

Évolution des techniques topographiques à EDF depuis les 40 dernières années

■ Rémy BOUDON - Guillaume THIBAUT - Michel TROUILLET

Cet article décrit les évolutions des principales techniques topographiques employées à EDF pendant ces 40 dernières années dont les mesures angulaires, de distances et nivellement direct. Il présente aussi les nouvelles techniques apparues durant cette période et utilisées à EDF ; topométrie industrielle, GNSS, relevés et modélisations 3D, interférométrie radar, drones, bathymétrie...

■ MOTS-CLÉS

EDF, Topographie, Métrologie industrielle, GNSS, Auscultation d'ouvrages, 3D, INSAR, Drones, Bathymétrie, Lidar, Lasergrammétrie

(voir les articles dans XYZ N°138 et 139) qui avait œuvré au sein du Service Géographique des Armées puis à l'IGN en Afrique et en Asie.

Il fixa une doctrine en topographie pour la construction des grands ouvrages hydroélectriques puis nucléaires, il mit en place des méthodes pour l'auscultation topographique des ouvrages à la Direction de l'Équipement et à la Division Technique Générale d'EDF (DTG) et forma les topographes aux techniques de la géodésie et de la topographie.

En 1971, il a été remplacé par Louis Catinot, l'un des fondateurs de l'AFT et son premier président. Il fut chargé d'adapter l'organisation de la topographie de la Direction de l'Équipement en fonction des nouvelles Régions d'Équipement créées pour la construction des centrales nucléaires (figure 2).

En 1979, l'année de parution du premier numéro de la revue XYZ, la topographie à la Direction de l'Équipement d'EDF est organisée avec un pôle de direction garant de la doctrine à Paris dirigé par Louis Catinot et trois Divisions Topographie au sein des régions d'Équipement, une à Aix-en-Provence, une à

Introduction

Depuis la création d'EDF en 1946, la Direction de l'Équipement d'EDF, chargée des études, de la construction et de la mise en service des ouvrages de production d'électricité, puis les unités d'ingénierie qui lui ont succédé, disposent de services topographiques. Toutes les actions nécessaires à la construction puis à l'exploitation de ces ouvrages nécessitent des interventions topographiques. Leur taille et leur complexité imposent une spécialisation des topographes, les principaux domaines d'intervention sont : l'établissement de plans topographiques, la réalisation de canevas, les contrôles d'implantations de positionnement et de dimensionnement, le suivi du comportement dans le temps des ouvrages, les travaux fonciers. Cet article décrit les

principales évolutions des organisations et des techniques topographiques à EDF sur les quarante dernières années.

L'organisation de la topographie à EDF et son évolution

L'organisation de la topographie à EDF s'est mise en place progressivement depuis la création d'EDF en 1946. Plusieurs équipes se sont créées au sein des Régions d'Équipement Hydrauliques qui étaient des unités régionales de la Direction de l'Équipement d'EDF, chargées des études, de la construction et de la mise en service des ouvrages hydroélectriques (figure 1).

En 1952, la Direction de l'Équipement d'EDF confia l'organisation de la topographie au colonel Jean Nevière



Figure 1. Barrage du parc EDF



Figure 2. Centrale nucléaire du parc EDF



Lyon avec deux entités à Chambéry et Lyon et une à Tours. Des échelons locaux dépendants de ces divisions sont détachés sur les chantiers de construction des ouvrages nucléaires et hydroélectriques. L'auscultation des ouvrages en service continuant à être assurée par les topographes de la DTG. La fin de la construction des grands aménagements hydroélectriques, puis des centrales nucléaires amène de nombreuses réorganisations. Depuis 2005, toutes les activités topographiques sont regroupées à la DTG, principalement au sein du Service Ingénierie Topographie basé à Lyon, mais aussi dans les Centres Régionaux d'Auscultation à Brive, Grenoble et Toulouse ainsi qu'au pôle bathymétrie du Service Environnement de Grenoble. Les activités de développement technique sont menées avec l'appui des équipes de EDF R&D en particulier dans les domaines de la numérisation 3D, de l'image (photogrammétrie) et du spatial (Insar).

