may be used for comparative purposes. A primary focus was on event reconstruction, but the "comparison and evaluation of faces, gaits or objects" was also closely connected through communication. Moreover, information about the timing and location of activities helped in the collection of relevant images for comparison work.

Tasks such as dynamics, audio analysis³, video processing, 3D survey, and comparison and evaluation of faces, gaits or objects cover the activities of various specialists. Practitioners collaborate with other specialists; a recurrent recommendation was to provide as little information as necessary to the specialists who perform comparative image analyses. Practitioners generally agreed that information in this context may "limit the amount of work, but one of the concerns is that it may introduce bias" for comparison work. – Mike, image analyst.

New leads and findings should be communicated as quickly as possible because they may have an impact on the case.

3.3.4. Evaluation

Validation was described as a technical issue of assessing accuracy and precision. Some practitioners complemented regular experiments and tests (often performed beforehand) with a study of the operator's influence on the results. Corroboration encompassed looking for other supporting elements or considering a second opinion on the results. The coherence of the results was checked by looking for physical anomalies (irregular or unexpected audiovisual phenomena, external factors such as weather conditions, etc.). Corroboration and coherence were considered in evaluating hypotheses. Opinions involved statements based on the interpretation of results.

Before a report is prepared, communication with the stakeholders outlines gaps or problems related to the analysis. The combination of all available elements (EXIF information, observations, etc.) is checked carefully when additional analyses might still be performed (arrow backwards).

3.3.5. Reporting

Different specialists might produce separate reports. Statements with images and videos for the police are sometimes provided.

Participants acknowledged the power of images. Visualisations of fixed situations might be presented with animated cameras to change the point of view. Unanimously, persons or actions were not animated, except if they were observed for sequences of images. Animations might be produced on demand from parties or following instructions from witnesses. Proofreading the report is the final task (*verification*). *Reporting* should be adapted to the audience (police or magistrates). Jules, image analyst, mentioned that the results are not always useful: "We send it to the police, and then it goes to the trash can. We sometimes also produce useless evidence."

3.4. Systematic structure or implicit intuition

Pre-analysis, *analysis* and *reporting* were systematically always discussed. Other steps, more often than not considered as obvious, were more implicit (not named *per se* by the practitioners). The selection of images for *analysis* and the *evaluation* of the results are the soundest examples. Selection oscillated between the *pre-analysis* and the *analysis*. Image collection was mentioned twice as

a separate task. For most participants, collection was included in the *work on scene* or was carried out by other persons (police officers, investigators or IT specialists). The recovery of deleted files is another example of an implicit step; thus, it was only mentioned once. The implicit nature of a step or task does not mean whether or not it is carried out often; the sample number was too small to measure frequency of use.

Image selection and the *pre-analysis* appeared to be more intuitive. Follow-up questions uncovered quality criteria in half of the interviews. These criteria were used by practitioners to assess the feasibility of the analysis and to select images according to their quality. Lighting, distance, size, visibility, sharpness, details, definition and the number of elements of interest (environment, objects or persons) were described as quality criteria. The presence of damage or dirt on the media and of defects or artefacts was also assessed. The camera used and the recording conditions (meta-data) were mentioned. Optical aberrations such as distortions were also considered. In some cases, processing operations improved image quality (correcting distortions, increasing definition, enhancing details, etc.). A few practitioners systematically checked whether the images were authentic. The time and location were also considered in selecting and collecting relevant images.

In contrast, the third step was generally a diversified catalogue of structured tasks and operations. Analysis encompassed tasks such as integrating different information sources and segmenting the image content into the environment, persons or objects and calculations with error margins. Such tasks comprise sequences of operations, most of which depend on applying specific techniques and tools (hardware, software, etc.). Many possibilities were described by the interviewees. Sometimes, tools had associated SOPs (or informal user know-how). However, tools changed from one practitioner to another and also evolved over time with new technologies. The most striking example was the shift from analogue to digital images. Regarding an implicit use of data, one interviewee advised watching videos repeatedly and frame-by-frame to find clues:

"It is important to train your brain for the situation. . . then you can find more important details." – Marc, image analyst.

Analysis covers a variety of operations that represent suitable solutions to the problem at hand. These appear to be intimately connected with tasks described by SOPs. The structure of SOPs facilitates thorough descriptions of the operations that are performed by practitioners.

3.5. Individuals or institutions

Many differences appeared to be reliant on organisational and structural situations. A few practitioners mentioned the existence of standard procedures in their laboratory. One laboratory put specific image analysis procedures in place, for instance about facial comparison and formulating conclusions. One participant in the focus group reported that these procedures pertained to various tasks and included many internal references for their cohesion. Every organisation had its own scheme for personnel and specifications; the duties and corresponding competencies were divided accordingly. Specific steps or tasks might be performed by different persons (enhancement, collection, *work on scene*, etc.). These persons usually worked in specialised national entities on requests from (local, national) police or judicial authorities. Similarly, practitioners from universities were depicted as offering external services on demand. Private companies were mentioned as possible partners for specific tasks (facial comparison, 3D scanning).

Depending on the institution, a global *pre-analysis* was either a coordination to supervise multidisciplinary cases or a centralised treatment of the requests. The cases were sorted based on the

³ None of the participants is active in this particular area of expertise.

evidential value of different traces and the resources required for their analysis.

The descriptions were more or less developed depending on the specific expert knowledge of each practitioner and other persons collaborating with him or her, for instance for image processing or report writing. Practitioners also relied on other specialists for tasks such as audio analysis, ballistics or dynamic simulations.

Work on scene is organised differently in different institutions or countries. Some practitioners do not attend the scenes to recover the images. Instead, police officers or private companies bring video data or reference data from surveys or measurements (3D scans, etc.). Participants referred to alternatives for collaborating with other stakeholders: training in specific documentation techniques (video, photogrammetry) or collecting reference data on their own. Specialists in 3D reconstructions usually performed experiments on location, especially for height measurements, speed measurements or gait analysis. Three-dimensional documentation techniques might be useful for image *analysis* and other types of analyses (ballistics, accidents reconstruction, etc.). From this perspective, *work on scene* might precede the *preliminary analysis*.

The participants' perspectives on how to reconstruct an event from images were distinct. Individual visions converged mostly according to the practitioners' speciality, even across different institutions. Institutions and their organisation influenced the framework and the practitioners' specifications (terms of reference, manoeuvre margin and collaboration with other professionals).

3.6. Case-by-case approach or global model

The discussion of how cases are worked is mainly based on the interviews, which detail the workflows of 18 cases, with questions and the specialists' profiles. Particularities outlined for case types are presented before general comments from the participants on a global model.

For cases of serial theft, the question was to determine which cases might or might not have been perpetrated by the same author(s) to arrest them. One participant described preselecting cases according to situational criteria (type of crime, spatiotemporal information, modus operandi, target, vehicles, etc.), a visual triage of images to orient trace-trace comparisons of objects, garments or biometric features and trace-person comparisons using reference profiles. Communication circulates information to orient operational measures of inquiry.

For three road traffic accidents and two speeding cases, the questions were about the speed of vehicles. The sequence of accidents required determining the positions and trajectories of vehicles and persons. Vehicle deformation was also considered. Such cases call on specialists in traffic accidents, image analysis and 3D reconstruction. Every practitioner refers to other specialists for specific tasks. *Pre-analysis* includes particular quality criteria such as the visibility of landmarks in addition to the elements of interest and possible changes between image content and the actual scene. *Work on scene* is almost systematic to obtain a survey and measurements of the scene and vehicles. *Analysis* is characterised by reconstruction, with the correction of image distortions and dynamics calculations. Reference data are used for the *evaluation* of results with error margins. Tachometers represent a specific source of information. Plans and sections to scale are recurrently produced. One speeding case gave rise to the question of image integrity. Marc, image analyst, focussed on the storage device, the metadata, the authenticity of the images and the iterative *analysis* of their content in search of clues or anomalies to corroborate his results (*evaluation*).

The first plane crash concerned determining the flight's trajectory. The aircraft's positions at different times were

calculated in a similar manner to that for vehicles. A number of techniques were used to survey scenes and material traces (aerial photography, global positioning system (GPS), theodolite, photogrammetry and laser scanner). The cockpit voice recorder and the flight data recorder or "black boxes" are specific sources of information, and these were used as reference data to estimate errors associated with the flight's trajectory. The second case's question concerned determining the origin of a flight data recorder from an image. Work began with a thorough examination of the material's authenticity and integrity before the *analysis* of the environment, persons and objects. The perspective was considered to perform a comprehensive *evaluation* of various observers' perceptions of the object's characteristics. Plane crashes were specifically associated with increased control over the results and potential errors.

Four cases of physical violence against individuals regarded questions on the course of actions and their dangerousness. Cases that involved the use of firearms were distinct from the others. A specific quality criterion was related to the gunshots, marked by an intense light or noise. The work was conducted with specialists in audio enhancement or in firearms and ballistics for trajectory analysis. One shooting called for a survey of the scene to analyse positions and gunshot trajectories. Cases of violence are characterised by analysing the dynamics of the protagonists' positions and postures to describe their activities. One participant mentions a double selection process: firstly, choosing video sequences in accordance with pending questions about dynamics and secondly, selecting still images for processing to illustrate the chronology. The fifth case of violence was an armed robbery, and the question was about witness image dating. This particular question required visiting the scene to analyse the positions and shadows. A specialist in astronomy provided reference data on the environment to determine the date and time using solar shadows. A validation experiment was performed to evaluate the hypotheses; the combination with other clues allowed for determining the date.

One case of fire investigation was related to determining deliberate human intervention. This case highlighted the combination of multiple sources of information (plan, alarms and firefighters' statements) and the central role of chronology in analysing fire dynamics. The *evaluation* of the clues outlined inconsistencies between the origin and the alleged development of the fire.

Other cases of accidents, physical violence, property damages and irregular flights at low altitude were not discussed in detail during the interviews.

A redundant and valid argument was that each case is unique. Practitioners first focused on the clues and evidence of each case to explain the case and why it was unique. Conceptualisation went hand in hand with hindsight. Diagrams provided a reflexive perspective on the specificities of each case. As they looked back, most of the practitioners began to see similarities in their approaches towards different cases. The main difference concerned the specifics of the cases at hand. These issues determined which tasks were performed by the practitioner. No redundant pattern of choice was observed; choices varied from case to case, and smaller cases did not require following all the steps.

Indeed, the typology of cases did not seem to be the only criterion that oriented the practitioners' choices. The main question and circumstances of the case (severity, investigation progress, etc.) were mentioned as influential factors. One interviewee said that for most police cases (contrasting with expertise), there was only one camera; thus, the request was simply to extract and play videos from CCTV so the investigators could visualise them. Technical tasks such as extraction and conversion might be either the purpose of the *analysis* or merely technical preparations.

One practitioner mentioned diagrams running in parallel for one case or multiple ongoing cases, with the use of image

comparison (face, garments, etc.) to uncover and confirm a series of crimes:

“If this is the image analysis, then for a criminal case, you would have many of these in parallel. Then they would somehow combine... inside the same case, there would be different disciplines working together.” – *Jules, image analyst.*

Another participant perceived the diagram as an appropriate global model for image analysis with various uses:

“You can use this model at different levels. You can use it for image and you can use it for other parts of the investigation. I also think you can use it for the police officers who are coordinating the investigation... Maybe not all [users] participate in every step of it, but the backbone is for everybody.” – *Michel, video analyst and 3D reconstructionist.*

One practitioner observed similarities between the overall model and the video lab of his agency, which has an overview document with many references to the agency’s procedures. For another participant, the diagram represented an overview of what can be conducted, without providing details on specific methods for image extraction, image processing or other technical operations. This participant believed that such operations should be established by specialists in the techniques for their use by other technical specialists.

Participants agreed that the diagram was a suitable overview of the tasks and subsequent operations that could be complemented by detailed guidelines and SOPs that were suitable for every institution.

4. Discussion

This article provides an innovative bottom-up solution that formalises shared know-how with a strong and transparent practical anchor. The competences and experiences of practitioners make the methodology for reconstructing events from images real and vibrant. Shaped by a range of practices and points of view, this methodology might adequately complement top-down or procedural solutions such as SOPs.

If no formalised and general approach to reconstruct an event from images exists yet, this study gives insights into practitioners’ perceptions regarding a structured representation of their approach. The co-constructed methodology is a promising progression towards a peer-recognised forensic methodology for reconstructing events from images throughout the course of an investigation.

The methodology is grounded in the practical experiences of various practitioners and includes the work of all types of specialists who work with images in forensic science. It provides an overview of the possibilities of forensic image analysis rather than details for specific practitioners themselves. Different tasks or operations should be further detailed in protocols and SOPs for each organisation to cover all specialities with technical considerations. To complement SOPs, future research should study the most intuitive and implicit steps of the process, including selection and communication.

The results of our qualitative study are centred on the experience of seventeen participants. Our inferences are based on the in-depth study of a small sample number. Every practitioner’s vision is a driving force to co-construct the shared methodology. The results should not be viewed as derived from a statistically representative sample, in the sense of quantitative research.

Forensic science practitioners are the primary audience and users of this framework. Investigators and policemen who are not familiar with image analysis would likely benefit from it to obtain an overview of the steps and tasks of image analysis.

Forensic image analysis and, especially, discrete steps or tasks may be carried out as a service for other specialists or investigators. The size, resources and policies of organisations seem to define the place and role of forensic image analysis.

5. Conclusion

This article describes a shared methodology for reconstructing events from images in forensic science. It provides a comprehensive picture of what might become a more structured consensus on the practice in the field. Thus, its added value lies in the formalisation, from a bottom-up perspective, of a structured articulation of the different steps involved in producing clues from images. The study outlines the many facets of analysis and the complexity of the decision-making process. Additionally, its co-constructed methodology provides a backbone for articulating more detailed and technical procedures and SOPs. It is based on shared know-how and grounded in the experiences of seventeen practitioners. Keeping it vibrant by including new experiences from practice is the major challenge to achieving its recognition and use as a reference by peers who are active in image analysis.

Acknowledgements

The authors would like to thank all the practitioners who participated in the interviews and focus group discussions. Special thanks also go to Fabienne Fasseur and Marion Zwygart for their insights and fruitful discussions about qualitative research. The authors also thank the University of Lausanne for supporting this research.

References

- [1] Q. Milliet, O. Delémont, P. Margot, A forensic science perspective on the role of images in crime investigation and reconstruction, *Sci. Justice* 54 (6) (2014) 470–480.
- [2] H.I. Bulbul, H.G. Yavuzcan, M. Ozel, Digital forensics: An analytical crime scene procedure model (ACSPM), *Forensic Sci. Int.* 233 (1–3) (2013) 244–256.
- [3] B.W.J. Rankin, C. Welsh, Accreditation, in: J.A. Siegel, P.J. Saukko, M.M. Houck (Eds.), *Encyclopedia of Forensic Sciences*, Vol. 3, Academic Press, Waltham, 2013, pp. 515–518.
- [4] J. Brandi, L. Wilson-Wilde, Standard methods, in: J.A. Siegel, P.J. Saukko, M.M. Houck (Eds.), *Encyclopedia of Forensic Sciences*, Vol. 3, Academic Press, Waltham, 2013, pp. 522–527.
- [5] B.G. Glaser, A.L. Strauss, *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research*, Aldine de Gruyter, New York, 1967.
- [6] A.L. Strauss, J.M. Corbin, *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*, SAGE, Newbury Park, London, 1990.
- [7] P. Paillé, L’analyse par théorisation ancrée, *Cah. Rec. Sociol.* (23) (1994) 147–181.
- [8] A. Bryant, K. Charmaz, *The SAGE Handbook of Grounded Theory*, SAGE, Los Angeles, 2007.
- [9] P.N. Stern, On solid ground: Essential properties for growing grounded theory, in: A. Bryant, K. Charmaz (Eds.), *The SAGE Handbook of Grounded Theory*, SAGE, Los Angeles, 2007, pp. 114–126.
- [10] I. Dey, Grounding categories, in: A. Bryant, K. Charmaz (Eds.), *The SAGE Handbook of Grounded Theory*, SAGE, Los Angeles, 2007, pp. 167–190.
- [11] C. Robson, *Real world research: A resource for social scientists and practitioner-researchers*, 2nd ed., Blackwell, Oxford, UK, etc., 2002.
- [12] F. de Singly, *L’enquête et ses méthodes: Le questionnaire*, 2ème ed., Armand Colin, Paris, 2008.
- [13] J.M. Morse, Sampling in grounded theory, in: A. Bryant, K. Charmaz (Eds.), *The SAGE Handbook of Grounded Theory*, SAGE, Los Angeles, 2007, pp. 229–244.
- [14] A. Tashakkori, *SAGE Handbook of Mixed Methods in Social & Behavioral Research*, 2nd ed., SAGE, Thousand Oaks, Calif, 2010.
- [15] J.W. Creswell, *Research design qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*, 3rd ed., SAGE, Los Angeles, 2009.

Application pratique d'une méthodologie de reconstruction d'évènement à partir d'images témoins

Résumé

L'enregistrement toujours plus accessible des activités humaines entraîne la prolifération des images de témoins dans les affaires criminelles. Exploitée de manière systématique, cette source d'information permet d'obtenir des mesures de l'espace et du temps, de repositionner des indices en 3D et d'augmenter ainsi le potentiel d'information sur les activités délictueuses, même lorsque l'image apparaît ambiguë ou qu'elle est de qualité médiocre. Cet article propose une méthodologie nouvelle qui structure l'utilisation de l'information véhiculée par les fichiers images en distinguant plusieurs niveaux d'observation, d'exploitation et de communication. Cette distinction permet de mieux anticiper le potentiel informatif des images traces et la manière de le mettre en valeur. Un cas pratique présente la progression graduelle des connaissances sur le déroulement d'un évènement passé en mettant en exergue la plus-value obtenue pour la résolution des questions du cas. Ce processus s'accompagne d'échanges soutenus entre les parties prenantes de l'enquête cristallisant une reconstruction cohérente, transparente et utile à la compréhension du déroulement des faits. La combinaison en quatre dimensions d'images qui proviennent de systèmes d'enregistrement hétérogènes permet d'obtenir de nouveaux indices, non décelés par une observation simple. La mise en valeur du potentiel de mesure des images fait évoluer la manière de les observer. Ce changement constitue un nouveau paradigme pour les enquêteurs, les magistrats et les techniciens confrontés à l'utilisation des images de témoins.

