

# Phidias, la modélisation 3D pour tous les gendarmes

La chaîne de modélisation Phidias doit permettre à tout militaire de la gendarmerie, via son smartphone Gendarmerie ou tout autre capteur photographique, de modéliser un objet ou une scène de crime ou d'accident. Il s'agit pour le gendarme de réaliser des photographies avec un mode prise de vue spécifique, de les transmettre sur un serveur sécurisé Gendarmerie, et de lancer une modélisation 3D automatique. En retour, le résultat se présente sous la forme d'un fichier PDF 3D, manipulable avec viewer pdfclassique.

## PROBLÉMATIQUE :

Les premières actions sur scène de crime ou d'accident sont souvent les plus déterminantes pour l'enquête, comme l'évoque déjà Bischoff<sup>1</sup> en 1938 : « *Les constatations sont la pierre angulaire de tout procès* ». Si elles sont incomplètes ou non pertinentes au regard des traces présentes, une perte d'information irréversible se produit. Ainsi, depuis de nombreuses années, la Gendarmerie nationale investit dans le domaine de la criminalistique, notamment au profit des primo-intervenants. Aujourd'hui, l'ensemble des élèves-gendarmes est formé aux constatations et obtient en sortie d'école la qualification de Technicien en identification criminelle de proximité (TICP). Grâce aux avancées scientifiques, de nouveaux moyens de collecte des traces, plus efficaces, apparaissent. L'utilisation d'outils numériques, de plus en plus intégrés aux actions techniques et scientifiques, permet de gagner en efficacité. Actuellement, les constatations sont décomposées en plusieurs phases, au sein desquelles de nombreuses mesures et clichés photo-

graphiques sont réalisés. Ces données ne sont encore aujourd'hui exploitées que majoritairement suivant un aspect bidimensionnel : la troisième dimension est encore délaissée.

Afin de pouvoir combler ce fossé technologique, le rôle de l'expert en gendarmerie est prédominant. En effet, de par son expérience et les dossiers traités, il se doit de faire partager ses connaissances et d'être acteur de l'innovation technologique. Utilisant l'aspect tridimensionnel dans leurs expertises au quotidien, un groupe d'experts du département Signal-Image-Parole de l'Institut de recherche criminelle de la Gendarmerie nationale (IRCGN) paraît tout désigné pour remplir cette mission. Depuis quelques mois, notamment grâce à l'usage de drones, le besoin en 3D se fait de plus en plus prégnant sur le terrain, et ce majoritairement sur des dossiers ne relevant pas de l'expertise. Ainsi, une mise à disposition de moyens doit s'opérer afin que l'ensemble de la communauté Gendarmerie puisse profiter des nouvelles technologies de modélisation 3D.

“ L'utilisation d'outils numériques, de plus en plus intégrés aux actions techniques et scientifiques, permet de gagner en efficacité. ”

**Hervé Daudigny**  
Chef d'escadron, à l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN)

**Marie-Charlotte Poilpre**  
Capitaine, à l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN)

**Christophe Lambert**  
Chef d'escadron, à l'Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN)

## LA 3D ACCESSIBLE À TOUS ?

De nombreuses contraintes technologiques apparaissent dès lors que l'on souhaite réaliser des modèles 3D et ce, quel que soit le *modus operandi* utilisé. Plusieurs techniques coexistent : lasergrammétrie, photogrammétrie, topographie, etc. La plus utilisée actuellement en sciences forensiques<sup>2</sup> est le scanner laser. Il s'agit d'un appareil de mesure permettant de recréer l'environnement dans lequel il est lui-même, entièrement en 3D. Ce type d'appareil, bien que très performant, n'est pas adapté à une diffusion massive. En effet, ces scanners laser présentent un coût de l'ordre de 30 000 à 50 000 euros. Donc, en partie pour des raisons budgétaires, cette solution n'est pas déployable à grande échelle. Afin de permettre l'accessibilité à la 3D au plus grand nombre, il faut envisager une solution adaptée en termes de simplicité et présentant un aspect financier cohérent. Une réflexion a été menée concernant les moyens existants en Gendarmerie ; en particulier dans les unités territoriales. L'appareil photographique est vite apparu comme un dénominateur commun. Chaque gendarme dispose avec NEOGEND<sup>3</sup> d'un capteur photographique. Tout comme chaque unité

