

Dévoiler les secrets d'Angkor Vat

par Chris Cromarty

Angkor Vat est l'un des temples les plus reconnaissables au monde. Inscrit au patrimoine mondial de l'humanité par l'UNESCO en 1992, ce temple a été construit au 12^{ème} siècle par la civilisation angkorienne antique, sous le règne de Suryavarman II. Angkor Vat était au centre d'une vaste et puissante nation, soupçonnée d'être la plus grande du monde à cette époque, avec près d'un million de citoyens. Pour subvenir aux besoins d'une telle population pendant les périodes arides de la saison sèche cambodgienne, il fallait une importante infrastructure hydraulique. De par le passé, des archéologues ont utilisé des images radars et de télédétection pour essayer de comprendre la civilisation angkorienne à son apogée. Ils ont supposé qu'une infrastructure hydraulique sophistiquée composée de réservoirs, de canaux et de barrages, captait l'eau qui descendait des montagnes pour la distribuer dans les rizières des plaines.

Les archéologues qui étudient cette civilisation font face à de nombreuses difficultés pour cartographier ces installations. L'accès aux régions reculées des collines est entravé par la jungle et par les champs de mines de l'époque des Khmers Rouges. PT McElhanney Indonesia a proposé de survoler ces zones avec un système aéroporté Leica, embarqué dans un hélicoptère et constitué d'un scanner LiDAR ALS60 et d'une caméra numérique moyen format

métrique RCD105, afin de localiser et de modéliser les éléments caractéristiques pertinents pour les archéologues. Ainsi, ils pourraient isoler les différents changements topographiques occasionnés par les infrastructures hydrauliques et les aménagements urbains réalisés par cette civilisation pour déterminer les zones d'intérêt et organiser leur déminage afin de sécuriser les fouilles.

La mise en place d'un consortium étant nécessaire pour un projet de cette envergure, PT McElhanney a collaboré étroitement avec le Professeur Roland Fletcher et le Docteur Damian Evans du Département d'Archéologie de l'Université de Sydney.

Préparation du projet sur le terrain

Avant de mobiliser l'équipement, une expédition de reconnaissance du terrain a eu lieu et l'équipe de PT McElhanney a travaillé avec les archéologues pour comprendre quelles informations ils espéraient obtenir à partir des données collectées. Un autre aspect important de cette expédition concernait l'évaluation du terrain et de la végétation sur place, afin de déterminer comment maximiser le potentiel du LiDAR aéroporté.

PT McElhanney s'est rendu dans plusieurs de ces sites avec les archéologues pour comprendre les difficultés auxquelles ils se heurtaient. Des inspections ont été conduites sur les chantiers de fouilles dans les plaines et les zones construites. Dans ces zones, les archéologues espéraient mieux comprendre l'em-



placement des « monticules d'occupation ». Ceux-ci sont caractérisés par de légères élévations de la topographie qui indiquent généralement la présence d'habitations au-dessus des rizières ou des zones de drainage. Sachant que les habitants, y compris le roi, vivaient dans des constructions en bois, il était évidemment impossible d'identifier les ruines des fondations des bâtiments résidentiels. C'est pourquoi l'acquisition de données LiDAR permettant d'identifier ces légers changements topographiques était primordiale. D'autre part, comme seuls les temples étaient construits en pierre, il était également très important de pouvoir identifier les éventuels débris de pierre. La combinaison de la photographie aérienne haute résolution et du LiDAR allait aider à localiser et à interpréter ces zones de grand intérêt dans les plaines.

Les zones recouvertes de végétation présentaient davantage de difficultés. Bien que les critères de reconnaissance des « monticules d'occupation » soient les mêmes que dans les autres zones, la densité de la forêt cambodgienne et l'emplacement aléatoire des champs de mines empêchaient les archéologues de fouiller les zones d'intérêt librement. En effet, il aurait d'abord fallu envoyer des équipes de déminage nettoyer ces zones avant de commencer toute recherche, processus très long et très coûteux. La détermination de ces zones sous la canopée étant

virtuellement impossible à partir d'images satellites et de données radar, la technologie du LiDAR aéroporté a été proposée aux archéologues pour leur fournir le modèle numérique du terrain (MNT) le plus précis possible, qui leur permettrait de concentrer leurs inspections ultérieures sur des endroits spécifiques. Le MNT haute précision produit par le LiDAR pourrait également les aider à modéliser certains objets qui avaient été mal interprétés, comme les parois de réservoirs identifiées auparavant comme des routes.