Quentin Milliet, Chargé de recherche, MSc

Éric Germain Sapin, Photographe forensique

Olivier Delémont, Professeur

École des sciences criminelles, Université de Lausanne, Batochime, CH-1015 Lausanne, Suisse

Mots-clés : Exploitation, standardisation, communication, images traces, chronologie, reconstruction 3D

Practical application of a methodology to reconstruct events from witness images

Abstract

The proliferation of images recorded by witnesses during criminal activities increases the opportunities of using them within the framework of investigations. Images bring forward measurable clues even if their meaning appears ambiguous or if their quality is limited. A systematic way of using the recovered images allows to obtain spatial and temporal measurements, to locate clues in 3D and to increase their informative potential. This article proposes a novel methodology, which structures the use of the information conveyed by image files. Distinct levels of observation, exploitation and communication strengthen the possibility to anticipate and bring out the informative potential of images. The application of this methodology is illustrated through a practical case, bringing forward the added-value of this type of expertise to solve the questions of an inquiry. Information conveyed by witness images is gradually integrated in order to advance knowledge of the course of past activities. This process is associated with sustained exchanges between the stakeholders of the investigation, in order to crystallise a coherent and transparent reconstruction of events. Combining in four dimensions different images that come from heterogeneous recording system allows to obtain new clues that were not detected through direct observation. Highlighting the potential of measuring images brings about a change in the way of observing them. This modification represents a new paradigm for investigators, magistrates and technicians who are faced with the use of witness images.

Quentin Milliet, Research associate, MSc

Éric Germain Sapin, Forensic photographer

Olivier Delémont, Professor

School of Criminal Justice, University of Lausanne, Batochime, CH-1015 Lausanne, Switzerland

Keywords: Exploitation, standardisation, communication, trace images, chronology, 3D reconstruction

Introduction

La qualité et la quantité d'images témoins enregistrées lors d'évènements extraordinaires augmente depuis de nombreuses années (Timan et Oudshoorn, 2012). Ces traces comprennent celles laissées par le système d'enregistrement ainsi que l'ensemble des traces de l'évènement à reconstruire et à comprendre. Ces témoins matériels amènent de nombreux indices dans les affaires criminelles actuelles mais pour que cette contribution soit efficace, elle doit être bien structurée (Milliet, *et al.*, 2014).

La reconstruction d'évènements à partir d'images traces a fait l'objet d'une recherche qui a d'abord permis de développer une méthodologie appliquée à partir d'expériences pratiques (Milliet, *et al.*, 2015a). Ensuite, les connaissances cumulées d'un groupe de praticiens suisses et européens ont permis de développer une seconde méthodologie partagée, ancrée dans un panel plus large d'expériences (Milliet, *et al.*, 2015b). La confrontation de ces manières de procéder a abouti à une méthodologie consolidée, qui représente le point de vue des auteurs et qui distingue plusieurs niveaux d'observation, d'exploitation et de communication.

L'impossibilité de présenter des cas en cours de procédure nous amène à illustrer l'évolution vers la méthodologie consolidée en puisant une matière similaire dans des cas précédemment traités (Milliet, *et al.*, 2015a) qui n'affectent pas de procédure judiciaire en cours. Le premier cas explicite les éléments qui justifient la transition vers la méthodologie consolidée, dont les niveaux et les étapes sont décrits en détails à l'aide d'un second cas.

Pour aborder cette transition, l'image des protagonistes d'une fusillade en Suisse est utilisée (Figure 1). Deux tireurs sont observés : Le premier dont l'arme est visible et le second, en partie masqué par un protagoniste qui se dirige vers la caméra. Afin de déterminer si c'est la main gauche ou la main droite du second tireur qui est visible, les hypothèses portent sur sa posture ; soit il fait face à la caméra, soit il lui tourne le dos (Milliet, *et al.*, 2015a, Figure 11). La systématique traite les éléments suivants par rapport au second tireur :

1. Une tache claire est observée sur le canon du short. Une autre zone triangulaire claire est observée juste au-dessus du short, en bordure du t-shirt blanc du protagoniste qui se dirige vers la caméra. La jambe située à gauche sur l'image réfléchit vers la caméra une intensité de lumière plus élevée que la jambe de droite. Les valeurs numériques des histogrammes BVR (Bleu Vert Rouge) des zones sélectionnées indiquent que les jambes ont des densités différentes et que la tache se distingue des artefacts de compression de l'image au niveau du short. Les observations faites sur l'image sont confirmées par trois personnes de manière indépendante.
2. Les habits sont photographiés et décrits. Un logo clair est observé sur la partie inférieure avant du canon gauche du short et sur la partie supérieure arrière du canon droit. Le t-shirt présente un imprimé clair sur sa partie avant. Ces observations sont comparées avec celles faites sur l'image indiciaire (1). Elles sont compatibles avec l'hypothèse du second tireur qui fait face à la caméra. Un relevé photogrammétrique de la façade, de la signalisation, du trottoir et de la route avec les marquages au sol est réalisé pour obtenir une reconstruction 3D des lieux avec la position des pieds des tireurs et de la caméra du téléphone portable qui a enregistré l'image indiciaire.
3. Sur la base de cette reconstruction 3D, une personne de corpulence et taille similaire est placée avec les habits du second tireur dans les deux postures envisagées. Les postures sont enregistrées avec le téléphone portable, depuis la même position, dans un environnement et un éclairage similaire. Les observations faites sur les images obtenues lorsque la personne est de dos sur la partie centrale et de face sur la partie de

droite (Milliet, *et al.*, 2015a, Fig. 11) sont comparées avec les observations faites sur l'image indiciare (1) et les habits (2).

L'hypothèse selon laquelle le second tireur fait face à la caméra est retenue. Cette hypothèse signifie que droitier, il utilise l'arme avec sa main droite contre le tireur qui pointe une arme à feu bien visible dans sa direction. Le résultat immédiat est que la thèse d'un tir aléatoire d'un droitier avec sa main gauche n'est plus un objet de discussion pour la cour.



Figure 1: Image trace des protagonistes d'une fusillade. Les traces de l'évènement observées : Sur la droite, le premier tireur dont l'arme est visible et au centre le second, en partie masqué par un protagoniste vêtu d'un jeans et d'un t-shirt blanc qui se dirige vers la caméra ; autour des deux tireurs, la position et la posture des autres protagonistes et témoins.

Ce résultat particulier permet de constater un changement de lecture de cette image 2D de qualité limitée. Le potentiel de mesure de l'espace tridimensionnel visible sur l'image change l'observation et interfère sur la méthodologie mise en place précédemment. Trois niveaux successifs augmentent le potentiel d'information et modifient l'approche des images témoins disponibles dans de nouveaux cas.

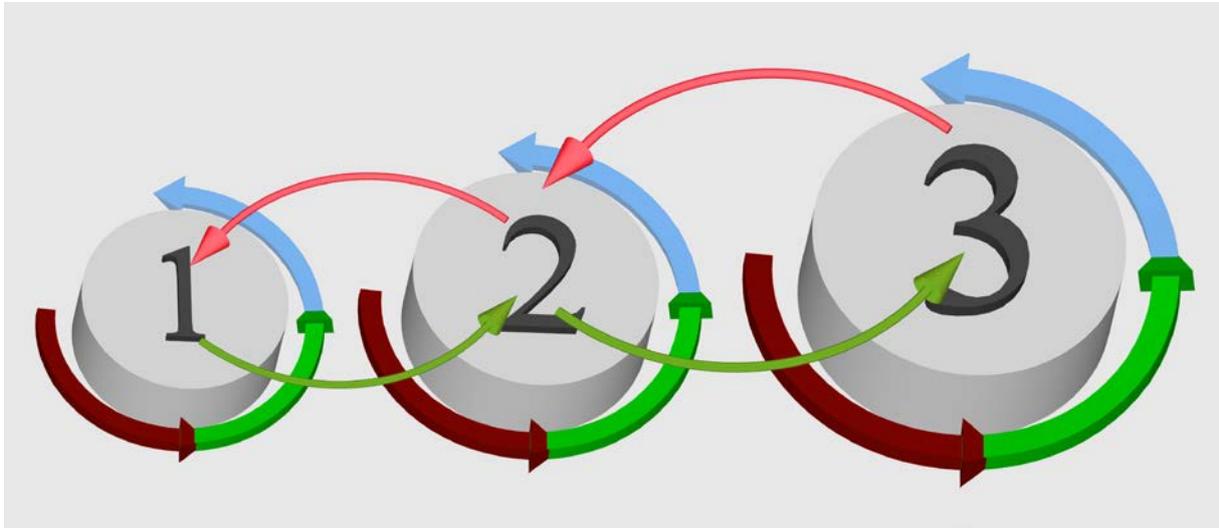


Figure 2: Les relations entre les trois éléments traités dans ce cas représentent la transition vers la méthodologie consolidée, qui prend la forme d'une spirale avec plusieurs cycles.

Chaque cas est particulier dans son approche et son exploitation des images fixes ou animées ; la panoplie des outils d'analyse à mettre en œuvre est très large (Milliet, *et al.*, 2015b). La lecture des images des nouveaux cas intègre les résultats obtenus dans les cas précédents. La multiplication des cas étend la panoplie des solutions applicables. La capacité de bien communiquer les résultats et la systématique mise en place pour les obtenir permet de modifier les codes de lecture du magistrat et de l'enquêteur sur les images et leur potentiel d'information et de mesure de l'espace et du temps. Plusieurs niveaux d'observation, d'exploitation et de communication peuvent être anticipés. Ce changement de paradigme justifie d'explicitier une nouvelle méthodologie.

Cette méthodologie est présentée à l'aide du second cas pratique, qui permet de traduire les composantes et les étapes principales du travail en opérations concrètes pour les praticiens. Le niveau de présentation reste général et ne couvre pas les procédures suivies ni les détails de l'utilisation des techniques. L'idée est de rendre la méthodologie accessible afin de susciter une réflexion au-delà des spécificités de chaque cas. Le but est que l'observation des images saisies dans les nouveaux cas intègre immédiatement le nouveau potentiel de lecture pour les enquêteurs, les magistrats et les techniciens confrontés à des images de témoin.

Méthode

La méthodologie est construite autour de l'exploitation des traces. Les images traces sont enregistrées par des satellites, des systèmes de surveillance vidéo, des caméras embarquées dans des véhicules ou intégrées dans d'autres objets. Elles peuvent aussi être réalisées par des témoins, des protagonistes, des journalistes, des passants ou autres intervenants variés (secours, pompiers, policiers, etc.). Bien que la démarcation ne soit pas toujours nette, les images traces se distinguent des images documentaires de la fixation de l'état des lieux, enregistrées par des professionnels de la scène de crime. La fixation de l'état des lieux est effectuée selon un processus de documentation (Milliet, *et al.*, 2014). Les images traces ont la

particularité d'être capturées de manière fortuite sans contrôle direct sur les conditions d'enregistrement, et pas toujours pour illustrer les événements qui font finalement l'objet d'investigation. Elles peuvent même provenir de sources inconnues. Malgré l'absence de contrôle sur leur acquisition et leur qualité bien souvent limitée, elles constituent un vecteur d'informations de premier plan sur le déroulement d'évènements passés.

Les efforts de formalisation de l'utilisation des images traces sont complémentaires aux bonnes pratiques existantes, plutôt centrées autour de démarche de qualité prônant une uniformisation des pratiques et des procédures d'analyses spécifiques. À titre d'exemple, on peut mentionner les recommandations proposées par le groupe de compétence américain relatives à la détermination de l'authenticité d'une image ou l'extraction de données vidéos à partir d'un enregistreur numérique (Scientific Working Group on Imaging Technology, 2012 ; 2013). Les efforts de formalisation des groupes de travail anglo-saxons se sont multipliés et ont progressé entre autres vers des définitions communes en anglais (Scientific Working Groups on Digital Evidence and Imaging Technology, 2015). En Europe, le Digital Imaging Working Group (DIWG) suit une tendance similaire : Il est impliqué dans un vaste projet de standardisation des techniques de traitement des images vidéo (European Network of Forensic Science Institutes, 2015). Le DIWG a également organisé des tests collaboratifs en 2015 pour comparer les résultats des praticiens européens et faire avancer la discussion sur les méthodes de travail et les démarches d'assurance qualité.

La méthodologie complète ces travaux de nature essentiellement administrative et technique en mettant en avant le potentiel de mesure des images dans un cas pratique. Ce potentiel est décomposé en plusieurs niveaux d'observation, d'exploitation et de communication pour que le lecteur suive l'évolution du cas au fil des informations obtenues. L'extraction et la combinaison d'indices à partir d'images sont au cœur de la méthodologie, qui renforce l'exploitation des traces en les intégrant dans un système cohérent. Ce système repose sur la combinaison graduelle dans l'espace 3D et dans le temps, des informations obtenues à partir d'images 2D. Cette exploitation offre l'opportunité de vérifier les points de vue et les conditions d'enregistrement. L'intégration d'images de plusieurs sources dans le même système renforce la cohérence des informations fournies par les images à chaque niveau de progression des connaissances sur l'évènement passé.

Matériel

Le cas concret utilisé comme illustration dans le cadre de cet article nous paraît exemplaire. Les problèmes rencontrés et les solutions trouvées offrent une large représentativité de la mise en œuvre de la méthodologie. Ce cas permet d'exposer chacune des étapes avec une progression graduelle des connaissances sur plusieurs niveaux.

Le second cas est lié à la Commission de Vérité pour la Réconciliation de la Thaïlande (TRCT) (Truth for Reconciliation Commission of Thailand, 2012 ; Milliet, *et al.*, 2015a)¹. Les cas liés à cette affaire se caractérisent, d'une part, par une série d'évènements dont la séquence est complexe et équivoque et, d'autre part, par l'existence d'une collection disparate d'images, enregistrées par une multitude de sources souvent inconnues.

Les investigations de la TRCT ont porté sur plus d'une douzaine de cas ou évènements principaux, parfois répartis sur plusieurs jours et découpés en plusieurs sous-évènements. La TRCT a relevé que la protection des sites n'avait pas pu être réalisée après les évènements pour maintenir les lieux dans leur état original. Les lieux avaient donc été nettoyés et les

¹ <http://library.nhrc.or.th/ulib/document/Fulltext/F07939.pdf>

preuves perdues, emportées ou détruites avant même les premières investigations. Ces dernières n’ont d’ailleurs pas toujours pu être menées au vu de la nature et de l’ampleur extraordinaire des incidents. La situation converge donc vers une situation extrême combinant des phénomènes de masquage, de dégradation et de destruction des traces matérielles par les activités qui suivent l’évènement qui les a générées (Kind, 1987 ; Chisum, 2011).

Comme la plupart des traces matérielles avaient disparu, les images constituaient une source d’informations essentielle pour reconstruire ces évènements. Les images traces étaient nombreuses et ont fourni des indices déterminants sur l’évolution de la compréhension des scènes enregistrées. L’exploitation des images s’est concentrée sur deux des évènements principaux qui se sont passés dans des zones urbaines du centre de Bangkok. L’exemple de cet article est tiré du premier évènement qui s’est déroulé le 10 avril 2010. Ce jour-là, des manifestations ont eu lieu dans plusieurs quartiers de Bangkok, accompagnées de violents affrontements pour un bilan final de 26 personnes décédées, dont 5 soldats, et de 864 blessés dont plus de 300 soldats (Truth for Reconciliation Commission of Thailand, 2012). L’exploitation des images traces est présentée à partir d’un évènement qui a lieu le soir près du Monument de la Démocratie et qui concerne le décès d’un caméraman étranger des suites d’une blessure par balle. L’exploitation forensique des images commence par l’assimilation des informations fournies par l’équipe de la TRCT en charge de l’enquête.

Résultats

L’évolution du cas est exposée de manière à illustrer les quatre niveaux de progression de la méthodologie. Après l’évènement, la méthodologie commence par une pré-analyse du cas. Ensuite, chaque niveau représente une variante d’un cycle de trois étapes, à savoir l’organisation, l’analyse et l’évaluation. Ces étapes assurent une systématique de construction des connaissances. Chaque itération de ces étapes produit des informations ou intègre des nouvelles données, échangées via la communication. La méthodologie est garante d’un gain d’efficacité. Si les informations ne sont pas rigoureusement formulées dans l’étape d’organisation, elles produisent un effet moindre à l’étape d’analyse. L’évaluation perd en potentiel dynamique ce qui engendre une perte au niveau de la communication. La fin du processus est marquée par la présentation de la reconstruction. Pour chaque niveau, les étapes de la méthodologie et leur application au cas sont décrites en parallèle dans un tableau. Chaque niveau est suivi d’un schéma qui représente l’avancée du travail.