territoriale ou de force mobile dispose d'un appareil photographique numérique. De plus, la densification du maillage des drones Gendarmerie vient encore décupler les capacités de prise de vue photographique. La photogrammétrie s'est donc révélée être un moyen de modélisation idoine. Technique utilisée pour la première fois en 1849 par Aimé Laussedat, cette technique mathématique permet de réaliser des modèles 3D en se basant sur le principe de la vision humaine. Nos deux yeux acquièrent deux images légèrement décalées d'un même objet, nous permettant ainsi de percevoir – sur la zone de recouvrement de ces deux « images » – la 3D. Ainsi, il devient possible de recréer un objet en 3D sur la base de plusieurs photographies prises sous des angles différents, avec recouvrement. Cette technologie utilisée depuis 2006 dans le cadre d'expertises par l'IRCGN a perdu de sa superbe dans les années 2010. Elle a été, à cette époque, supplantée par les scanners laser technologiquement plus rapides et dont les processus de traitement sont automatisés. En effet, dans les années 2000, pour réaliser un modèle par photogrammétrie, chaque point 3D devait être désigné manuellement par l'expert au minimum dans deux images. On imagine vite, en fonction de la complexité de l'objet ou de la scène, la difficulté de la mise en œuvre. En 2011, la photogrammétrie a retrouvé ses lettres de noblesse avec l'intégration d'algorith-

mes<sup>4</sup> permettant d'automatiser la recherche des points similaires<sup>5</sup> dans les différentes photographies et, *de facto*, de réaliser un modèle quasiment sans intervention humaine. Toutefois, il faut garder à l'esprit que la photogrammétrie ne pourra traiter toutes les scènes ou objets. En effet, ceux-ci doivent présenter des inhomogénéités de textures, sinon les algorithmes ne peuvent détecter les points identiques. De plus, certaines scènes ne pourront être modélisées en raison de leur caractéristique : les prises de vues devant permettre de résoudre des intersections spatiales. Or, si la convergence des rayons<sup>6</sup> est impossible, aucun point 3D ne sera calculable.

On peut notamment s'en rendre compte à l'aide du schéma ci-dessous, la photogrammétrie peut présenter certains inconvénients. En particulier : les traitements mathématiques, bien qu'édulcorés aujourd'hui par l'interface graphique des logiciels, demeurent complexes à mettre en œuvre pour un néophyte. Un autre aspect doit entrer en ligne de compte, l'aspect financier : les logiciels de photogrammétrie sont rarement gratuits et les calculs mathématiques afférents nécessitent des ordinateurs puissants. Ces inconvénients sont somme toute minimales au regard des avantages apportés par cette technique. Et nous verrons dans le paragraphe suivant comment certaines de ces difficultés peuvent être contournées.

Comment rendre viable la photogrammétrie dans le biotope Gendarmerie ? La première difficulté concerne l'objet ou la scène de manière intrinsèque : si les textures sont trop homogènes, la détection de points similaires sera impossible. Afin de pallier cette problématique, des recherches ont été entreprises. La projection de motifs apparaît comme une solution envisageable. Toutefois, si cette technologie fonctionne pour un petit objet, sa mise en œuvre pour une scène d'ampleur semble difficile. Dans les deux cas, cette solution n'est pas viable pour une diffusion massive, en raison du coût que génère ce type de dispositifs.

Le second inconvénient réside dans la résolution des équations mathématiques pour le calcul des coordonnées des points 3D. En effet, les acquisitions doivent être réalisées de manière à pouvoir disposer d'un recouvrement entre les photographies. Or, en fonction de l'objet ou de la scène, cela n'est pas toujours possible. Ainsi, il faudra accepter, en raison de ces deux difficultés, que certaines scènes ou objets pourront ne pas être pris en compte.