Du fait du danger lié aux champs de mines présents dans tout le Cambodge et de la rareté des explorations menées dans ces régions reculées, il a y vraisemblablement encore aujourd'hui beaucoup de temples à découvrir. Dans ces conditions, la technologie du LiDAR aéroporté était également considérée comme la technologie adéquate pour localiser de nouveaux temples dans les zones d'intérêt du projet.

Le plus haut niveau de précision pour l'acquisition de données

Le projet total comprenait trois zones d'intérêt autour de Siem Reap, soit une surface de 270 km². Pour obtenir la précision nécessaire, deux stations de référence GPS ont été utilisées pendant l'acquisition. L'hélicoptère était également le vecteur aérien idéal dans la mesure où l'une des zones se situait à envi-



Un projet primé

Le projet a été nommé et déclaré vainqueur du prix d'excellence du forum « Asia Geospatial » dans la catégorie « Applications Archéologiques » en septembre 2012. Nous espérons que d'autres nominations et d'autres récompenses régionales suivront

et révolutionneront l'utilisation de cette technologie pour l'archéologie dans toute la région et dans le monde entier.

www.asiageospatialforum.org

ron 100km de l'aéroport le plus proche, ce qui aurait nécessité un ravitaillement sur site au moment de l'acquisition du bloc concerné.

Les zones forestières ont été survolées selon un quadrillage afin de maximiser la pénétration du LiDAR, avec une densité de 16 points par mètre carré pour la modélisation du sol sous la canopée. Cette approche permettait également de maximiser les possibilités offertes par le LiDAR pour la modélisation 3D des temples. Des données LiDAR Full Waveform ont été collectées au-dessus des zones d'intérêt pour obtenir le meilleur MNT possible, compte tenu de l'épaisse végétation présente sur certains sites.

Une prise de vues aérienne numérique a été réalisée simultanément à l'acquisition de données LiDAR pour collecter des couples stéréoscopiques de photographies sur toutes les zones du chantier LiDAR, à des fins de visualisation et de génération des produits finaux. Complémentaires des nuages de points LiDAR, les photographies aériennes haute résolution

constituent une source d'information précieuse pour la modélisation 3D LiDAR.

Les données LiDAR avec une densité de points élevée et les images aériennes haute résolution constituaient un ensemble de données très volumineux à acquérir chaque jour. Même avec la puissance des ordinateurs actuels, la gestion des données acquises en vol demeure un problème opérationnel. Le défi quotidien était de télécharger et de sauvegarder toutes les données collectées dans la journée pour que le système de stockage embarqué soit prêt dès le lendemain matin pour une nouvelle acquisition.

D'autres obstacles opérationnels ont été rencontrés lors de cette mission effectuée durant l'été, réputé aride au Cambodge. Dans l'après-midi, la température dépassait souvent les 45°C, repoussant les limites des températures de fonctionnement de l'équipement. D'autre part, la culture sur brûlis pratiquée par les paysans dans cette zone a dû être prise en compte pour garantir une qualité optimale des





photographies aériennes. Ces problèmes ont été surmontés sans retard majeur et le planning du projet a été respecté.

Retracer l'histoire d'Angkor

Les premières analyses donnent déjà lieu à de nouvelles découvertes étonnantes. D'après le Dr Evans, le relevé LiDAR a prouvé sa pertinence en très peu de temps. La capacité du LiDAR à pénétrer une végétation dense a permis d'observer pour la première fois les temples sans la végétation. L'analyse des changements topographiques a mis en évidence des réseaux routiers, des monticules d'occupation et d'autres signes d'urbanisation impossibles à détecter

jusque-là, même depuis le sol. Les archéologues font déjà le pari que ces données fourniront une toute nouvelle vision de la civilisation d'Angkor et qu'elles révolutionneront l'histoire de l'empire Khmer. ■

À propos de l'auteur :

Chris Cromarty est le responsable de la section LiDAR de PT McElhanney Indonesia, une division de McElhanney Consulting Services Ltd., domiciliée à Vancouver, au Canada. Il connaît parfaitement la technologie LiDAR et la télédétection, avec plus de 15 ans d'expérience sur des projets de cartographie dans le monde. ccromarty@mcelhanney.com