Niveau 1

Étape de la méthodologie	Application au cas
<p>Pré-analyse</p> <p>La pré-analyse marque le début de l’exploitation des images.</p> <p>Les cadres spatio-temporel et contextuel sont posés : L’action sur laquelle vont porter les investigations est délimitée à partir des informations disponibles.</p>	<p>Le 10 avril 2010, un caméraman d’une agence de presse décède alors qu’il couvre les manifestations dans le centre de Bangkok.</p> <p>Sur la base du rapport d’investigation des autorités et du rapport d’autopsie, il apparaît que le caméraman a été mortellement blessé par balle entre le Monument de la Démocratie et la rue Dinso. À ces endroits, de violents affrontements se sont déroulés entre forces de l’ordre et manifestants durant la soirée et la nuit.</p>

<p>La mission est définie de manière collaborative avec les responsables de l'enquête sur la base de leur demande et du matériel à examiner.</p> <p>La question principale soulève d'autres questions qui concernent les circonstances de l'événement.</p>	<p>La finalité de la reconstruction des événements à partir des images traces porte sur la question de déterminer qui a tiré sur ce caméraman.</p> <p>D'autres questions subsidiaires sont ajoutées afin de préciser les circonstances du décès :</p> <p>Quand a-t-il été tué ?</p> <p>Où a-t-il été tué ?</p> <p>D'où provient le tir ?</p> <p>Quel type d'arme a été utilisé ?</p>
<p>Une copie de travail des images traces est faite et les métadonnées sont extraites, ce qui permet un contrôle préalable de l'authenticité et de l'intégrité des images.</p>	<p>Les images sélectionnées par l'équipe d'enquête comportent 43 photos et 28 vidéos, dont l'une enregistrée par le caméraman décédé.</p> <p>Les images sont copiées dans un répertoire unique et visionnées.</p>
<p>Est-ce qu'il y a adéquation entre la demande et les résultats possibles ?</p> <p>Dans l'affirmative, quelles sont les bonnes questions qui vont permettre de résoudre le cas en amenant des éléments de réponse à partir du matériel à disposition ?</p> <p>La possibilité d'amener toute information utile à l'enquête laisse une ouverture à la découverte de nouveaux éléments susceptibles d'émerger.</p>	<p>Les dernières images du caméraman peuvent permettre de déterminer quand elles ont été enregistrées ainsi que la position de la caméra et de l'opérateur ((Truth for Reconciliation Commission of Thailand, 2012, p.110 en bas à droite)². Il convient donc de formuler une question supplémentaire de cette manière :</p> <p>Où se trouve la caméra lors de l'enregistrement de la dernière image ?</p> <p>Répondre à cette question c'est déterminer la position du corps au moment du tir. Cette position permet d'envisager de manière différente le parcours du projectile. Ceci amène des nouvelles questions sur la présence d'obstacles sur le parcours du projectile.</p>
<p>Organisation</p> <p>Le matériel est organisé à l'aide des métadonnées auxquelles est ajoutée une description taxonomique du contenu des images.</p> <p>Les métadonnées contiennent notamment des informations sur la caméra, la localisation (GPS) et le moment</p>	<p>Les métadonnées et les noms des fichiers permettent de distinguer 19 séries d'images. Une série a été enregistrée par un Nikon D70 et une autre par un Nikon D70s ; les autres appareils sont inconnus ; les images ne présentent aucune indication de coordonnées GPS.</p> <p>Les dates de création et de modification permettent d'organiser ces séries de manière chronologique. La plupart des dates correspondent au 10 avril ; certaines sont liées à l'extraction ou au transfert des images ; d'autres indiquent</p>

² <http://library.nhrc.or.th/ulib/document/Fulltext/F07939.pdf>

<p>d'enregistrement.</p>	<p>le 11 mai 2010.</p>
<p>La description taxonomique du contenu est faite sur la base d'une classification dont les catégories et sous-catégories sont définies selon les questions et circonstances du cas.</p> <p>L'organisation permet de retrouver rapidement les images en fonction des indices qu'elles peuvent apporter.</p>	<p>Le contenu des images est décrit selon :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le lieu : Pont Mukkawan, Dinso Sud, Dinso Centre, Dinso Nord et Monument de la Démocratie ; • le temps : Journée ou nuit (selon la luminosité et les informations temporelles des métadonnées) ; • les personnes : Secouristes, soldats, manifestants, journalistes et le caméraman, dont l'apparence et les habits sont profilés à l'aide des images ; • les objets : Armes et caméras.
<p>Les images susceptibles de contenir des données en relation avec les questions considérées sont sélectionnées pour l'étape d'analyse.</p>	<p>Parmi 6 séries d'images avec des informations sur les circonstances du décès, celles qui sont prises dans les zones de la rue Dinso et du Monument durant la nuit sont sélectionnées pour une analyse temporelle. Il en est de même avec la vidéo des 15 dernières minutes enregistrées par le caméraman.</p>
<p>Analyse</p> <p>L'examen des images organisées apporte des informations nouvelles.</p> <p>Les observations faites sur les images apportent des couches d'informations supplémentaires.</p> <p>Ces couches d'informations peuvent être liées par l'image ou le son.</p> <p>Les couches d'informations, leur origine et leurs relations sont intégrées dans la construction des connaissances.</p> <p>Les activités reconstruites constituent elles-mêmes un nouveau potentiel d'information.</p>	<p>La 1^{ère} série d'images, composée de 21 vidéos, décrit le déroulement de l'événement entre 20h09 et 20h19 dans la partie Sud de la rue Dinso. Des lignes de soldats, des véhicules à l'extrémité de la rue et des manifestants sur la place du Monument de la Démocratie sont observés.</p> <p>Une explosion est filmée par le caméraman ; le son de cette explosion est enregistré par un témoin qui filme ensuite une seconde explosion parmi les soldats.</p> <p>Les objets et les protagonistes, statiques ou en évolution donnent des informations sur le déroulement des activités. La première couche d'information est composée de tout ce qui s'observe et qui petit à petit va évoluer dans une direction ou même s'il est statique vers un état différent. La logique de déplacement, d'activité ou de dégradation va amener à observer une deuxième couche puis une troisième qui lui succède.</p> <p>L'explosion est suivie par des mouvements rapides des personnes qui se trouvent à proximité. Des soldats s'éloignent rapidement, d'autres s'approchent pour porter assistance aux personnes à terre. Dans les couches précédentes, les caméras qui travaillent dans des directions opposées à l'explosion vont enregistrer le flash de lumière et un son décalé, voir répercuté par les bâtiments. La caméra qui se retourne vers l'explosion enregistre les</p>

	soldats qui évacuent les lieux et ceux qui s'en rapprochent.
L'analyse comprend notamment le traitement des images, leur description détaillée et l'ancrage temporel (Milliet, <i>et al.</i> , 2015a).	Les soldats blessés et leur évacuation sont filmés dans la partie centrale jusqu'à 20h30 et dans la partie Nord jusqu'à 20h56, où ils sont chargés dans des véhicules ; des soldats sont observés en train de tirer. Entre 21h10 et 21h30, la caméra se déplace à nouveau vers la partie centrale de la rue en suivant un manifestant montrant un foulard entouré de soldats qui lèvent les bras. Des véhicules et des traces de sang au niveau du sol sont observés.
Calage temporel des différentes séries d'images : L'analyse temporelle est réalisée à l'aide des métadonnées et par la comparaison du contenu des images pour situer des séquences de micro-événements ou d'actions sur la ligne du temps. Ce calage permet de dégager une chronologie globale et cohérente des observations.	La vidéo du caméraman n'est associée à aucune indication temporelle. Elle comporte plusieurs clips (séquences ininterrompues d'images) enregistrés durant la nuit dans la rue Dinso. Le clip de l'explosion est situé dans le temps par rapport au son enregistré dans les vidéos de la 1 ^{ère} série. Cette information permet de repérer dans cette série une vidéo qui présente des personnes dans des positions et postures similaires par rapport à un autre clip du caméraman. Cette correspondance est indiquée à 20h22. Quatre clips du caméraman qui durent au total une minute suivent cette indication temporelle, ce qui amène le moment de l'enregistrement de sa dernière image après 20h23.
La comparaison du contenu peut mener à l'observation du même sujet depuis des points de vue différents (indice temporel direct). Les séquences d'images qui précèdent ou qui suivent cette observation complètent la chronologie (indices temporels indirects).	Deux autres séries d'images présentent le caméraman blessé porté par des manifestants. L'image d'une série indique 21h01. L'autre série indique la date du 11 mai, mais l'arrière-plan d'une des images permet de reconnaître une partie de la place près du Monument. L'apparence et les habits du caméraman blessé et des secours qui le portent hors de la foule, la présence de nombreux journalistes équipés d'appareils lient les séries d'images à l'évacuation du caméraman.
Évaluation La cohérence des informations obtenues lors de l'analyse est vérifiée. Les limites des résultats (incohérences, incertitudes, zones manquantes, etc.) et les éléments à vérifier par d'autres examens ou d'autres sources d'informations sont mis en évidence. Ancrage temporel : Les indications temporelles des	 La correspondance entre l'observation et le son de l'explosion est approximative puisque que le son se déplace plus lentement que la lumière, avec en plus des réverbérations possibles sur différentes surfaces dans la rue. Le moment de l'enregistrement de la dernière image du caméraman est estimé à partir d'une observation faite à 20h23. Comme 4 clips ont été enregistrés après cette observation, il y a un décalage lié à la durée des coupures entre les clips. Les observations permettent de supposer que la séquence des clips est chronologique et que les coupures associées aux pauses entre les clips sont de courte durée. L'ancrage temporel des derniers clips pourrait être affiné

<p>métadonnées correspondent aux réglages de l'appareil lors de l'enregistrement des images. Une calibration peut permettre de vérifier l'exactitude des réglages par rapport à un temps de référence (Temps Universel Coordonné - UTC).</p>	<p>pour mieux estimer le moment où le caméraman a enregistrée sa dernière image.</p> <p>L'image de la prise en charge par les secours délimite la fenêtre temporelle du tir fatal entre 20h23 et 21h01. Cette période diffère des informations fournies dans le rapport d'investigation (dernière image enregistrée à 20h57). Cette incohérence requiert donc un ancrage temporel de la fenêtre des événements en recherchant les images originales et les informations sur les appareils utilisés par le caméraman et les témoins. Ces sources d'images peuvent apporter des informations utiles vu que les indications temporelles des deux séries d'images sont liées aux réglages de chacun des appareils.</p>
<p>La recombinaison spatiale des images est proposée pour localiser les points de vue des images.</p>	<p>Les images à disposition sont constituées de plans rapprochés de véhicules de transports de troupe qui encombrant l'espace. Peu d'éléments comme les trottoirs, les marquages routiers, les murs sont à disposition pour localiser les événements. Une visite des lieux est nécessaire pour fixer les points de vue des images et la position de ceux qui enregistrent dans la rue Dinso. Le retour sur les lieux peut permettre d'estimer l'endroit où la dernière image du caméraman a été enregistrée, l'endroit où il a été tué.</p>
<p>Communication</p> <p>Les informations extraites des images augmentent le potentiel de communication tout au long du travail.</p>	<p>Les informations visibles dans l'arrière-plan des images sont utilisées pour le repérage de la scène. Une visite des lieux permet de mieux comprendre la configuration des espaces et de dessiner un croquis. À l'aide des caméras observées sur certaines images, les enquêteurs localisent les caméras de surveillance correspondantes dans le Sud de la rue Dinso. La recherche de ces sources constitue une piste d'enquête.</p>
<p>Des informations sont échangées avec les parties prenantes de l'enquête de manière formelle ou informelle.</p>	<p>La recherche des sources mène à la rencontre du journaliste qui a enregistré la 1^{ère} série de vidéos. Il a utilisé une caméra Sony DCR-SX 40 Handycam[®], endommagée et hors d'usage après les événements. Il se souvient que la caméra était réglée sur le fuseau horaire du Myanmar (UTC+06:30) et non celui d'Indochine (UTC+07:00).</p>
<p>La première itération conduit à la recherche et à la récolte de nouvelles données.</p>	<p>Le journaliste transmet également deux nouvelles vidéos qui complètent la série. Trois autres vidéos sont récoltées par les enquêteurs.</p>

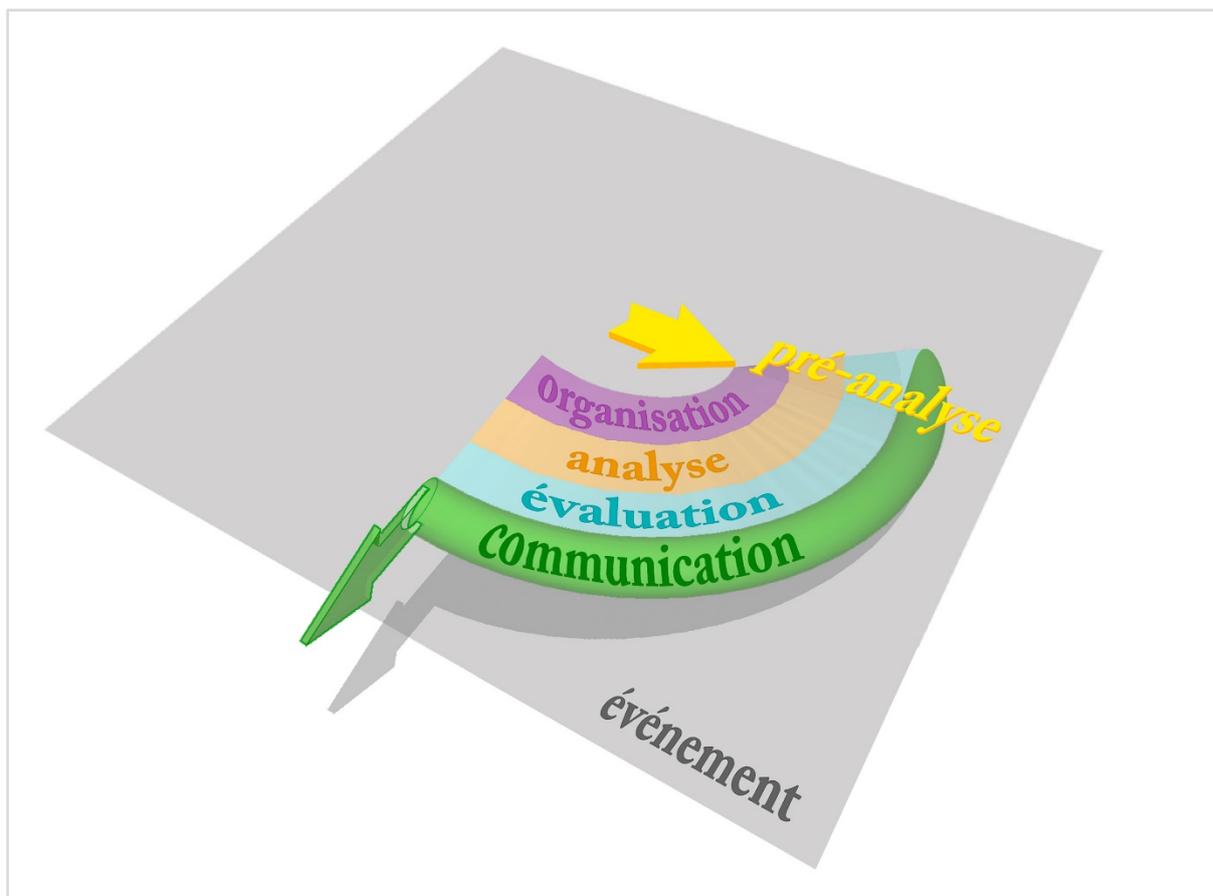


Figure 3 : Progression de la méthodologie après l'évènement avec la pré-analyse, indiquée par la flèche jaune, qui est suivie de la séquence des étapes d'organisation, d'analyse et d'évaluation des images du centre vers l'extérieur ; le potentiel de communication augmente et la flèche sortante indique la transmission d'informations aux parties prenantes de l'enquête.

Niveau 2

Étape de la méthodologie	Application au cas
<p>Organisation</p> <p>Les images sont copiées et décrites selon la systématique mise en place et les résultats précédents.</p> <p>Lors de l'extraction d'images, une nomenclature stricte assure leur traçabilité.</p>	<p>Les cinq nouvelles vidéos sont classifiées selon la taxonomie du niveau 1.</p> <p>Les clips d'intérêt sont extraits de la vidéo enregistrée par le caméraman sous la forme de séquences d'images ou de fichiers vidéo. Les fichiers créés sont renommés sur la base de la vidéo originale avec le numéro d'image (séquence) ou le temps du clip et sa durée (vidéo) afin d'assurer la continuité des opérations et le suivi des indications temporelles.</p>
<p>Des critères de qualité sont également utilisés pour la sélection des images. Des</p>	<p>Les deux vidéos du journaliste complètent la 1^{ère} série d'images.</p>

<p>remarques sur la qualité ou des examens possibles peuvent être ajoutées.</p>	<p>Parmi les trois autres vidéos récoltées par les enquêteurs se trouve une seconde version de la vidéo enregistrée par le caméraman. Cette nouvelle version est décrite en précisant qu'il s'agit d'une copie de qualité inférieure à la première version, qui a une définition supérieure et un encodage avec moins de compression.</p>
<p>La revue des images permet de voir quelles sont les données à disposition ou manquantes dans chaque catégorie et sous-catégorie.</p>	<p>La majorité des images ont été enregistrées dans la rue Dinso ; très peu proviennent de la zone du Monument de la Démocratie, du côté des manifestants, alors que plusieurs témoins ont été observés utilisant des appareils dans cette zone.</p>
<p>Analyse</p> <p>Raffinement de l'ancrage temporel : Une éventuelle correction temporelle est appliquée aux couches d'informations liées pour mettre à jour l'analyse.</p>	<p>L'ancrage temporel est corrigé grâce aux informations du journaliste sur les réglages de son appareil, ce qui amène l'intervalle de temps pour le tir fatal entre 20h53 et 21h01.</p>
<p>Recombinaison spatiale : Repérage des éléments fixes présents dans les contenus des images pour obtenir des indices sur la localisation.</p>	<p>La dernière image enregistrée par le caméraman est localisée approximativement dans la partie Sud de la rue Dinso, grâce à des cabines téléphoniques et des véhicules observés dans l'arrière-plan.</p>
<p>Évaluation</p> <p>D'autres informations peuvent permettre de vérifier les indices.</p>	<p>L'ancrage temporel est établi sur la base de deux séries d'images liées ; les informations sur les réglages de l'appareil du journaliste ont permis de vérifier les temps indiqués.</p>
<p>La reconstruction spatiale permet de situer les points de vue et les observations des images sur les lieux dans un système de mesure avec un contrôle des incertitudes.</p> <p>Le manque de données est évalué par rapport aux circonstances.</p>	<p>La localisation approximative de la dernière image du caméraman peut être améliorée en utilisant la photogrammétrie pour déterminer la position du point de vue (projection de l'image trace dans un référentiel tridimensionnel connu et précis).</p> <p>Vu la faible quantité d'images à disposition par rapport à la complexité et à l'évolution rapide de l'environnement et de la situation, des sources d'images supplémentaires sont activement recherchées.</p>
<p>Communication sortante</p> <p>La progression du travail de reconstruction est présentée aux personnes impliquées</p>	<p>Un rapport écrit expose la description systématique des images et de leurs sources ainsi que de l'apparence du caméraman ; une carte avec une échelle indique la découpe des zones géographiques ; la chronologie est résumée et</p>

<p>dans l'investigation.</p> <p>Les explications fournies sur la manière d'obtenir ces informations changent la vision des enquêteurs sur le potentiel d'information du nouveau matériel à exploiter.</p>	<p>illustrée.</p> <p>La conclusion reprend les éléments de réponse aux questions : L'intervalle de temps et la localisation approximative du caméraman entre la dernière image de sa vidéo et son évacuation. Aucune trace n'a permis d'établir la position et la posture du caméraman au moment du tir, ce qui pourrait amener un élément de réponse quant à l'origine du tir fatal. À ce stade, aucun indice sur un tireur potentiel n'a pu être relevé.</p>
<p>Les possibilités de faire progresser la reconstruction sont mises en avant. L'élargissement du champ d'investigation aux événements périphériques peut amener de nouveaux indices.</p>	<p>Le travail est étendu aux violences de la nuit du 10 avril, également avant et après que le caméraman soit touché. Ceci mène à l'exploitation d'une quantité plus grande de matériel.</p>
<p>Communication entrante</p> <p>L'investigation est étendue à une zone plus grande qui couvre les voies d'accès et une période de temps plus longue. De nouveaux éléments font évoluer le cas et les questions en suspens.</p>	<p>La reconstruction est étendue aux violences de la nuit du 10 avril dans les quartiers de Kok Wua, de la place du Monument de la Démocratie et de la rue Dinso. L'évolution des manifestations dans l'après-midi est aussi considérée. De nouvelles questions sont formulées ainsi :</p>
<p>Les questions sont décomposées en fonction des questions types et des éléments à déterminer (qui, quoi, quand, où, comment) (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a). Les images peuvent également amener des indices sur les circonstances de l'événement.</p>	<p>Qui a initié les affrontements violents ?</p> <p>Cette question, en apparence simple, comporte de nombreuses dimensions. En effet, elle porte sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le qui, défini ici non pas de manière individuelle mais en terme de groupes de personnes impliqués, - une dimension temporelle (l'initiation des événements), - les actions (affrontements) - un aspect socioculturel (la violence). <p>Dès lors, une opérationnalisation de la question est réalisée en mettant l'accent sur les explosions et les fusillades.</p> <p>Des sous-questions sont formulées, par exemple :</p> <p>Quand surviennent les explosions ?</p> <p>Où se trouvent les victimes ?</p>
<p>Des objectifs spécifiques peuvent être définis par rapport aux sous-questions.</p>	<p>En lien avec l'ensemble des questions, l'examen des images peut contribuer à reconstruire :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La configuration des lieux avec des indications sur