Le troisième point concerne le coût engendré par le matériel informatique requis et les logiciels de photogrammétrie, mais également la complexité d'utilisation de ces derniers par un non-initié. À ce troisième point, en étudiant les solutions utilisées dans le domaine civil, des éléments de réponse apparaissent et laissent entrevoir

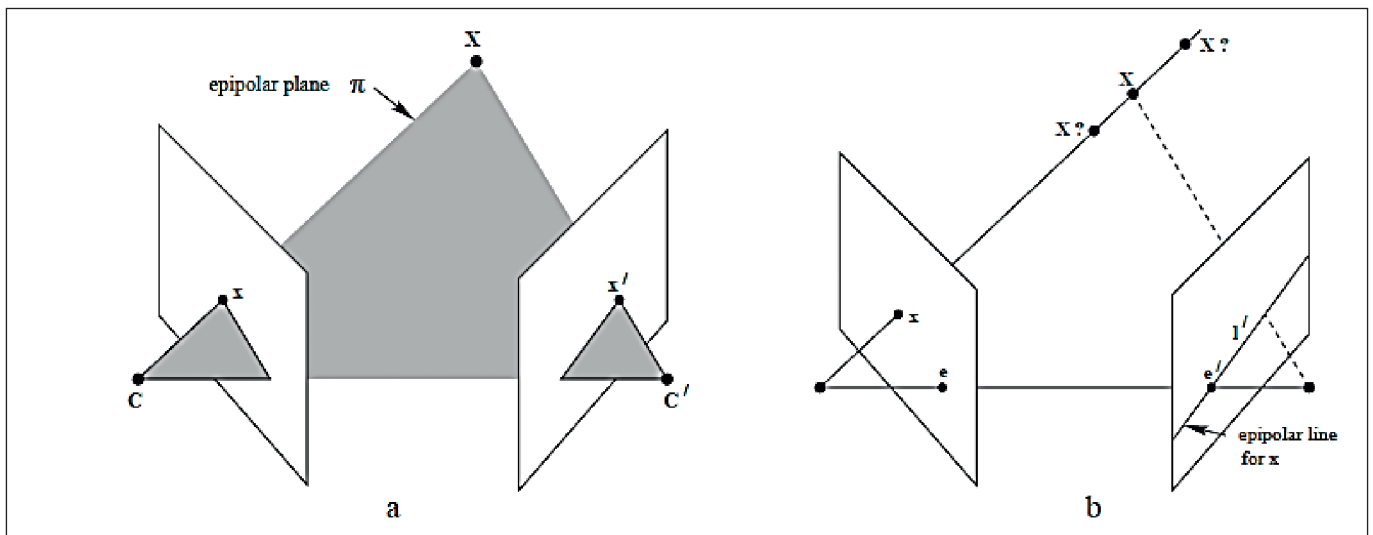


Figure 1 : Schéma illustrant la construction d'un point en 3D à partir de deux images d'après Zisserman and Hartley (2004)



Figure 2: Modélisation tridimensionnelle d'un véhicule par Phidias, à partir de photographies sous-marines acquises par Gérard Yohan, technicien en Identification Sous-Marine, Antibes

la voie à suivre : la centralisation des traitements. Cela correspond à la mise en place d'un serveur spécifique cumulant deux avantages : le coût réduit d'un serveur de calculs et de licence(s) « réseau » de photogrammétrie (par rapport à une délocalisation au niveau de chaque unité) ; la possibilité de mise à disposition d'interfaces web simples, permettant de rendre invisibles les traitements mathématiques. Toutefois, même en mettant en place cette solution informatique (serveur et interface), il nous manque le cœur de notre système : l'automatisation du traitement des données permettant le calcul de la 3D. En effet, il faut qu'avec le choix de quelques options rudimentaires, l'opérateur puisse lancer directement depuis l'interface web l'ensemble des étapes de la modélisation 3D. Il faut donc imaginer une solution complètement automatique permettant : la prise de photographies (NEOGEND ou autre moyen de captation d'image), l'envoi des photographies et/ou vidéos, leur collecte sur un serveur, le traitement automatique des données et la transmission au requérant soit d'un modèle en 3D soit d'une orthophotographie<sup>7</sup> de la scène ou de l'objet. Afin de résoudre

cette problématique d'automatisation, une étude a été réalisée permettant de choisir le logiciel répondant à l'ensemble de nos exigences (justesse des modèles et automatisation par script) et jouissant d'une communauté d'utilisateurs active. Sur la base d'études scientifiques<sup>8</sup> et grâce à des tests menés en laboratoire, nous avons identifié le logiciel Metashape<sup>9</sup> comme étant celui qui répondait le mieux à nos exigences.

#### PHIDIAS : UNE SOLUTION MATURE ?

Pour mettre en place une chaîne de traitement automatisée par photogrammétrie, nous nous sommes appuyés sur différents travaux universitaires. De plus, des stagiaires, principalement des

étudiants en Master II, ont orienté les choix de cette chaîne et ont aidé à son optimisation. Cette chaîne de modélisation 3D, baptisée Phidias<sup>10</sup>, a également fait écho à des travaux en cours dans le domaine de la comparaison faciale, ayant également identifié la photogrammétrie comme étant la modalité idoine pour la modélisation des visages. Nous avons donc pu intégrer cette composante avec l'aide d'experts en comparaison de visages de notre unité. Ainsi, ces experts nous ont permis d'entrevoir d'autres possibilités pour la chaîne de modélisation 3D, notamment son accès via une application dédiée utilisable sur les smartphones NEOGEND. Ainsi, à l'issue de travaux de recherches et développements internes, de nombreux protocoles ont été mis en place concernant l'acquisition (étude de l'impact de la luminosité, des prises de vue vidéos, etc.) mais également le traitement des données. De plus, un serveur sécurisé accessible à tous les gendarmes a été mis en place. Les scripts de modélisation 3D créés ont été intégrés au serveur. Une application sous NEOGEND (version Android Gendarmerie) a été développée pour permettre l'envoi de photographies sur le serveur depuis un smartphone : son utilisation présente un double intérêt, celui d'avoir un capteur facilement accessible et celui de pouvoir être guidé dans les prises de vue par la mise en place de tutoriel. Sa seule limitation réside dans les capacités intrinsèques du capteur (résolution, qualité d'image). Plusieurs tests de la plateforme et de l'application sont en cours actuellement et permettront à terme de pouvoir répondre au plus grand nombre. Ces premiers tests ont permis de réaliser automatiquement des modèles issus de drones, des photographies terrestres de bâti intérieur ou de petits objets, et même d'acquisitions subaquatiques.

**“ La chaîne de modélisation 3D Phidias a fait écho à des travaux en cours dans le domaine de la comparaison faciale, ayant identifié la photogrammétrie comme la modalité idoine pour la modélisation des visages. ”**

Ces modèles sont visualisables en PDF3D, à l'aide du logiciel Acrobat Reader par exemple. En matière d'évolution, un dernier stage permettra de finaliser les tests et le dimensionnement Hardware<sup>11</sup> avant sa mise en œuvre.

## CONCLUSION

La technologie doit être accessible à tous. Il en va de même pour les applications métiers des gendarmes. La simplification voire la réduction des tâches sont essentielles, comme l'a évoqué le général Favier lors de la mise en place de la « Feuille de route » en 2013, devenue « Cap Modernisation » sous l'influence du général Lizurey. Ainsi, le partage technologique doit être le leitmotiv des experts de l'Institut de recherche criminelle de la Gendarmerie nationale : « *innover aujourd'hui pour mieux protéger demain* ». Par voie de conséquence, en plus de la réalisation des expertises et examens scientifiques, les experts, véritables acteurs de l'innovation, se doivent de mettre à disposition de la communauté Gendarmerie des outils et des technologies matures et simples d'utilisation. C'est dans cet esprit qu'a été développée la chaîne de modélisation Phidias. Cette chaîne a pour but de réaliser des modèles 3D d'un objet ou d'une scène à partir de photographies « terrestres » ou aériennes, notamment par le biais de drones. En effet, l'aspect tridimensionnel de la scène est souvent négligé lors de la phase de fixation sur une scène d'infraction. Le rôle de Phidias est de pouvoir prendre en compte cet aspect tridimensionnel, quelles que soient la qualification du gendarme et son appétence pour les éléments technologiques.

Ce projet se décompose suivant différentes phases : prise de photographies « terrestres » ou aériennes, suivant une méthodologie simple, transmission des photographies ou vidéos sur un serveur sécurisé, traitement automatique des données, envoi au requérant du modèle 3D ou de l'orthophotographie de la zone à traiter. Le gendarme dispose, à la

fin de toutes ces opérations, d'éléments lui permettant d'obtenir une meilleure compréhension globale et particulière de l'objet ou de la scène à traiter. Par exemple, lors d'une découverte de cadavre, le requérant, le magistrat ou l'expert n'ont plus à chercher dans les multiples photographies d'une planche photographique. Un modèle 3D visualisable directement avec un viewer pdf (Acrobat Reader par exemple) permettra de voir le corps dans sa globalité tout en ayant la faculté de le tourner, de le translater ou de zoomer sur un élément particulier.