	<p>les groupes de personnes présentes, les victimes, les tireurs potentiels et les armes utilisées ;</p> <p>2. la chronologie des incidents, en particulier l'enchaînement des explosions et des fusillades peut aussi être éclairci. Les images peuvent aussi amener des indices sur la visibilité, la fenêtre et la distance de tir.</p>
<p>Des informations et du matériel supplémentaires sont récoltés en marge du travail selon les procédures en vigueur avant d'être intégrés dans le processus.</p>	<p>Au total, 2642 fichiers, dont 82 vidéos et 2560 photographies, venant de diverses sources, notamment des institutions officielles, des agences de presse, de journalistes, de témoins, de caméras de surveillance, d'internet sont collectés et conservés en format numérique.</p>

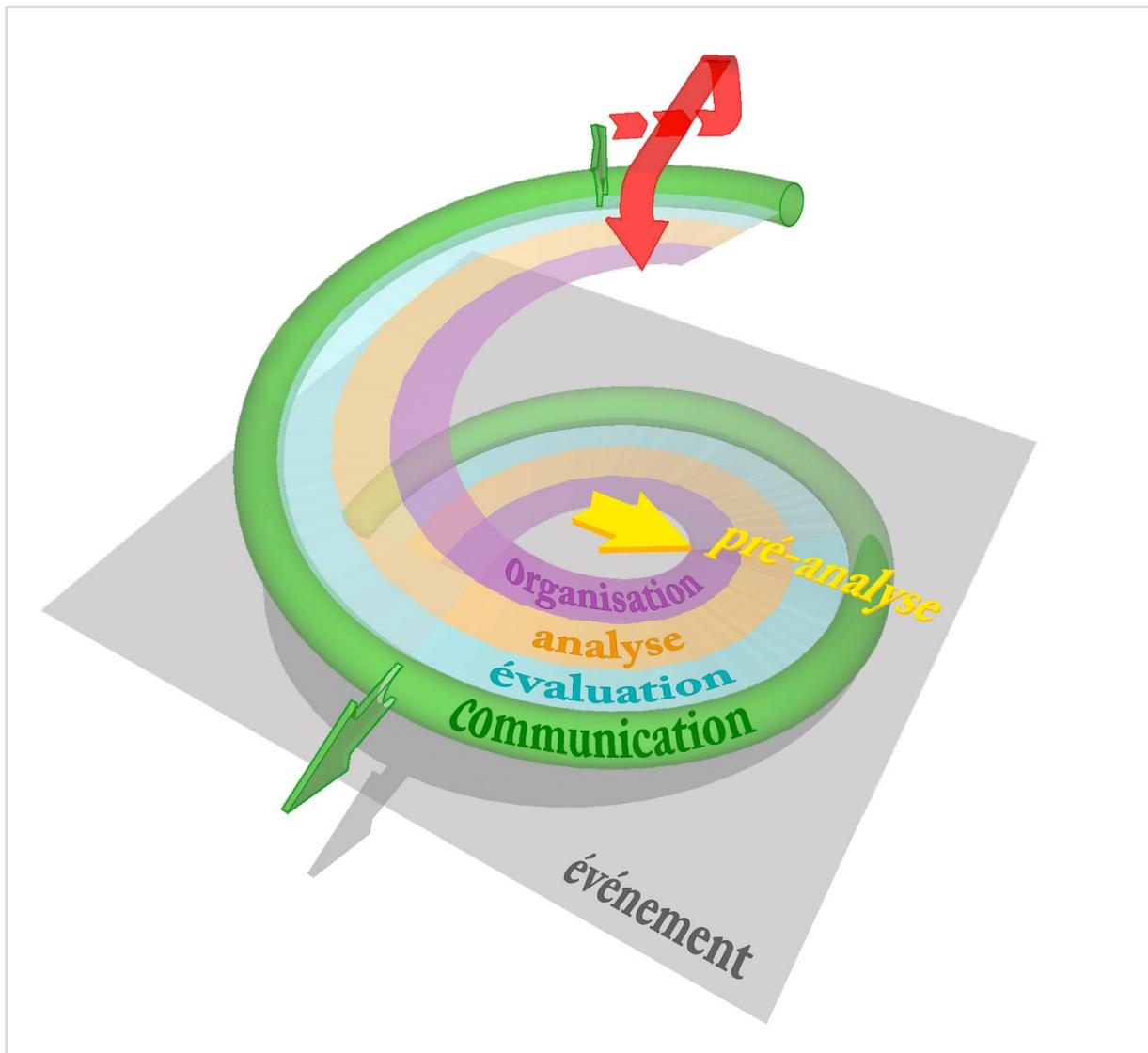


Figure 4 : Progression de la méthodologie à la suite de la Figure 3 avec un nouveau cycle d'organisation, d'analyse et d'évaluation qui mène à la communication des connaissances accumulées ; le champ d'investigation est également étendu à ce qui précède l'événement, représenté par la partie inférieure de la spirale ; en conséquence, de nouvelles données, indiquées par la flèche rouge, amorcent le niveau suivant.

Niveau 3

Étape de la méthodologie	Application au cas
<p>Organisation</p> <p>Les images sont visualisées par séries en séparant les séries réalisées par des appareils de mêmes marques et modèles. Les images sans indications sur l'appareil sont classées sur la base d'autres métadonnées, des noms de fichiers et de la description du contenu.</p>	<p>Les métadonnées permettent de séparer les images en 39 séries provenant d'appareils différents, dont 4 sont de mêmes marque et modèle. 770 autres images n'ont pas d'indications sur la caméra utilisée. Leurs noms, types, formats ou compressions renseignent sur les groupes d'images.</p>
<p>Le système de classification est affiné avec de nouvelles catégories et sous-catégories. La taxonomie des descriptions évolue en fonction des éléments à déterminer.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs lieux sont ajoutés : Kok Wua, rue Tanao, avenue Ratchadamnoen Klang et hôpital, pour répertorier les images des victimes prises dans les hôpitaux de la ville ; • les qualificatifs blessé ou décédé sont ajoutés aux personnes ; • plus de sous-catégories sont déclinées pour les objets : Véhicules médicaux, civils ou militaires ; les armes sont séparées en bouclier et bâton, gaz lacrymogène, fusil à pompe, fusil d'assaut, explosif et munition ; • les traces de sang et d'impact de projectile sont aussi ajoutées ; • les activités sont décrites par thèmes : Victime, secours et fusillade sont utilisés comme mots-clés.
<p>La sélection des images est modulée selon les besoins de l'analyse. Les images peuvent être passées en revue en utilisant un ou plusieurs critères pour filtrer les résultats.</p> <p>Des critères de qualité spécifiques peuvent être choisis selon les besoins des techniques d'analyse (Milliet, <i>et al.</i>, 2015b).</p>	<p>En vue de reconstruire la configuration des lieux, les images avec des véhicules militaires sont sélectionnées pour déterminer leurs positions et déplacements. Une autre sélection est faite avec les véhicules civils en vue d'analyser leurs déplacements.</p> <p>En prévision d'une reconstruction photogrammétrique, les images sélectionnées doivent présenter suffisamment de points de repère qui correspondent à des éléments fixes tels que des bâtiments ou des marquages routiers. De plus ces points doivent être bien répartis sur la surface des images (Lanzi, 2009).</p>
<p>Analyse</p> <p>Grâce à l'examen répété du contenu des images, la</p>	<p>Les sélections d'images par objets et zones géographiques sont utilisées pour décrire les véhicules, armes et groupes</p>

<p>reconnaissance d'objets et de personnes fournit des points de repère pour reconstruire la configuration des lieux, situer les indices et localiser le déroulement des actions.</p>	<p>de personnes présents durant les différentes phases de l'événement. Les préparatifs commencent durant l'après-midi et continuent jusqu'au déploiement des militaires dans la rue Dinso ; ils ont disposé des véhicules blindés, un camion et plusieurs jeeps. Les signes distinctifs comme les plaques d'immatriculation sont relevés. Comme la plupart des véhicules ont une position statique, ils sont utilisés comme points de repère pour situer les actions avoisinantes et repérer les mouvements des protagonistes.</p> <p>Un taxi, une camionnette blanche et deux pickups se trouvent également dans la rue. Les véhicules lourds sont immobilisés durant toute la durée de l'événement alors que les pickups et une jeep sont déplacés.</p>
<p>Dynamique des actions : La recombinaison spatiale et l'ancrage temporel des images amènent les premiers éléments sur la dynamique de l'événement. Les observations des images sont combinées en générant des hypothèses sur le déroulement de séquences d'actions avec des positions et des mouvements. La progression de l'analyse permet de déterminer les principales phases de l'événement et d'affiner la délimitation des zones d'intérêt.</p>	<p>Les explosions dans les rangs des soldats marquent le début d'une phase de mouvement des soldats vers la partie Nord de la rue Dinso. Les manifestants avancent également dans la rue ; de nombreux blessés sont évacués : Les manifestants du côté du Monument et les soldats du côté Nord de la rue. Cette phase violente se prolonge jusqu'à l'arrivée d'un manifestant agitant un foulard rouge et marchant avec des soldats depuis le Nord de la rue vers la place. Ensuite, les manifestants envahissent la rue et remontent vers le Nord en récoltant les armes et objets qu'ils trouvent sur leur passage.</p>
<p>L'exploitation des images est priorisée selon leur apport dans la reconstruction. Il s'agit d'une pesée de la plus-value des indices et de leur coût d'exploitation dans les circonstances du cas et par rapport aux questions d'intérêt (Milliet, <i>et al.</i>, 2015b).</p>	<p>Les images des victimes, de tireurs potentiels et des explosions sont traitées en priorité. Toutes les images apportant des informations sur ces phénomènes fugaces sont améliorées et combinées pour extraire et évaluer les indices.</p>
<p>La dynamique des actions peut être décomposée à l'aide de toutes les images d'une séquence vidéo pour décrire l'évolution du contenu dans le temps de la manière la plus</p>	<p>Une vidéo montre un manifestant qui marche en tenant un drapeau rouge avant qu'il soit mortellement blessé à la tête et s'effondre au sol, à côté d'un passage piéton. Afin de décomposer en détail l'activité de cette personne, les images de la vidéo sont toutes extraites afin de les visualiser une par une. Les images sont sélectionnées pour</p>

<p>fine possible, en assurant le suivi des opérations. La fusion d'images permet :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une extension de l'information spatiale en tirant profit des mouvements de caméra ; • un cumul de l'information temporelle pour décrire la dynamique des actions. 	<p>élargir le champ de vision en exploitant la perspective offerte par certains mouvements de l'appareil. Ensuite, une nouvelle sélection d'images est faite pour décomposer le déplacement de la victime sur la route et ses postures successives. La séquence d'images décrit les mouvements des différentes parties de son corps et du drapeau qu'elle tient dans la main en détail avant, au moment du tir et après, lorsqu'elle s'écroule au sol (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a, Fig. 10).</p> <p>L'intégration de cette image recomposée dans la reconstruction de l'espace permettra de déterminer la position du point d'impact.</p>
<p>Évaluation</p> <p>La combinaison des indices permet de générer et de tester des hypothèses sur les causes des éléments observés pour faire progresser le travail de reconstruction. Le raisonnement hypothético-déductif soutient l'avancée des connaissances par tâtonnements successifs (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a). Des allers-retours entre les hypothèses et les indices permettent de corroborer, infirmer ou affiner les hypothèses retenues.</p>	<p>Le caméraman est photographié durant l'après-midi alors qu'il filme avec la caméra épaulée. Les images de ce clip tout comme celles des clips de la soirée présentent la stabilité d'une caméra épaulée. Cette observation va dans le sens du fait qu'il a enregistré la dernière image avec sa caméra épaulée.</p> <p>Quant à la chronologie, les images montrent deux explosions successives suivies d'un incendie au niveau du sol, vers les véhicules blindés situés dans la Sud de la rue Dinso. Bon nombre de soldats sont blessés. Un médecin militaire est en train de s'approcher d'un blessé lorsque la seconde explosion est filmée. D'après les indications corrigées de la 1^{ère} série d'images, la première explosion est enregistrée à 20h43.</p> <p>La fin de la vidéo de la personne avec le drapeau amène une piste d'enquête. Les flashes d'appareils photographiques autour du corps inanimé de la victime ouvrent la recherche des images prises par ces témoins. La vidéo comporte une incrustation de la date et de l'heure à 21h42.</p> <p>Les soldats observés au Nord de la rue Dinso font partie des tireurs potentiels. Le traitement de ces images met en évidence l'avancée d'un groupe de soldats dans la rue pour reculer une jeep vers le Nord. Des silhouettes sont visibles sur les côtés de la rue. Plusieurs soldats tirent avec des fusils d'assaut en direction du Sud de la rue. La 1^{ère} série d'images situe ces tirs avant 21h13 (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a, Fig. 7, circle 2). Sur la base de cette même série, la fin des affrontements les plus violents se situe vers 21h40.</p>
<p>L'évaluation met en évidence les moyens d'intégrer les observations faites sur</p>	<p>L'hypothèse d'une relation entre les victimes et les tirs des soldats doit être testée en combinant les fragments</p>

<p>différentes images dans un système cohérent de construction des connaissances. Les relations entre les couches d'informations sont évaluées.</p> <p>Les examens et techniques sont choisis pour mieux maîtriser les incertitudes, valider les résultats par des expériences ou évaluer des indices en tant que moyens de preuve.</p>	<p>d'actions reconstruits jusque-là.</p> <p>Les véhicules, les victimes et les tireurs doivent être replacés dans la rue Dinso de manière à évaluer leurs positions relatives et les trajectoires de tir possibles par rapport aux obstacles présents.</p> <p>Plusieurs véhicules militaires peuvent être positionnés par rapport aux images de l'état des lieux prises le 11 avril. Les cabines téléphoniques, les marquages au sol, les façades des bâtiments et le Monument de la Démocratie peuvent être utilisés comme point de repère en effectuant un relevé sur place. La photogrammétrie est la technique de choix pour effectuer un relevé de la rue depuis les trottoirs, sans interrompre le trafic ; l'utilisation de photographies présente l'avantage de multiplier les points de vue de la rue et de faciliter l'interprétation des images traces, dont la plupart sont prises de nuit avec l'éclairage public de la rue.</p>
<p>Communication sortante</p> <p>Les résultats sont présentés avec leurs limites, les examens complémentaires possibles et les pistes d'enquête comme la recherche de matériel enregistré avant l'événement.</p>	<p>Le bilan des informations sur chaque situation décrite plus haut est présenté à l'équipe d'enquête.</p> <p>La chronologie des explosions et des tirs est expliquée en soulignant les incohérences des indications temporelles. L'importance de récupérer les images de vidéosurveillance enregistrées avant les pics de violence et celles des témoins munis d'appareils peut compléter les points de vue intégrés à la reconstruction.</p>
<p>Les besoins en données de références sur des personnes, des objets, des lieux ou des temps sont soulignés. Les images traces soutiennent directement la communication visuelle.</p>	<p>La configuration des lieux est décrite en mettant en évidence les zones et points de repère à relever pour préparer le repérage et la récolte des données sur les lieux. Le relevé photogrammétrique des lieux est planifié avec l'équipe d'intervention pour enregistrer les images de nuit, dans des conditions proches de celles des images indiciaires (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a, Fig. 5). Des images complémentaires prises de jour assurent la visibilité d'éléments fixes tels que les parties supérieures des façades ou les poteaux électriques.</p>
<p>La collaboration avec d'autres spécialistes permet d'élargir l'éventail des examens et techniques utiles à la résolution du cas (Milliet, <i>et al.</i>, 2015b).</p>	<p>Des échanges sont entretenus avec les spécialistes chargés d'examiner les dégâts et les traces sur les véhicules militaires après leur retrait de la scène. Les signes distinctifs des véhicules sont utilisés pour lier leurs constatations au positionnement des véhicules lors de l'événement.</p>
<p>L'utilisation des images lors d'entretiens avec des protagonistes ou des témoins</p>	<p>Un 2^{ème} journaliste est questionné une première fois par les enquêteurs. Il décrit en détail l'événement du jour où il a été blessé par balle. Il mentionne qu'il a enregistré des</p>

<p>peut les aider à se remémorer les événements qu'ils ont vécus et amener des informations supplémentaires.</p>	<p>images vidéo ce jour-là et un second entretien est organisé pour visionner et récupérer ces images. Lors du second entretien, il se révèle qu'il a été témoin d'autres événements qu'il avait oubliés suite au choc post-traumatique de sa blessure. Lors du visionnement des images, il complète son témoignage et transmet de nouvelles images sur ces événements oubliés.</p>
--	---

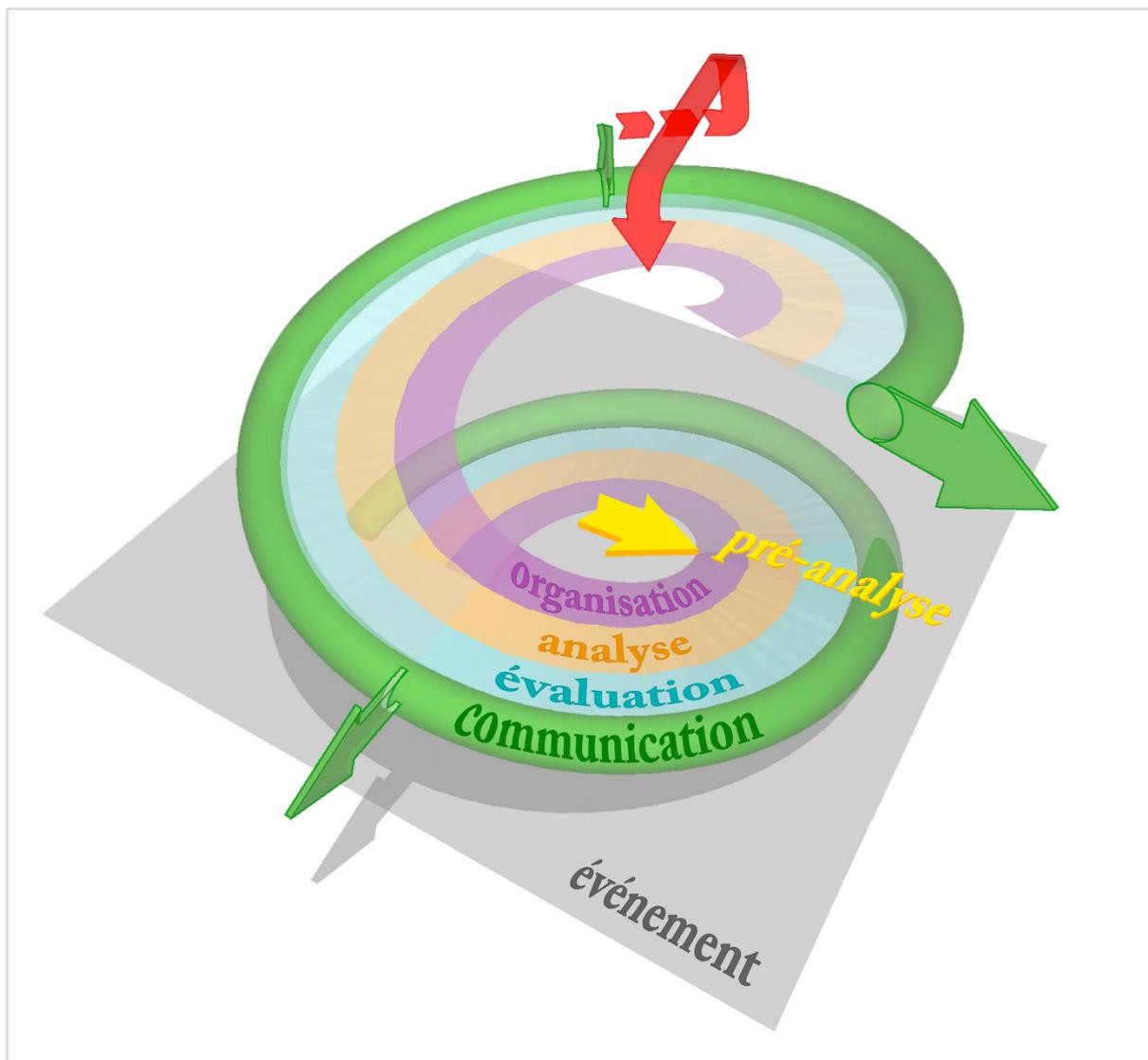


Figure 5 : Progression du travail de reconstruction à la suite de la Figure 4 après l'élargissement du champ d'investigation dans l'espace et dans le temps, communiqué par la flèche verte ; celle-ci mène à l'arrivée de matériel et d'informations, symbolisées par la flèche rouge et intégrée dans les trois étapes de base pour générer des hypothèses sur l'événement et produire des indices qui ouvrent de nouvelles pistes d'enquête.

Niveau 4

Étape de la méthodologie	Application au cas
<p>Communication entrante Des données de référence et</p>	<p>Un plan cadastral au 1:10'000 avec le nombre d'étages des</p>

<p>de nouvelles images traces, aussi antérieures à l'événement entrent dans le système.</p> <p>La récolte et le travail sur la scène sont considérés comme des étapes extérieures et autonomes. Elles sont réalisées par des intervenants variés et parfois associées à des manuels ou des procédures distinctes (Milliet, <i>et al.</i>, 2015b).</p>	<p>bâtiments est obtenu du Département de Planification Urbaine. Les images satellites, modèles 3D de bâtiments et photographies accessibles sur internet sont aussi utilisées pour approximer les élévations et formes de certains bâtiments. Un relevé photogrammétrique³ des lieux est réalisé le 31 janvier 2012 pour documenter les constructions, marquages et autres points de repère fixes de la rue Dinso, du Monument de la Démocratie et de la rue Tanao. Le protocole était basé sur l'enregistrement d'un réseau de 170 prises de vue convergentes qui couvre ~10 hectares afin de trianguler les points de repère reconnus sur les images de l'événement. Cette documentation photographique et tridimensionnelle de référence doit servir à obtenir des mesures à partir des images traces pour permettre l'interprétation des informations spatiales qu'elles véhiculent.</p>
<p>La récolte et le travail sur la scène sont formalisés comme des entrées d'information ou de matériel à l'intérieur de la spirale.</p>	<p>Des données de vidéosurveillance de la journée du 10 avril sont récupérées. Deux caméras offrent des points de vue fixes sur la place de la Démocratie et sur la rue Dinso entre 14h et 22h.</p> <p>La collaboration avec le Central Institute of Forensic Science de Bangkok permet de lier l'examen des dégâts et des traces relevées sur les véhicules militaires réalisés dans leurs locaux avec le travail de positionnement de ces véhicules sur les lieux. 1095 images supplémentaires, dont des images de leur travail sur les lieux après l'événement sont aussi transmises.</p>
<p>Organisation</p> <p>Les nouvelles images sont organisées en distinguant les données de référence, les images de la scène après l'événement et les images témoins.</p>	<p>Des sélections d'images sont faites pour chaque site à reconstruire avec celles prises sur les lieux en janvier 2012, celle des 11 et 12 avril 2010 et celles de l'événement. Ces sélections permettent à partir des repères fixes, de reconstruire la disposition des véhicules et les mouvements de personnes lors des événements sous enquête.</p>
<p>Des allers-retours sont faits entre les images organisées et les résultats d'analyse.</p>	<p>Au fur et à mesure de l'avancée de la reconstruction, de nouvelles images et clips sont puisés dans les données organisées pour les intégrer au travail.</p> <p>Quant aux données de vidéosurveillance, les images de 2 caméras avec l'affichage du temps en continu de 20h jusqu'à 22h sont préparées pour consolider le développement chronologique des événements et leur ancrage temporel (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a, Fig. 9).</p>

³À titre d'exemple, les auteurs ont développé un manuel de photogrammétrie pour effectuer le relevé sur les lieux en tenant compte des images témoins :

https://www.dropbox.com/s/p25pgoounter1c2/ManualPhotog_IPS.pdf?dl=0%2C

<p>L'organisation est aussi mise à jour en fonction des résultats d'analyse.</p> <p>Plusieurs objets similaires peuvent devenir un seul et même objet lorsque la continuité du mouvement est observée.</p>	<p>Les jeeps 3 et 4 qui ont été observées sur des images différentes à plusieurs endroits deviennent une seule et même jeep lorsqu'elle est vue en train de se déplacer d'un endroit à l'autre sur une vidéo. La jeep 3 est indiquée en remarque sur les images qui se réfèrent à la jeep 4.</p>
<p>Analyse</p> <p>La recombinaison spatiale progresse graduellement par la mesure et la représentation d'éléments fixes, puis statiques et finalement dynamiques (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a). Les éléments dynamiques sont représentés à des moments précis. Les analyses de l'espace et du temps sont intimement liées dans la progression de ces éléments dynamiques.</p>	<p>Les bâtiments, trottoirs, cabines téléphoniques et autres constructions relevés servent de couche de base à la représentation. Les passages piétons, marquages signalétiques et véhicules sont placés dans le modèle tridimensionnel les uns après les autres en évaluant s'ils ont été déplacés d'une image à l'autre. Les explosions sont repositionnées en estimant la zone de leur épiceutre par rapport aux véhicules adjacents. La position et la posture des victimes dans la configuration des lieux permettent de limiter les origines de tirs possibles. Les obstacles suffisamment élevés et solides écartent des trajectoires de tirs. Les victimes et les tireurs sont repositionnés au moment du tir, à un temps déterminé par leur ancrage temporel (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a, Fig. 6 et 7).</p>
<p>Le calage temporel se construit sur une ligne de base composée de la série d'images qui dure le plus longtemps et qui a le plus grand nombre d'images par unité de temps. Cette séquence représente le meilleur spécimen des activités. Les séries d'images sont considérées comme des couches successives avec leurs relations de simultanéité, antériorité ou postériorité.</p> <p>Les contenus des couches sont comparés en vue d'affiner leurs relations. La reconstruction de la configuration des lieux renforce la compréhension des phénomènes lumineux et sonores utilisés pour</p>	<p>Les vidéosurveillances fournissent une ligne de temps continue entre 20h et 22h. La 1^{ère} série de vidéos et les clips du caméraman sont situés à partir de leurs métadonnées corrigées. Ce point de départ est utilisé pour chercher les explosions dans le contenu des images de surveillance. La caméra fixe située au Sud de la rue Dinso filme une portion de trottoir en plongée avec un mur sur la gauche, un arbre au centre et 4 cabines téléphoniques alignées le long du côté droit de l'image. Le reflet de la lueur de la première explosion sur les soldats et les vitres des cabines permet de situer l'image de la première explosion à 20h44m57s (Truth for Reconciliation Commission of Thailand, 2012, p.104). Celle-ci provient d'un clip du caméraman, lié au son de la vidéo qui montre ensuite la seconde explosion, confirmée par un reflet sur la vitre d'une des cabines, enregistré par la caméra située de l'autre côté de la rue.</p> <p>Une séquence de flashes d'appareils pointés dans différentes directions permet de situer le tir fatal à la personne munie du drapeau à 20h57m08s, et non à 21h42 d'après les incrustations de l'image (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a, Fig. 8).</p>

<p>combiner les images dans une chronologie.</p>	
<p>Les actions sont décrites et décomposées en détail. La combinaison des images révèle de nouveaux indices sur les actions et leurs relations, qui n'étaient pas apparents. Les connaissances progressent et limitent les explications plausibles sur le déroulement de l'événement reconstruit.</p>	<p>L'enregistrement de la dernière image du journaliste est situé de manière précise à 20h53m02s ((Truth for Reconciliation Commission of Thailand, 2012, p. 110).</p> <p>Les séquences des soldats en train de tirer se déroulent à 21h16. Il n'y avait pas de relation directe entre les tirs observés et les images des victimes touchées, qui soit compatible avec le temps très court entre la percussion de la munition et l'impact du projectile sur la cible.</p>
<p>Avec le concours de spécialistes, d'autres analyses peuvent être mises en œuvre pour exploiter l'audio, des sons, la dynamique ou encore la comparaison de personnes ou d'objets particuliers.</p>	<p>Une autre vidéo est ajoutée et située sur la ligne du temps. Elle montre qu'un cocktail Molotov est lancé depuis la place de la Démocratie en direction de la rue Dinso. L'incendie observé est provoqué par ce projectile incendiaire et non pas par une des deux autres explosions, nettement plus rapides et violentes, observées avant et après le lancer.</p> <p>La distinction entre l'incendie provoqué par le cocktail Molotov et les explosions amène un indice supplémentaire au spécialiste des explosifs sur le type d'engin utilisé : Des grenades, ainsi que sur les circonstances et la dynamique des tirs ou des lancers manuels.</p> <p>Les spécialistes des armes à feu décrivent les marques et modèles des armes observées sur les images.</p>
<p>Évaluation</p> <p>L'évaluation des erreurs est faite au fur et à mesure de la recombinaison spatiale. Les hypothèses sur la position, la forme ou les dimensions des objets sont testées afin de les affiner et de retenir celles qui expliquent le mieux les résultats.</p>	<p>La photogrammétrie met en exergue les modifications intervenues au niveau d'un passage piéton entre 2010 et 2012 (déplacement) en indiquant une erreur systématique sur la position des bandes jaunes lors de leur triangulation depuis différents points de vue (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a, Fig. 4 et 5). L'hypothèse de deux marquages différents du passage piéton est retenue comme une explication plausible. En conséquence, seules les images du passage piéton de 2010 sont utilisées pour replacer correctement la victime avec le drapeau, touchée à proximité de ce passage.</p>
<p>Une représentation interactive permet d'explorer les relations spatiales entre les indices et de limiter les explications plausibles.</p>	<p>Les lieux avec les éléments repositionnés à partir des images sont représentés dans un modèle 3D interactif. Ce modèle permet d'afficher ou de masquer chaque indice, d'ajouter des dessins ou des mesures ou d'ajuster l'apparence des objets (filaire, surfaces, transparence, textures, etc.), le champ de vision ou encore le point de vue. Le changement de point de vue permet d'évaluer les</p>

	<p>positions relatives ou la visibilité depuis un endroit ou un autre. Les couches d'informations sont visualisées ensemble ou séparément en ajoutant des lignes et des distances pour évaluer des hypothèses sur l'origine des lancers de grenades et des tirs.</p>
<p>La cohérence de la chronologie entre les points de vue disponibles est évaluée par rapport à la continuité des mouvements et aux réactions attendues. L'incertitude sur l'échantillonnage temporel de différents appareils peut être estimée.</p>	<p>La chronologie de l'événement décrite depuis plusieurs points de vue montre les explosions et les réactions des manifestants, qui se baissent et reculent, et des soldats qui se retirent vers le Nord avec de nombreux blessés. Un feu, des flashes ou les tirs enregistrés sur des vidéos différentes confirment leur simultanéité. La « simultanéité » de deux séquences d'images ne persiste généralement pas sur toute la durée des clips. Une ou plusieurs images de décalage constituent l'incertitude minimale due aux conditions d'enregistrement. L'utilisation du déplacement d'une personne ou la situation relative d'un clip avant ou après les autres clips d'une série sont associés à une incertitude proportionnelle à l'étendue de la période sans autre ancrage temporel.</p>
<p>Vérification : Un pair passe en revue les résultats. Il peut aussi compléter les mesures pour évaluer l'influence de l'opérateur sur les erreurs.</p>	<p>La vérification par un pair amène un regard indépendant et critique sur les observations et les mesures. La répétition de certaines mesures peut confirmer ou faire évoluer l'estimation des erreurs associées aux points d'ancrage temporel ou aux positionnements.</p>
<p>Les éléments corroborés sont accumulés dans le système de connaissances qui précise les circonstances de l'événement. Les images sont confrontées avec d'autres informations. Les hypothèses sur le déroulement de l'événement s'affinent et se cristallisent.</p>	<p>La décomposition des actions observées de part et d'autre de la rue Dinso est vérifiée. Des témoignages contradictoires sont écartés en discutant avec les enquêteurs pour continuer de restreindre les alternatives à prendre en considération. La description des circonstances de l'événement à l'aide du modèle 3D et de la chronologie offre un canevas solide pour situer les témoignages et informations provenant d'autres sources.</p>
<p>Des échanges peuvent être effectués en vue d'exams complémentaires (balistique, médecine légale, etc.).</p>	<p>Les images des personnes décédées sont utilisées pour l'interprétation des lésions et de leurs causes, notamment par les spécialistes des armes à feu et de la balistique.</p>
<p>Présentation</p> <p>La présentation est l'étape finale de mise en forme des résultats de manière adaptée aux destinataires.</p> <p>La présentation peut être plus ou moins formelle, orale ou</p>	<p>Des plans à différentes échelles (1:2000, 1:1000 et 1:500) et des vues en perspectives sont préparés pour représenter la configuration de la rue Tanao, de la place de la Démocratie et de la rue Dinso avec les constructions, les marquages au sol, les véhicules, les points de vue des caméras de surveillance et de la dernière image du caméraman, les explosions, les victimes et les tireurs. La</p>

<p>écrite.</p>	<p>direction du Nord, l'échelle et une légende sont ajoutées (Milliet, <i>et al.</i>, 2015a, Fig. 6). Il est spécifié que certaines observations sont réalisées à des temps différents. Il s'agit d'un agrégat d'actions qui se sont déroulées à des moments différents. Ils sont ajoutés à une même représentation, qui donne une vue d'ensemble des situations reconstruites.</p>
<p>La nomenclature des personnes et des objets est mise à jour pour désigner les entités de manière simple et cohérente.</p>	<p>Les jeeps sont renumérotées pour obtenir une progression continue lors de leur description. Les jeeps 3 et 4 sont décrites comme un seul et même véhicule, la jeep 3.</p> <p>La chronologie de l'événement est présentée de manière synthétique en mettant en évidence des événements-clés servant de points de référence temporels : Les explosions, le décès du journaliste, le décès du manifestant avec le drapeau et les tireurs observés.</p>
<p>Les étapes du travail sont présentées comme une séquence logique d'opérations et de techniques appliquées.</p>	<p>La méthode de travail est présentée comme la récolte des données, l'examen des images avec l'organisation, l'analyse du contenu, l'analyse spatiale, l'analyse chronologique, des suggestions d'examens complémentaires et la présentation des résultats.</p>
<p>Le rapport écrit est relu par un pair pour vérifier les résultats et les conclusions, qui peuvent être revisités à la lumière de nouvelles informations.</p>	<p>Le rapport écrit expose la mission, la méthode de travail, le matériel examiné, les résultats obtenus, une discussion, une conclusion avec les éléments de réponse aux questions et les références utilisées.</p>

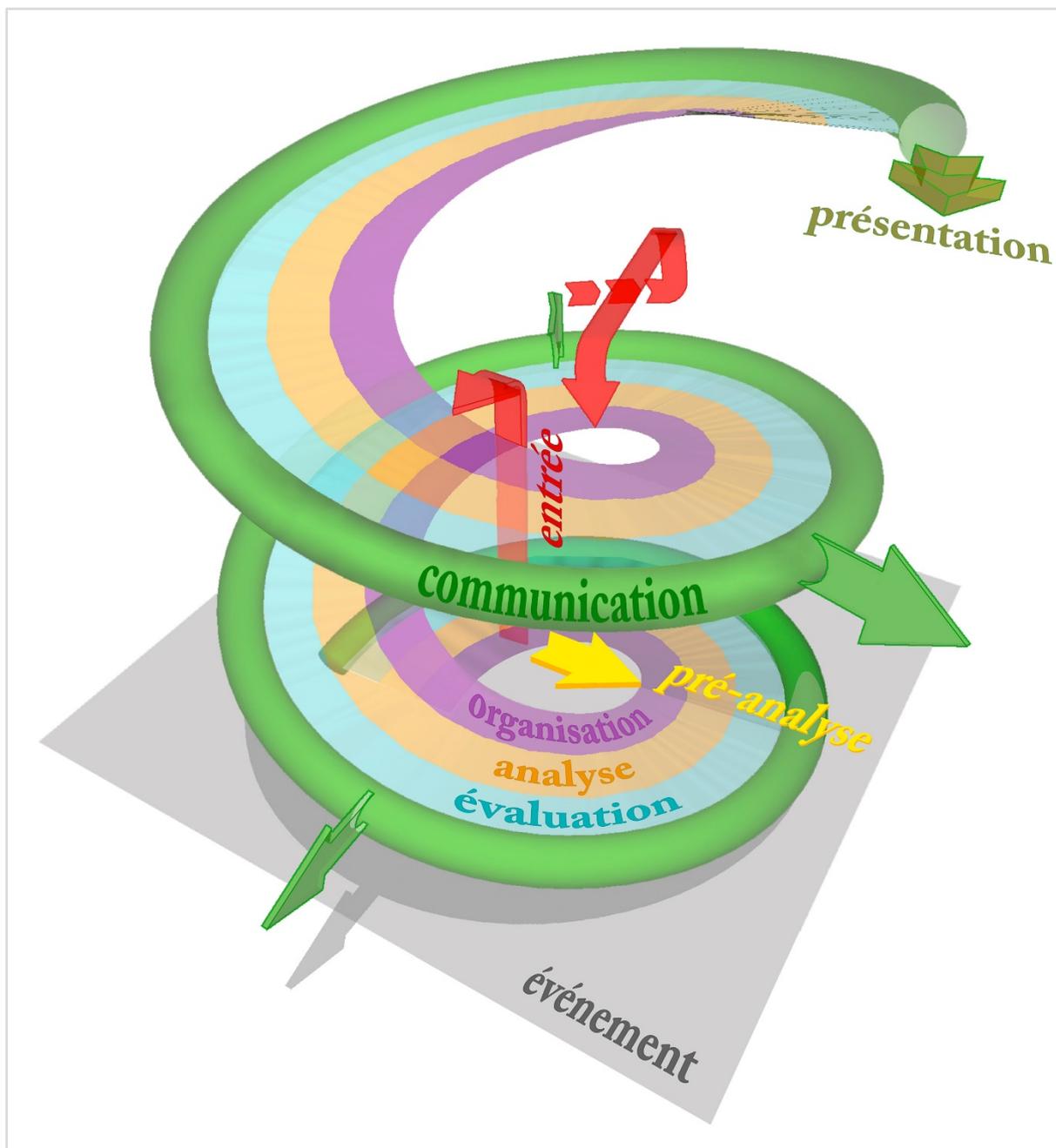


Figure 6 : Représentation hélicoïdale de la méthodologie avec une progression en spirale des connaissances de l'événement au fil des cycles d'organisation, d'analyse et d'évaluation des images et des informations qui entrent dans le système après la Figure 5 ; ces entrées peuvent aussi être antérieures à l'événement d'intérêt, comme celles représentées par la flèche rouge venant de la partie située en dessous de l'événement ; les échanges avec d'autres spécialistes font avancer les connaissances ; la flèche vert moutarde indique la présentation de l'événement reconstruit.