De plus, tous types de traces (semelles, comparaison de visage, déformation d'objets) peuvent être pris en compte, et au delà de leur simple visualisation, pourront être analysés par les experts. Les comparaisons établies à l'aide de ces modèles permettent de gagner en précision, l'apport de la 3D peut ainsi être déterminant. On se dirige dans l'avenir vers la virtualisation des traces permettant notamment une meilleure analyse (géométrique, morphologique, de textures, etc.). Ces analyses, souvent subordonnées à une mise à l'échelle du modèle, pourront être traitées automatiquement par Phidias grâce à un processus innovant, intégrant la détection de cibles. La chaîne Phidias, dont tous les produits n'ont pu encore être imaginés, permettra de gagner en efficacité et ainsi de faire progresser les enquêtes ou instructions avec une plus grande pertinence.

## NOTES

1. Professeur et directeur de l'Institut de Police Scientifique de Lausanne de 1923 à 1963. Margot [2010].
2. Forensique (syn. Criminalistique) : Science qui regroupe ce qui n'est pas directement rattaché à la médecine légale, à la toxicologie légale, à la chimie, à la psychiatrie légale, ou encore à la criminologie et qui permet d'établir ou de prouver l'existence d'un crime ou d'un délit, l'identité de l'auteur, son mode opératoire. Mathyer [1986].
3. NEOGEND : Téléphone portable ou tablette, sous Android sécurisé, permettant d'accéder aux fonctionnalités et applications dédiées à la Gendarmerie.
4. L'algorithme SIFT développé par Lowe en

- 2004 permet la détection automatique de points similaires.
5. Ces points sont également appelés points homologues.
6. Dans la figure 1, l'intersection des rayons épipolaires (rayons passant par le centre de prise de vue (C ou C') et le point 3D physique (X)) permet la détermination du point en 3D. Les points x et x' correspondent aux points similaires dits homologues dans deux images différentes.
7. Orthophotographie : il s'agit d'une technique d'obtention d'orthophotoplan qui peut être défini comme une image photographique transformée, rendue superposable à un plan et permettant donc des mesures d'après le lexique de l'[AFT, 2015].
8. Une étude comparative a été menée par [Dudka, 2015] : le logiciel Pix4D ressort gagnant en matière de précision mais laisse la part belle au logiciel Photoscan.
9. Methashape est un logiciel développé par la société Agisoft® [2019]. Il est l'évolution du logiciel de la même société Photoscan basé sur la vision par ordinateur incluant les nouvelles capacités des traitements photogrammétriques.
10. Phidias : Sculpteur grec (vers 490-431 avant J.-C.) ayant contribué aux sculptures du Parthénon sous l'égide de Périclès d'après Pernot [2011].
11. Matériel informatique qu'il conviendra de dimensionner en fonction des demandes futures.

## BIBLIOGRAPHIE

- Agisoft (2019). Logiciel Metashape. <https://www.agisoft.com/>
- Bischoff, M. (1938). *La police scientifique*. Payot, Paris.
- Boukal, O. (2018) – Mise en place d'une chaîne de modélisation par photogrammétrie – mémoire de fin d'étude, UTBM
- Brégand, R. (2018), Mise en place d'un processus opérationnel de numérisation 3D de visages, ISBS
- Le Straat, C. (2019), Développement d'une application smartphone pour la modélisation 3D par photogrammétrie, ENSEA
- MATHYER J., Photographie et police, *Revue Internationale de Criminologie et de Police Technique* (RICPT), 1986, Vol 2, 223 - 252, p234
- Pernot, L. (2011). *La rhétorique des arts*. Presses Universitaires de France, Paris.
- Deseilligny, M-P., Clery, I. (2011), *Evolutions récentes en photogrammétrie et modélisation 3D par photo des milieux naturels*. Collection EDYTEM. Cahiers de géographie.p. 51-66
- Quere, N. (2013). Stage de ST2, Insa Strasbourg, Photogrammétrie, IRCGN.
- Margot, P. (2010). Les experts scientifiques, *L'actualité chimique*. Juin-Juillet-Aout 2010 – n°342-343, P.2
- Zig, K. (2019), Mise en place d'une méthode de comparaison de visage, UPEM