Discussion

La méthodologie présentée fournit une base de travail solide pour des cas qui comportent des images traces ambiguës, enregistrées par une ou plusieurs caméras. Elle formalise une utilisation des images en plusieurs niveaux interconnectés qui explicitent l'augmentation graduelle du potentiel d'information des images. Le fait d'anticiper ce potentiel influence la gestion des questions, des informations, du matériel et des examens envisagés dans les nouveaux cas. C'est une solution pour guider le travail et le raisonnement du praticien afin de

structurer l'information véhiculée par les images traces en niveaux distincts d'observation, d'organisation, d'analyse, d'évaluation et de communication. Cette manière de représenter l'exploitation des images permet de percevoir directement toutes les dimensions de leur contribution pour reconstruire un évènement.

La description systématique augmente le nombre d'observations, la combinaison d'images de plusieurs systèmes d'enregistrement, notamment des images périphériques à priori sans lien avec l'évènement, amène des informations nouvelles qui ne peuvent pas être décelées en traitant les images séparément. Les échanges associés à chaque niveau sont en lien avec des étapes externalisées comme la récolte de nouvelles traces et de données de référence sur certains endroits, objets ou personnes ; le matériel et les données récoltées amorcent le niveau suivant de reconstruction. La collaboration avec les enquêteurs met en évidence ce nouveau paradigme : Leur perception des possibilités d'exploitation des images évolue ; la formalisation permet la découverte du potentiel caché des images.

Cet effort de formalisation doit pousser les praticiens à intégrer des images qui proviennent de sources ouvertes ou externes à leur intervention. Les auteurs sont convaincus que les efforts de développements doivent être centrés sur les méthodes de travail intégrant toutes les images traces existantes plutôt que sur des critères de sélection d'images en fonction de leur qualité. L'exemple présenté met aussi en évidence l'apport d'images antérieures ou périphériques à l'évènement d'intérêt pour élargir l'exploitation des traces.

Les exemples démontrent que des images, même ambiguës ou de mauvaise qualité, peuvent amener des informations utiles au travail de reconstruction par la combinaison avec d'autres images ou informations. La consolidation des informations produites et le croisement des sources contribuent à la validation des observations et à la cohérence des résultats. L'observation des contenus de plusieurs images renforce l'appréciation de leur authenticité. Cette appréciation intervient lorsque la reconstruction a progressé, et qu'elle converge vers un évènement cohérent. C'est une plus-value de la méthode qui apparaît en fin de processus et qui mérite d'être consignée. La logique de construction des connaissances sert de cadre à l'utilisation de techniques, qui ne se limitent pas à celles qui ont été appliquées au cas présenté.

Les examens sont souvent choisis selon les compétences et techniques disponibles plutôt qu'en fonction des questions qui se posent. Le spécialiste a tendance à prioriser des examens qu'il maîtrise ou qu'il peut aisément mettre en œuvre. Le recours à un regard extérieur ou une prise de recul peut permettre d'élargir les possibilités et d'obtenir de nouveaux indices. Les praticiens mentionnent un large éventail d'examens et de techniques, dont l'application peut faire appel à des compétences spécifiques (Milliet, *et al.*, 2015b). Ce constat laisse penser que la bonne intégration d'une méthode passe par son appropriation par les praticiens et sa complémentarité avec les pratiques en vigueur.

L'intégration de la méthodologie dans les pratiques usuelles est liée aux institutions et à leur organisation, aux protocoles et procédures standardisées, aux manuels d'utilisation, aux connaissances des personnes et aux techniques à disposition (Lennard, 2013). Les protocoles et procédures qui définissent respectivement des systématiques d'utilisation de techniques ou d'outils et des consignes à suivre pour réaliser une tâche particulière sont compatibles avec la méthodologie proposée : Elles sont déployées en regard des besoins des différentes étapes de la méthodologie. Chaque cas est unique même si certains examens semblent plutôt liés à certains types de situation et de questions récurrentes (Milliet, *et al.*, 2015b).

La présentation du cas a été faite de manière synthétique, presque schématique, afin de bien comprendre les niveaux de la méthodologie et ses principales étapes de mise en œuvre. Les échanges évoqués peuvent être plus riches et soutenus que ce qui a été mis en avant de

manière ponctuelle dans la communication sortante et entrante. Même si les échanges sont bidirectionnels et continus, une délimitation par niveaux clarifie les informations transmises en regard de ce qui a été observé et exploité jusque-là. Plusieurs formes de communication ont été mentionnées. Le choix d'un moyen de communication approprié et la mise en forme ont pour but de produire des informations claires qui sont bien comprises par les interlocuteurs tout au long de l'enquête.

L'utilisation de moyens interactifs et faciles d'accès lors de la progression du travail de reconstruction offre l'avantage de pouvoir tester de nouvelles hypothèses sur le déroulement de l'évènement. Une fois que les hypothèses se cristallisent et que les résultats sont présentés, des perspectives fixes sont utilisées pour amener des éléments de réponse clairs et circonscrits par rapport à la question posée. Plus les données sont abondantes et les évènements complexes, plus la liberté de présentation est grande et nécessite un soin particulier dans sa formulation. La présentation est accompagnée de moyens didactiques qui assurent l'accès au contenu de toutes les parties prenantes (Milliet, *et al.*, 2015a, Fig. 6, 10 et 11). De nombreux choix interviennent dans la création d'une représentation appropriée et une recherche approfondie serait bienvenue pour mettre au point des lignes directrices à ce sujet.

Une étude sur la communication des résultats de l'exploitation d'images en science forensique impliquerait de traiter des aspects tels que l'intégration des corrections d'objectifs sur l'image d'un paysage ou d'un visage, la fusion d'images pour cumuler des informations temporelles ou étendre l'information spatiale dans un panorama, la représentation d'objets, de personnes ou d'éléments abstraits et leurs niveaux de détails, l'utilisation de textures photographiques ou de couleurs schématiques, le choix de l'éclairage, de la perspective, de l'objectif (Milliet et Sapin, 2016) ou encore la présentation du déroulement d'un phénomène dans le temps réel par rapport à une trace ou un spécimen du temps.

La représentation d'un évènement qui tient compte d'un espace tridimensionnel capable d'évoluer avec la chronologie est traitée dans sa conception avec une approche la plus ouverte possible, qui permette d'intégrer différentes hypothèses. La communication des résultats, par effet de simplification nécessaire, cristallise certaines hypothèses. La simplification a tendance à masquer les éléments reconstruits et les degrés de confiance qui leur sont associés. La relation entre chaque élément et les images qui ont permis de l'obtenir est essentielle à maintenir. La distinction entre les faits et les observations, d'une part, leur interprétation et les hypothèses présentées, d'autre part, doit être explicite et transparente pour éviter une appréciation erronée de la valeur des informations présentées. La structuration du travail par niveaux et étapes successives facilite cette distinction.

Une recherche sur le traitement des images par fusion est en cours afin de décrire une démarche complète. Les démarches de formalisation du travail permettent d'obtenir des résultats mesurables qui sont intégrés dans un système cohérent. Cela contribue à éviter les biais de perception, inhérents aux différences entre la vision humaine et l'appareil qui enregistre des images (Milliet et Sapin, 2016).

Conclusion

Une méthodologie de reconstruction d'évènements à partir d'images traces est présentée à l'aide de deux exemples pratiques. Elle formalise plusieurs niveaux d'utilisation des traces laissées par le système d'enregistrement et des traces visuelles de l'évènement. Ces niveaux, d'observation, d'exploitation et de communication séparent des couches d'informations qui font progresser la reconstruction et alimentent les échanges avec les parties prenantes de l'enquête. Ces échanges mettent en évidence les articulations avec le travail sur la scène, la

récolte de nouvelles traces et les données de référence sur les lieux, les périodes, les objets ou les personnes d'intérêt.

Le canevas proposé permet d'élaborer une stratégie appropriée au cas en ayant à l'esprit le potentiel de mesure, de combinaison et de vérification des traces observées. Ce paradigme renforce le rôle des images traces dans les enquêtes et procédures judiciaires en offrant une solution pour approcher un cas, en décortiquer les questions et anticiper ce que peuvent apporter les informations visuelles. L'observation anticipe les informations qui peuvent être récupérées sur l'espace tridimensionnel et le temps en s'accommodant des différences entre la vision humaine et les appareils photographiques. Cette nouvelle manière d'observer est partagée avec les enquêteurs, les magistrats et les personnes confrontées à l'observation d'images témoins.

La méthodologie extrait et combine des indices à partir d'images traces pour consolider et vérifier les informations. Elle met en valeur l'information véhiculée par des traces de piètre qualité ou de signification ambiguë, en soulignant la contribution d'images antérieures ou périphériques à l'évènement sous enquête. L'intégration des traces dans un système de construction des connaissances par niveaux successifs révèle des indices invisibles au premier coup d'œil. La mise en valeur de cette plus-value latente des images constitue une des forces de la méthodologie présentée. La cohérence des informations obtenues à l'aide de plusieurs sources d'images renforce également l'appréciation de leur authenticité.

Les connaissances accumulées de manière systématique et structurée permettent une communication graduelle. Chaque niveau amène des informations qui peuvent être échangées sous la forme d'images traitées qui soutiennent la description taxonomique (Fig. 5), de représentations de l'espace en 2D (Milliet, *et al.*, 2015a, Fig. 6) ou en 3D (Fig. 7) avec la position des appareils, de chronologie animée qui combine plusieurs sources d'images (Truth for Reconciliation Commission of Thailand, 2012, pp. 104 et 110), de séquences d'actions décrites en positions successives (Fig. 10) ou encore des observations évaluées selon plusieurs hypothèses (Fig. 11). Le contenu des images, enrichi par les résultats de la reconstruction, élargit les possibilités de visualiser et de présenter les informations. Ces possibilités méritent d'être développées et étudiées afin de formaliser la création et le partage de représentations correctes et claires de l'espace-temps des évènements reconstruits. Cet axe de recherche offre des perspectives pour mieux maîtriser les informations véhiculées par les images et faciliter les échanges d'informations entre les parties prenantes de l'enquête.

Remerciements

Les auteurs remercient l'École des sciences criminelles de l'Université de Lausanne pour les images présentées dans cet article et le Département Fédéral des Affaires Etrangères pour avoir mandaté plusieurs experts forensiques suisses auprès de la TRCT, dont les collègues ont largement contribué au travail de terrain lié à l'exploitation des images.

References

- CHISUM W.J. (2011), Crime reconstruction and evidence dynamics. in: The forensic laboratory handbook procedures and practice, MOZAYANI A., NOZIGLIA C. (Eds.), Humana Press, pp. 105-122.
- EUROPEAN NETWORK OF FORENSIC SCIENCE INSTITUTES (2015), Project S-FIVE (Standardisation of Forensic Image and Video Enhancement), <https://s-five.eu/>, last access 08.04.2016.

- KIND S.S. (1987), *The scientific investigation of crime*, Forensic Science Services, Harrogate, England.
- LANZI L. (2009), *La photogrammétrie numérique combinée avec la modélisation 3D : Applications aux sciences forensiques*. Thèse de doctorat, Institut de Police Scientifique, Université de Lausanne.
- LENNARD C. (2013), Principles of quality assurance. in: *Encyclopedia of Forensic Sciences*, SIEGEL J.A., SAUKKO P.J., HOUCK M.M. (Eds.), Vol. 3, Academic Press, Waltham, pp. 509-514.
- MILLIET Q., DELÉMONT O., MARGOT P. (2014), A forensic science perspective on the role of images in crime investigation and reconstruction. *Science & Justice* **54** (6), pp. 470-480.
- MILLIET Q., DELÉMONT O., SAPIN E., MARGOT P. (2015a), A methodology to event reconstruction from trace images. *Science & Justice* **55** (2), pp. 107-117.
- MILLIET Q., JENDLY M., DELÉMONT O. (2015b), An innovative and shared methodology for event reconstruction using images in forensic science. *Forensic Science International* **254**, pp. 172-179.
- MILLIET Q., SAPIN E.G. (2016), Integration of trace images in three-dimensional crime scene reconstruction. *Journal of Forensic Science and Medicine* **1** (2), pp. 48-52.
- SCIENTIFIC WORKING GROUP ON IMAGING TECHNOLOGY (2012), Section 23: Best practices for the analysis of digital video recorders , Version 1.0 2012.06.11, SWGIT guidelines for the forensic imaging practitioner, pp. 1-14.
- SCIENTIFIC WORKING GROUP ON IMAGING TECHNOLOGY (2013), Section 14: Best practices for image authentication, Version 1.1, 2013.01.11, SWGIT guidelines for the forensic imaging practitioner, pp. 1-11.
- SCIENTIFIC WORKING GROUPS ON DIGITAL EVIDENCE AND IMAGING TECHNOLOGY (2015), SWGDE/SWGIT Digital & Multimedia Evidence Glossary, Version 2.8, 2015.05.27, SWGDE/SWGIT Guidelines & Recommendations, pp. 1-24.
- TIMAN T., OUDSHOORN N. (2012), Mobile cameras as new technologies of surveillance? How citizens experience the use of mobile cameras in public nightscapes. *Surveillance and Society* **10** (2), pp. 167-181.
- TRUTH FOR RECONCILIATION COMMISSION OF THAILAND (2012), Final report july 2010 – july 2012, Bangkok, Thailand, pp. 1-378.

Brief Communication

Integration of Trace Images in Three-dimensional Crime Scene Reconstruction

Quentin Milliet, Eric Germain Sapin

Forensic Imaging, Institute of Forensic Science, School of Criminal Justice, University of Lausanne, Batochime, CH-1015 Lausanne, Switzerland

Abstract

Forensic image analysis has greatly developed with the proliferation of photography and video recording devices. Trace images of serious incidents are increasingly captured by first responders, witnesses, bystanders, or surveillance systems. Image perception is exposed with a special emphasis on the influence of the field of view on observation. In response to the pitfalls of the mental eye, a way to systematize the integration of images as traces in three-dimensional crime scene reconstruction is proposed. The systematic approach is based on the application of photogrammetric principles to slightly modify the usual photographic documentation as well as on the early collection and review of available trace images. The integration of images as traces provides valuable contributions to contextualize what happened at a crime scene based on the information that can be obtained from images. In a wider perspective, the systematic analysis of images fosters the use and interpretation of forensic evidence to complement witness statements in the criminal justice system. This article outlines the benefits of integrating trace images into a coherent reconstruction framework in order to improve interpretation of their content. A solution is proposed to integrate perception differences between the field of view of cameras and the human eye.

Key words: Image perception, interpretation, photogrammetry, witness images

INTRODUCTION

The proliferation of photographs and videos increases the perspectives of using them as traces of criminal activities or unusual events. Witnesses, bystanders, and first responders such as firefighters or policemen commonly record pictures of what they see. Public and private surveillance systems are also common sources of trace images.

The quality of these traces influences the perspectives of using them in investigations. Images may provide information about actions and events even if their quality is limited. Quality imposes obvious limitations, but fragmentary or degraded traces still have an informative potential.^[1] This potential is increased when images are combined in a coherent reconstruction framework (space and time).^[2] Complementarity and synergy are difficult to foresee if separate pieces of information are not systematically integrated.

The use of trace images has three major impacts on crime scene processing:

- The photographic documentation of the scene is done

according to a protocol^a in order to systematize the collection of metric information from the areas covered

- A larger area is covered according to the available perspectives, especially on the pathways or roads to access and leave the scene and its immediate vicinity
- Direct information about criminal activities provides an indication for collecting of evidence.

Photogrammetry allows extracting information about the position, shape, and dimensions of objects or persons visible in images. It offers great perspectives to use traces at any moment throughout the investigation in order to perform measurements or extract information in a controlled way.

^ahttps://www.dropbox.com/s/p25pgoounterlc2/ManualPhotog_IPS.pdf?dl=0, Manual of forensic photogrammetry, 2013

Address for correspondence: Mr. Quentin Milliet, Institute of Forensic Science, School of Criminal Justice, University of Lausanne, Batochime, CH-1015 Lausanne, Switzerland. E-Mail: quentin.milliet@unil.ch

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License, which allows others to remix, tweak, and build upon the work non-commercially, as long as the author is credited and the new creations are licensed under the identical terms.

For reprints contact: reprints@medknow.com

How to cite this article: Milliet Q, Sapin EG. Integration of Trace Images in Three-dimensional Crime Scene Reconstruction. J Forensic Sci Med 2016;2:48-52.

Access this article online	
Quick Response Code: 	Website: www.jfsmonline.com
	DOI: 10.4103/2349-5014.172009

[Downloaded free from <http://www.jfsmonline.com> on Thursday, November 24, 2016, IP: 130.223.186.238]

Milliet and Sapin: Trace Images and 3D Crime Scene Reconstruction

However, direct observation of images has limitations due to the inherent problems of image perception. This paper outlines the pitfalls of image perception and exposes the analysis of an example inspired from a criminal case in order to avoid errors and facilitate a structured interpretation of images.

MATERIALS AND METHODS: IMAGE PERCEPTION

The pitfalls of image perception are mainly due to the differences between human vision and photographic systems. Here, focus is on the influence of the field of view angle on the appearance of objects in images. The mechanisms of the appreciation of image content are exposed and a solution to reduce the risk of errors is proposed.

Human vision perceives three-dimensional (3D) objects in a particular manner. The system is based on the perception of contrasts by two eyes. This binocular vision system allows one to estimate the shape, size, and position of objects placed at closed range, mid distance, and long distance from the observer under certain conditions. Reference points are required to superimpose images coming from both eyes and estimate depth. Binocular disparities, specified by the different views of the left and right eyes, provide information about the 3D structure of objects.^[3] The apparent field of view of different observers may vary considerably. The average is close to 90°. ^[4] The visual limits of the eyes are compensated by scanning a wider area with eyes or body movements. In the monocular vision, the lens of the eye has a focal length of around 16 mm. The density of the photoreceptors (cones and rods) decreases with the angular distance from the fovea, located at the center of the retina.^[5] Visual acuity is the highest at the fovea and decreases with the angular distance. The retina's size is 32 mm along the horizontal meridian⁶. The monocular field of view is approximately 53°.

Cameras record monocular images of 3D objects. Depth information is projected on the image plane and becomes flattened. The field of view angle depends on the sensor format and the focal length of the lens. When the focal length is equal to the format's diagonal, the camera's field of view corresponds approximately to the human monocular vision (−43° mm for a full frame format, 24 mm × 36 mm). Otherwise, the field of view angle is either narrower with a longer focal length or wider with a shorter focal length. In the latter case, the cone of observation of the lens is wider than the human eye. Changing this cone modifies the perception of the objects placed at closed range, mid distance, and long distance from the camera. These modifications are ruled by the laws of perspective. The perspective is the relationship between the position of objects and their size perceived from a particular point of view. A point of view is determined by the position and the orientation of the observer or camera.

Figure 1 depicts the questioned image inspired from a homicide. The case involved the recognition of a car from

^b<http://webvision.med.utah.edu/book/part-xiii-facts-and-figures-concerning-the-human-retina/>, last checked 08.10.2014

^cUsually the value of 50 mm is used for normal focal length.

surveillance images. The car was moving, and the lighting was very dim because images were recorded during the night. The license plate was illegible. The major challenge was to determine the shape, the width, and the length of the car.

Figure 1 reproduces a perspective similar to the surveillance image but in ambient daylight and without distortions for the sake of clarity. The surveillance camera has a sensor of 1/2" and a focal length of eight mm that corresponds to the standard focal length [Table 1]. The full frame format equivalent of 43 mm is used for the demonstration. In the Figures 1-3, images of the same car are recorded using different focal lengths of, respectively, 43, 24, and 85 mm, corresponding to the different field of view angles [Table 1]. These image reconstructions are carried out with the software SketchUp Pro 2015 (©Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, California, USA) that enables the user to vary the image according to a specific focal length. The different visuals resulting from cameras equipped with different focal lengths can thus be fabricated. The point of view is translated along an axis, and the orientation of the camera is adjusted so that the back of the car occupies a similar position and number of pixels in the three images [Figures 4 and 5]. Observers have the same reference between all the images in order to visualize the effect of different field of view angles on the estimation of the car's length. The features of the back of the vehicle indicate a Mitsubishi Pajero. The question remains whether it is the short three doors model with a length of 4.4 m or the long five doors model with a length of 4.9 m.

The perception of 3D space depends on the field of view angle. This angle cannot be determined from the image using an observation criterion. The mental eye of the viewer is unrelated to the geometry of the camera; observers tend to substitute templates instead of analyzing the perspective.^[4] The size, shape, and position of objects are only derived from observation. Wrong representations of the perspective lead to mistakes in visual accuracy in the analysis of images.^[6] This phenomenon is demonstrated by the observation of the Figures 1-3. The shape and the dimensions (length and width) may be estimated differently in each image. The estimations are

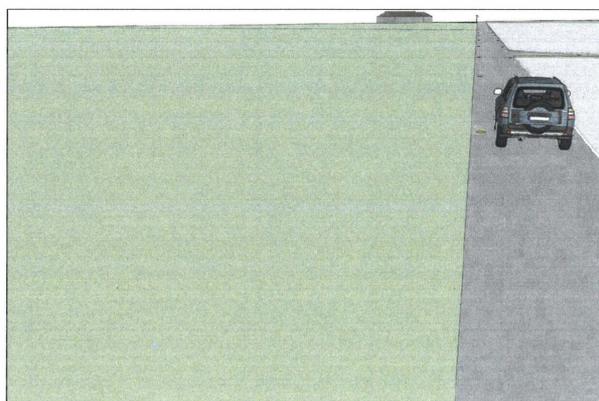


Figure 1: Questioned image of the car recorded with a standard focal length (43 mm)

[Downloaded free from <http://www.jfsmonline.com> on Thursday, November 24, 2016, IP: 130.223.186.238]

Milliet and Sapin: Trace Images and 3D Crime Scene Reconstruction

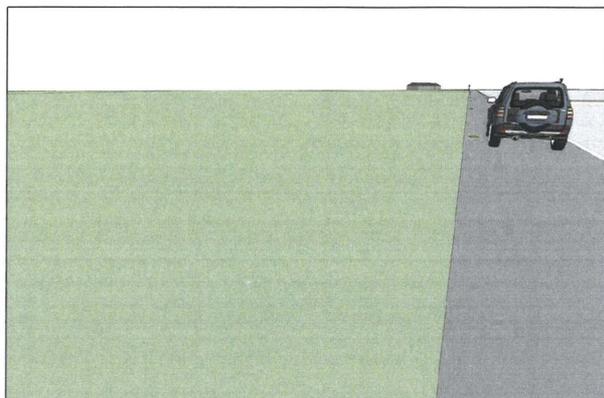


Figure 2: Image of the car recorded with a focal length of 24 mm (wide-angle lens)

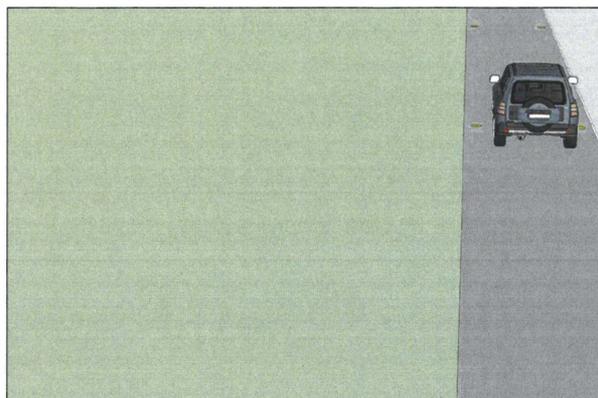


Figure 3: Image of the car recorded with a focal length of 85 mm (narrow-angle or long-focus lens)

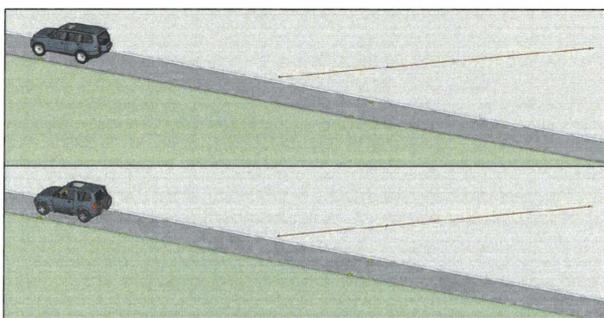


Figure 4: Parallel projections of the long Pajero with five doors (up) and of the short one with three doors; the three cameras of Figures 1-3 are visible on the red axis in both images

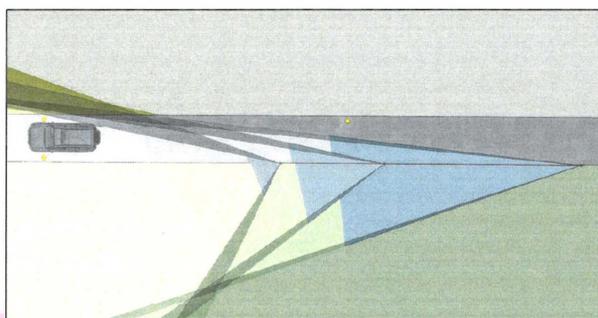


Figure 5: Top view of the long Pajero with five doors, which was recorded from the cameras of Figures 1-3; the cameras' fields of views are indicated (from left to right the 24, 43, and 85 mm focal lengths)

rather intuitive when relying on observation only, even when the focal length is known. In this regard, metadata usually provides indications on the focal length, format, and field of view. These indications should be used as an early warning system to guide observation.

RESULTS: IMAGE INTEGRATION

The only way to extract accurate information from images is to integrate them in a systematic framework. In order to complement regular observation, images are integrated in a measurement system based on the principles and methods of photogrammetry.^[7] In forensic photogrammetry, trace images are combined with reference data from the scene. Such data is usually collected during crime scene processing with photographs, sketches, measurements, laser scans, etc.,. The procedure^a based on photographs and measurements is recommended because no special equipment is required. Recording appropriate images only implies a few changes from usual crime scene photography, which is routinely used. In our example, circular yellow targets were placed on the road to provide visible landmarks every 20 m. These landmarks were recorded by the surveillance camera in daylight in order to facilitate the combination of trace images with the scene photographs and measurements.

The scene coverage is wider to include the entry and exit paths to and from the scene. The documentation of these paths allows the integration of trace images recorded by witnesses, bystanders, or surveillance systems. Even remote surveillance systems may provide valuable clues about the activities of persons or vehicles present in the vicinity of the scene. In the case described as an example, another surveillance camera located more than 100 m away from the car provided valuable information about these activities.

The photogrammetric system structures image perception. The format and focal length are calculated to consider the effective field of view (the focal length is 46.25 mm; the format is 24.55 mm × 36.83 mm). The values may vary from one camera or lens to another according to manufacturing tolerances. Distortions are also taken into account to build an accurate geometric model of each camera (interior orientation). The model is based on the central projection. Points of view are determined to integrate images into the scene; the exterior orientation describes the camera's position and angles (tilt, roll, swing). Once images are integrated, the position, shape, and dimensions of visible objects can be measured with a known error.^[7] Photogrammetry provides metric information with the associated uncertainties along each axis. Such information

[Downloaded free from <http://www.jfsmonline.com> on Thursday, November 24, 2016, IP: 130.223.186.238]

Milliet and Sapin: Trace Images and 3D Crime Scene Reconstruction

Table 1: Cameras models, sensor designation (imperial fractions such as 1/3.2" or 1/2" refer to standard sizes of TV camera tubes), recording mode, sensor size (manufacturer values or approximate calculations), diagonal, image size, crop factor, different focal lengths, and the corresponding field of view angles. The size of compact and APS-C sensors varies between manufacturers like Nikon or Sony

Camera sensor	Canon 5D mark II Full frame		Canon 50D APS-C		Canon G9 Compact		iPhone 4S Mobile phone 1/3.2"		Samsung GT-I9300 Mobile phone 1/3.2"		Panasonic WV-CL920 1/2"	
	Photo	HD video	Photo	Video	Photo	Video	Photo	Video	Photo	Video	Photo	Video surveillance
Sensor size (mm)	24×36	20.25×36.00	24×36	13.40×22.30	14.90×22.30	13.40×22.30	24×36	3.42×4.54	3.42×4.54	2.55×4.54	2.55×4.54	4.84×6.45
Diagonal (mm)	43.30	41.30	43.30	26.80	26.80	26.01	43.30	5.68	5.68	5.21	5.21	8.06
Image size (pixels)	3744×5616	1080×1920	3744×5616	3168×4752	3168×4752	950×1584	2448×3264	2448×3264	2448×3264	1080×1920	1080×1920	482×762
Crop factor	1.00	1.05	1.00	1.60	1.60	1.66	7.62	7.62	7.62	8.31	8.31	5.40
Focal length (mm)	43.30	41.30	24	85	24	24	4.28	4.28	3.70	3.70	3.70	8
Field of view (°)	53.13	53.13	84.11	28.58	58.35	56.90	67.13	62.65	75.02	70.30	70.30	53.47

answers the question: The car visible in the image is the long Pajero 5 doors model with a length of 4.9 m [Figure 4].

Image integration leads to determine the photographic conditions. Knowledge of these conditions structures image information and avoids the inherent pitfalls of image perception.

DISCUSSION

Integration may also provide information on interactions between persons visible in the images. The analysis of the recording conditions allows the determination of the protagonists' positions and postures. Positioning witnesses back in the scene brings insights on what they saw, recorded and described about an event. As Locard wrote about witness perception issues: "We only see what we look at, and we only look at what we have in mind."^[8] In hindsight, the distinction between their observation and their interpretation becomes clearer. In other words, it contributes to disambiguate direct experiences from reconstructed memories.

The pitfalls of image perception may have consequences on the interpretation of images. Small objects may be confused with big ones; distances may be wrongly estimated. Besides the extraction of metric information, the global understanding of the scene configuration may be inaccurate. The awareness of the human vision's limitation is not enough for a proper interpretation of images. The tendency to consider photographs as accurate representations of reality comforts the observers to trust their mental eye instead of relying on the use of an appropriate geometric system.

The differences between human vision and cameras are not limited to the field of view. Color and light perception are other aspects that mitigate the efficiency of direct observations from images. The information that can be extracted from images depends on the recording conditions.

The recognition of objects from videos by different observers has been evaluated under changing conditions (image quality, object size and movements, lighting). The target size in pixels is the most influent parameters on the recognition rates. The effect of motion is less pronounced than the target size. The decline in recognition rates due to the motion of the objects is even more pronounced for the case of smaller targets.^[9]

Techniques such as photogrammetry have been applied to criminal cases for over a century with specialized equipment and knowledge.^[10] The use of metric techniques is facilitated with digital images. Such technologies can nowadays be used routinely in investigations. The field of their application will continue to extend with new developments that increase the accuracy of interpretation with a decrease in the time required. Computer vision automatic methods such as depth estimation from single images represent a promising field of research. Analyses of the scene depth from the content of images were compared to the ground truth in order to assess the system performance. Depth estimation is a challenging problem, since local features alone are insufficient to estimate depth at a point,

[Downloaded free from <http://www.jfsmonline.com> on Thursday, November 24, 2016, IP: 130.223.186.238]

Milliet and Sapin: Trace Images and 3D Crime Scene Reconstruction

and one needs to consider the global context of the image in order to achieve accurate and systematic 3D depth estimation from a single image.^[11] Image integration is compatible with automatic techniques. Solutions must be found for the fusion of different forms of data.

CONCLUSION

This paper proposes a practical solution to avoid part of the pitfalls inherent to image perception. The casework example clearly demonstrates that direct observation is not sufficient to properly determine the perspective and interpret trace images correctly. The mental eye of the observer leads to mistakes that can be avoided by an analysis of the perspective. The integration in a photogrammetric framework allows determining the camera geometry and extracting accurate information from images. This practical solution contributes to proper interpretation of image content.

Acknowledgment

We thank the School of Criminal Justice from the University of Lausanne and the Institute of Evidence Law and Forensic Science from the China University of Political Science and Law for supporting this work.

Financial support and sponsorship

School of Criminal Justice from the University of Lausanne, Institute of Evidence Law and Forensic Science from the China University of Political Science and Law.

Conflicts of interest

There are no conflicts of interest.

REFERENCES

1. Milliet Q, Delémont O, Margot P. A forensic science perspective on the role of images in crime investigation and reconstruction. *Sci Justice* 2014;54:470-80.
2. Milliet Q, Delémont O, Sapin E, Margot P. A methodology to event reconstruction from trace images. *Sci Justice* 2015;55:107-17.
3. Domini F, Caudek C. Perception and action without veridical metric reconstruction: An affine approach. In: Dickinson SJ, Pizlo Z, editors. *Shape Perception in Human and Computer Vision an Interdisciplinary Perspective*. London: Springer London; 2013.
4. van Doorn AJ, de Ridder H, Koenderink J. Picture perception and visual field. In: Rogowitz BE, Pappas TN, de Ridder H, editors. *Human Vision and Electronic Imaging*. Vol. XVIII. California, USA: SPIE; 2013.
5. Allen E, Triantaphillidou S. *The Manual of Photography*. 10th ed. Oxford: Focal Press; 2011.
6. Weiss SL. *Forensic Photography: The Importance of Accuracy*. New Jersey: Prentice Hall; 2008.
7. Luhmann T, Robson S, Kyle S, Hartley I. *Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications*. Dunbeath, Scotland: Whittles Publishing; 2006.
8. Locard E. *L'enquête Criminelle et les Méthodes Scientifiques*. Paris: E. Flammarion; 1920.
9. Dumke J, Ford CG, Stange IW. The effects of scene characteristics, resolution, and compression on the ability to recognize objects in video. In: Rogowitz BE, Pappas TN, editors. *Human Vision and Electronic Imaging*. Vol. XVI. California, USA: SPIE; 2011.
10. Bertillon A. Description d'un nouvel appareil de photographie métrique appliquée aux constatations judiciaires. *Rev Suisse Photogr* 1903;9:193-6.
11. Saxena A, Chung S, Ng A. 3-D depth reconstruction from a single still image. *Int J Comput Vis* 2008;76:53-69.



Annexe 6. Comparaison des méthodologies appliquée et partagée

Le tableau 1 résume la comparaison thématique de la méthodologie appliquée (MA) et de la méthodologie partagée (MP). Les étapes sont indiquées en *italique*. Le **bleu** indique les éléments conservés et le **rouge** ce qui a été retiré ou modifié dans la MC.

Thème	Méthodologie appliquée (MA)	Méthodologie partagée (MP)
Structure	Cyclique avec données en entrée (<i>analyse préliminaire</i>) et séquence d'étapes avec cheminement libre , communication en sortie comme produit de l'analyse	Linéaire avec itérations spécifiques , cheminements alternatifs formalisés , communication continue et bidirectionnelle qui fait progresser l'analyse jusqu'à l'étape finale de <i>présentation</i> ,
Étapes	<i>Récolte</i> , <i>Organisation</i> , <i>Reconstruction</i> , <i>Évaluation</i>	<i>Pré-analyse</i> , <i>Travail sur la scène</i> , <i>Analyse</i> , <i>Évaluation</i> , <i>Présentation</i>
Avant le cycle	<i>Analyse préliminaire</i> : Intégration des informations du cas, formulation des questions, modèle générique d'approche du cas	<i>Pré-analyse</i> : Proportionnalité et balance entre la valeur ajoutée et le coût, stratégies d'analyse pour la résolution de cas types étape par étape
Étape externalisée	<i>Récolte</i> : « Scène de crime étendue », contribution active à la détection et la collecte de matériel à partir de sources multiples : Ouvertes, données en ligne (réseaux sociaux, boîtes mails), téléphones portables, ordinateurs	<i>Travail sur la scène</i> : Collecte de vidéosurveillances, relevé d'objets, étape première pour les intervenants sur la scène de crime, une étape parfois faite par d'autres, avant ou après l' <i>analyse</i>
Étape 1	<i>Organisation</i> : Systématique de description, gestion de grandes	<i>Pré-analyse</i> : Critères de qualité spécifiques à certaines questions ou tâches

	quantités d'images, appréciation du potentiel informatif Sélection itérative	Sélections avec extraction et conversion, analyse et illustrations
Étape 2	<i>Reconstruction</i> : Élément clé de l'analyse, recombinaison spatiale, ancrage temporel, décomposition des actions	<i>Analyse</i> : Large éventail de spécialités et de techniques, validation préalable des techniques
Étape 3	<i>Évaluation</i> : Gestion des incertitudes, moyen de preuve, hypothèses	<i>Évaluation</i> : Deuxième avis, influence de l'opérateur, tests de contrôle
Produit du cycle	Communication ponctuelle	<i>Présentation</i> : Rendu final (point de non-retour)

Tableau 1 : Comparaison thématique de la méthodologie appliquée (MA) et partagée (MP) ; les spécificités conservées ou modifiées dans la méthodologie consolidée sont indiquées par les couleurs.

Ci-après, les thèmes (colonne de gauche du tableau 1) sont discutés pour souligner les spécificités de la MA et de la MP.

Structure

La structure cyclique de la MA est une représentation flexible de la progression des connaissances avec des étapes qui peuvent se répéter pour intégrer des données nouvelles. En revanche, la MP désigne des possibilités concrètes énoncées par les praticiens en termes de scénarios d'analyse ou de voies usuelles pavées d'itérations particulières et récurrentes. Ces possibilités varient d'un cas à l'autre. La présence de multiples cheminements peut cependant amener de la confusion dans la formalisation des pratiques.

Par rapport à la communication sortante de la MA, les praticiens ont mis en avant dans la MP une communication bidirectionnelle avec divers interlocuteurs tout au long de l'enquête. L'ajout d'un point de non-retour par les praticiens souligne le poids et les conséquences que peuvent avoir les conclusions. L'impossibilité de revenir en arrière après le rendu des résultats paraît évidente, mais n'était pas formalisée dans la MA.

Étapes

La MA ajoute aux étapes la classification et l'appréciation du potentiel informatif pour faciliter l'organisation et la sélection des données. Pour les praticiens, cette étape est vraisemblablement intégrée dans un système de gestion des informations et de suivi des cas comme une banque de données. Par conséquent, elle paraît triviale et automatique pour les praticiens.

La sélection des images semble être plutôt intuitive que structurée et explicite dans les expériences pratiques. La MA souligne la dimension cognitive de la sélection, qui évolue avec la progression des connaissances du cas pour actualiser la désignation des indices avec un potentiel informatif sur les éléments qui restent à déterminer. La MP ne l'a pas placée de manière claire dans une étape ou l'autre, ce qui souligne le fait que des processus de sélection interviennent lors des différentes étapes.

Dans la MP, le *travail sur la scène*, associé à la *récolte* pour les praticiens, est formalisé comme une étape alternative avec des avis divergents sur sa place dans le processus. Elle est soit placée comme point de départ, soit après la *pré-analyse*, soit avant ou même après l'*analyse*. Ce flou dénote la place ambiguë de la *récolte* et du *travail sur la scène* dans le processus d'exploitation. Ces étapes sont indépendantes et peuvent se dérouler en parallèle au processus. Par contre, aussi bien la MA que la MP soulignent leur synergie avec l'exploitation des images.

Dans la seconde étape, la MA met en avant la mesure de l'espace et du temps pour explorer les circonstances de manière plus efficace et limiter les hypothèses sur le déroulement de l'évènement. L'enchaînement des faits précisés améliore la compréhension et permet de s'approcher de la réalité de l'évènement à l'aide des points de vue disponibles. Les informations des images traces (2D) sont intégrées dans l'espace (3D) et dans le temps (4D). Les témoignages, les points de vue et d'autres informations sont situés dans leur contexte et acquièrent une signification qui augmente la compréhension des liens de causalité entre les activités. Cette plus-value repose sur la systématique de la recombinaison spatiale, de l'ancrage temporel et de la dynamique des actions de la MA.

L'intitulé de l'étape a été changé de *reconstruction* à *analyse* dans la MP. Cette dernière perçoit plutôt la reconstruction comme le chapeau de l'*analyse* ou un produit du travail, de manière analogue au processus d'identification qui peut mener à l'individualisation. La réalisation du produit implique le recours à de multiples techniques d'analyse, terme plus générique qui englobe un plus grand nombre de spécialités et techniques et dont la recombinaison spatiale, l'ancrage temporel et la dynamique des actions font partie.

Quant à la troisième étape d'*évaluation*, il convient d'ajouter une remarque par rapport à la différence relevée dans le tableau 1. Même si cela n'apparaît pas de manière explicite dans la MA, l'auteur travaille de manière systématique avec le concours d'un pair. Il répète certaines mesures pour évaluer l'influence de différents opérateurs sur les erreurs ; son avis est une garantie de vérification de la reconstruction. La MP formalise le rôle des pairs et délimite le travail individuel de manière explicite.

Cette comparaison thématique de la MA et de la MP complète les articles publiés en expliquant les choix liés à l'élaboration de la MC.

Protocole d'entretien

Introduction

Bonjour, je m'appelle Quentin Milliet et j'effectue une thèse de doctorat à l'Institut de Police Scientifique de l'Université de Lausanne dans le domaine de l'imagerie forensique. Ma recherche a pour but d'élaborer une approche pour reconstituer des événements à partir d'images traces (images témoins, de surveillance - CCTV, de téléphone portable, etc.).

Dans le cadre de cette recherche, les entretiens ont pour but de renseigner sur l'approche utilisée par les praticiens pour reconstruire des événements à partir d'images traces.

Les personnes interrogées sont des praticiens confrontés à l'examen forensique des images comme traces et expérimentés dans la reconstruction d'événements / d'activités à partir d'images.

La récolte de données se fait au moyen d'entretiens individuels semi-structurés d'une à deux heures, avec enregistrement audio et prise de notes.

Avant de débiter l'entretien, je vous remets un formulaire de consentement qui résume les objectifs de cette recherche, votre participation, la confidentialité des données récoltées, les avantages et inconvénients ainsi que votre droit de retrait à tout moment.



UNIL | Université de Lausanne
Ecole des sciences criminelles
Institut de police scientifique
bâtiment Batochime
CH-1015 Lausanne

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Titre de la recherche : Reconstruction d'évènements à partir d'images

Chercheur : Quentin Milliet, Doctorant
École des Sciences Criminelles, Institut de Police Scientifique,
Université de Lausanne.

Directeur de recherche : Olivier Delémont, Professeur
École des Sciences Criminelles, Institut de Police Scientifique,
Université de Lausanne.

A Renseignements aux participants

1. Objectifs de la recherche

Cette recherche a pour but de développer une approche pour reconstruire des évènements à partir d'images traces. Une approche basée uniquement sur l'expérience d'un chercheur n'est pas directement utilisable en pratique. Il faut d'abord comprendre comment les praticiens utilisent les images traces, prises par des témoins ou des caméras de surveillance, pour reconstruire des évènements. En effectuant des entrevues basées sur les expériences d'un certain nombre de praticiens, une approche ancrée dans leur pratique peut voir le jour. Cet ancrage pratique ne peut se faire que par le partage d'expériences réelles qui décrivent les spécificités des cas traités et des approches choisies.

2. Participation à la recherche

Votre participation à cette recherche consiste à prendre part à un entretien semi-dirigé, sous forme de discussion libre, d'une durée prévue entre une à deux heures environ. Cette rencontre se tiendra en un lieu et au moment qui vous conviendront le mieux.

Avec votre accord, cette entrevue sera enregistrée.

3. Confidentialité

Les renseignements que vous nous donnerez demeureront confidentiels. Chaque participant à la recherche se verra attribuer un numéro et seul le chercheur aura accès à la liste des participants et au numéro qui leur aura été attribué. De plus, les renseignements seront conservés dans un endroit sûr. Aucune information permettant de vous identifier d'une façon ou d'une autre ne sera publiée. Ces renseignements personnels seront détruits au plus tard le 1er décembre 2013; seules les données non identifiables pourront être conservées après cette date.

4. Avantages et inconvénients

En participant à cette recherche, vous pourrez contribuer à l'avancement des connaissances sur la reconstruction d'évènements à partir d'images et favoriser une meilleure approche de cette problématique grâce au partage de vos expériences.

Excepté le temps que vous consacrez à l'entretien, aucun inconvénient n'est lié à votre participation à cette recherche.



5. Droit de retrait

Votre participation est entièrement volontaire. Vous êtes libre de vous retirer en tout temps, sur simple avis verbal, sans préjudice et sans devoir justifier votre décision.

Si vous décidez de vous retirer de la recherche, vous pouvez communiquer avec le chercheur, à l'adresse électronique indiquée à la dernière page de ce document. Les renseignements qui auront été recueillis avant votre retrait seront alors détruits.

B Consentement

Je déclare avoir pris connaissance des informations ci-dessus, avoir obtenu les réponses à mes questions sur ma participation à la recherche et comprendre son but, sa nature, ses avantages et inconvénients.

Après réflexion et un délai raisonnable, je consens librement à prendre part à cette recherche. Je sais que je peux me retirer en tout temps sans préjudice et sans devoir justifier ma décision.

Nom : _____ Prénom : _____

Signature : _____ Date : _____

Je déclare avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients de l'étude et avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Nom : _____ Prénom : _____

Signature : _____ Date : _____

Pour toute question relative à l'étude, ou pour vous retirer de la recherche, vous pouvez communiquer avec M. Quentin Milliet, doctorant à l'Institut de Police Scientifique de l'École des Sciences Criminelles de l'Université de Lausanne, à l'adresse électronique suivante : Quentin.Milliet@unil.ch

Un exemplaire du formulaire d'information et de consentement signé est remis au participant.

Canevas d'entretien

1. Pour quelle organisation travaillez-vous ?

2. Quel est votre fonction au sein de cette organisation ?
 - a. Combien d'années d'expérience avez-vous ?

3. Pouvez-vous me résumer brièvement votre formation et votre parcours professionnel ?

4. Comment reconstruisez-vous un évènement à partir d'images traces?
Images témoins, surveillance, éviter l'ID de personnes, processus / approche générale plutôt que techniques
À partir de votre expérience, pouvez-vous m'expliquer comment

5. Avez-vous déjà utilisé des images témoins pour reconstruire un évènement (accident, crime) ?
 - a. Si oui dans quels cas ?

6. Êtes-vous d'accord de choisir un cas reconstruit à partir d'images (complexité, fusillade...) et de me l'exposer en détail ?

a. Pouvez vous m'expliquer le contexte du cas ?

i. Pouvez-vous me résumer les circonstances du cas ?

ii. Quelles étaient les questions initiales ?

1. Les avez-vous reformulées ?
2. Si oui, de quelle manière ?

iii. Quelle quantité de matériel avez-vous examiné ?

1. Combien d'images, photographies ou vidéos ?

b. Comment avez-vous procédé dans ce cas ?

Si vous êtes d'accord je vais essayer de schématiser votre approche avec vous

Identifier et rappeler chaque étape pour la détailler

i. Comment procédez-vous pour cette étape en particulier ?

ii. Pouvez-vous me donner plus de détails sur _____ ?

iii. Est-ce que ce schéma résume correctement l'approche que vous venez de me décrire ?

iv. Souhaitez-vous le modifier ou ajouter des détails ?

v. Est-ce que l'ordre est correct ?

1. Si non, dans quel ordre procédez-vous ?

Schématiser l'approche, le processus => Accord de la personne interrogée

7. Est-ce que vous utilisez la même approche dans d'autres cas ?
 - a. Si oui, pour quels cas et à quelle fréquence ?

8. Est-ce que vous travaillez avec d'autres personnes sur de tels cas ?

9. De qui recevez-vous ce genre de mandats ?
 - a. Pour qui est-ce que vous faites ce genre de reconstructions ?

Voilà, nous arrivons au terme de cet entretien, est-ce que vous souhaitez rajouter quelque chose ?

Merci d'avoir participé à cet entretien, je vous tiendrai informé des résultats de ma recherche par e-mail si vous le souhaitez.

Adresse de contact :

Durée :

Remarques :

RE: Event reconstruction from images

<mail adress>

jeu. 24/10/2013 13:43

À : Milliet Quentin <Quentin.Milliet@unil.ch>;

Salut Quentin,

Pas mal le diagramme. Il y a beaucoup d'info sur une seule page.

Voici mes remarques par rapport à ce que je vois ici :

- la pre-analyse peut survenir également après "work on scene". En quelque sorte la pre-analyse n'est pas nécessairement la première étape du travail. On va sur un événement, on enregistre/recupère tout et ensuite on fait une préévaluation.
- il manque le moment de l'établissement des hypothèses: il est généralement fait au départ (pre-analyse). Sinon on ne sait pas exactement ce qu'on fait et pourquoi.
- le procureur peut intervenir aussi tout au début du travail. Dans ton diagramme on a l'impression qu'il intervient uniquement à la fin.
- pour nous dans l'étape "reporting" on a jamais de "peer review". C'est la fin du boulot.

Voilà. Bonne présentation ;-)

Participant

-----Message d'origine-----

De : quentin.milliet@unil.ch [<mailto:quentin.milliet@unil.ch>]

Envoyé : mardi, 22. octobre 2013 18:38

À : Quentin.Milliet@unil.ch

Cc : Adresse mail

Objet : Event reconstruction from images

Cher participant, Sehr geehrter Teilnehmer, Dear interviewee,

Thank you for your participation in the interview about your approach of the reconstruction of events from images.

From the interviews done so far, I sketched an emergent methodology in order to confront it to the participants of the Digital Imaging Working Group (DIWG, ENFSI network) in Athens. Please find enclosed the result of the focus group discussion with these practitioners from European countries (1 page).

Please send me your comments and remarks in French, German or English about this draft methodology (diagram) until next week so I can include them before sending the results back to the DIWG members.

Best regards,

Quentin Milliet

PhD student in Forensic Imagery
Institute of Forensic Science
School of Criminal Justice
Batochime, University of Lausanne
CH-1015 Lausanne, Switzerland
Tel.: +41 (0) 21 692 46 26
Fax : +41 (0) 21 692 46 05

Annexe 9. Qualité des images

L'appréciation de la qualité des images repose sur des mesures objectives et subjectives de qualité, dont le but est lié à la quantification de la relation entre le sujet et sa reproduction par l'image (Allen et Triantaphillidou, 2011). Les images témoins impliquent généralement l'absence du sujet, ce qui ramène le jugement de qualité à l'image.

Du point de vue des fabricants, les cinq attributs principaux mesurables de manière objective sont la tonalité, la couleur, la résolution, la netteté et le bruit. Les artefacts numériques sont liés à ces aspects et peuvent faire l'objet d'une métrique spécifique.

Les mesures objectives liées au système d'acquisition et de production de l'image numérique sont limitées puisqu'au final, c'est l'observateur qui décide si l'image est bonne. La perception, la mémoire et l'expérience de l'observateur déterminent son jugement de la qualité de l'image. Les mesures subjectives dépendent du système de la vision humaine (Milliet et Sapin, 2016), des conditions d'observation et des critères de qualité de l'observateur, basés sur des facteurs cognitifs susceptibles de varier entre individus et au cours du temps.

L'évaluation subjective de la qualité change aussi selon le contexte d'utilisation et la finalité de l'image. Les praticiens spécialisés dans la reconstruction 3D et *le travail sur la scène* mettent en avant l'évaluation des points de correspondance fixes entre les images et la scène. D'autres soulignent la taille des objets ou des personnes.

Les critères forensiques s'articulent autour de l'information pertinente avec une emphase sur l'utilité des indices. Par exemple, des catégories d'exploitabilité peuvent être utilisées pour évaluer la qualité des images faciales à des fins de comparaison (présentation effectuée lors de la journée du groupe de travail suisse de police scientifique dans le domaine de l'imagerie, 2014). L'idée est d'associer les critères de qualité usuels aux catégories pour trier les traces selon leur potentiel indiciaire et prioriser les examens susceptibles de donner de bons résultats. Les critères subjectifs distinguent la perceptibilité et l'acceptabilité des différences de qualité en vue des examens envisagés.

Ces exemples évoquent une analogie avec deux propriétés visuocognitives communément utilisées en photographie : L'utilité, définie comme la précision de la représentation visuelle de l'image, et la naturalité, définie comme le degré de correspondance entre la représentation visuelle et les connaissances de la réalité, stockées dans la mémoire. Ces deux propriétés influencent le processus d'interprétation de la qualité, qui évalue la correspondance entre la représentation visuelle et les connaissances de la réalité. Ces attributs sont évalués subjectivement, mais corrélés à des mesures objectives de bonne netteté, reproduction tonale et de faibles décalages dans la reproduction des teintes (Allen et Triantaphillidou, 2011). Le sujet influence également la perception de la qualité par :

- (1) Les critères de l'observateur qui varient selon le type d'indice et le niveau de détails requis pour la reconnaissance.
- (2) La visibilité des artefacts ou du bruit qui est différent dans les hautes fréquences (détails fins) que dans les basses fréquences (zones uniformes).
- (3) Les opérations numériques de compression ou traitements qui modifient plus les détails fins (compression) ou encore les contours (renforcement de la netteté).

Les modèles métriques de qualité d'image ont pour but de fournir des mesures objectives de la qualité des images. Ils combinent des attributs liés à la performance des systèmes d'acquisition et de production d'images avec des modèles du système visuel humain afin d'évaluer la perception de la capacité d'information des images. De nombreux modèles métriques existent pour mesurer la compression, la couleur, etc. Ces derniers reposent sur des expériences psychophysiques pour quantifier les attributs qualitatifs subjectifs d'image pour différents observateurs dans des conditions contrôlées. Des analyses statistiques permettent l'élaboration d'échelles psychométriques, qui décrivent la mesure de la réponse humaine à un continuum de qualité d'image ou d'attributs particuliers (bruit, netteté, etc.). Cette réponse est distinguée de la nature physique et quantifiable des attributs. Des échelles ont été créées pour l'évaluation du potentiel d'interprétation ou de renseignement des images (Irvine, 1997). Ce dernier se décompose en :

- (1) Le niveau de reconnaissance (détection, distinction, identification).
- (2) L'objet.
- (3) Le qualificatif, par ex. un modèle de véhicule ou un détail.

Sur cette base, le National Institute of Standards and Technology (NIST) développe une échelle forensique appelée : « Forensic image examination rating scale (FIERS)¹⁷ » (Fenimore et Chang, 2012) pour évaluer la qualité d'images tests. L'idée est de tester l'applicabilité d'un modèle de qualité pour évaluer le potentiel d'interprétation lié à des tâches forensiques spécifiques. Les plus-values peuvent être de quantifier les exigences de qualité, d'automatiser l'appréciation de grandes quantités d'images, de mesurer la fiabilité dans les processus d'examen et de quantifier le potentiel des images.

¹⁷ http://www.nist.gov/oles/upload/7-Fenimore_Charles-ForensicImageExamRatings-Talk-20121130.pdf, site visité le 20.07.2017