Née également en 1946 au moment de la constitution d'EDF, l'unité d'ingénierie DTG met en œuvre son expertise dans le pronostic et le diagnostic de la mesure. L'unité conseille les exploitants des parcs de production d'électricité et les propriétaires d'ouvrages en matière de sûreté et de performance. DTG intervient au sein du Groupe EDF en France et dans le monde pour les parcs hydraulique, nucléaire, thermique et les énergies renouvelables. L'unité apporte également son aide à des clients externes. Forte aujourd'hui de 14 métiers complémentaires – dont le métier Topographie – avec plus de 650 personnes réparties sur le territoire français, l'unité s'inscrit dans une volonté d'adaptation au quotidien et d'innovation permanente, pour apporter les réponses au besoin de développement énergétique et aux enjeux environnementaux (figure 3).

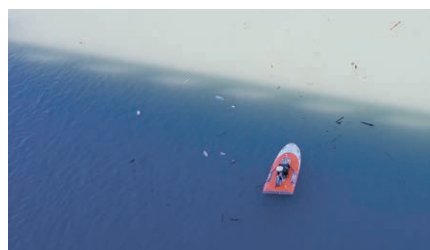


Figure 3. Test du drone bathymétrique RiverDrone

L'évolution des techniques

■ Les calculs

Après les premiers calculs de compensation de réseaux selon la méthode des moindres carrés en 1966 sur un ordinateur IBM à Paris avec la saisie des données sur des cartes perforées, les années 1970 ont vu une évolution importante de l'informatique pour les calculs topographiques. En 1979 les divisions Topographie sont équipées de mini-ordinateurs WANG avec des logiciels de calcul développés en interne en langage BASIC. Ces logiciels permettent de faire tous les calculs courants, les compensations de réseaux, le stockage et la gestion des mesures d'auscultation ainsi que le dessin de plans et de graphiques sur des tables traçantes. Les données sont d'abord enregistrées sous forme de systèmes de fichiers sur des disquettes, puis arrivent les disques durs, plus rapides et plus fiables. Les calculatrices programmables sont aussi beaucoup utilisées, COMPUCORP, HP 97...

En 1990, les mini-ordinateurs WANG sont remplacés par des mini-ordinateurs multipostes avec un système d'exploitation UNIX, les données sont stockées dans une base de données relationnelle ORACLE, unique nommée BDTOPO. Les applications de calcul sont développées par une société spécialisée avec le langage FORTRAN pour les calculs et une interface utilisateur XWindows. L'année 1990 voit aussi le début des travaux de cartographie sur ordinateur avec le logiciel LILIAN. En 1992, il est remplacé par le logiciel de DAO MICROSTATION sur des PC, avec des applications spécifiques à la topographie. Le développement des ordinateurs type PC, puis le déploiement de réseaux informatiques de plus en plus performants amènent de nombreuses évolutions dans les années suivantes.

En 2000, le module calculs topographique du logiciel COVADIS est acquis surtout pour pouvoir faire des calculs topo classiques sur des PC portables lors de déplacements sur le terrain.

Les mini-ordinateurs multipostes sont remplacés par des PC, mais la base de données BDTOPO et les applications de calculs associées restent utilisées, elles subissent les évolutions nécessaires pour s'adapter aux nouvelles techniques

de mesures. Cette base de données est transférée sur MY SQL en 2009, son interface utilisateur est améliorée, les applications de calculs vont être remplacées par le projet KOALA.

Côté auscultation, un outil informatique nommé CALIPSO est développé dans les années 80 sur VAX par DTG pour la gestion et l'analyse des millions de données d'auscultation stockées depuis plus de 40 ans, qui embarque les outils de calculs topographiques de géodésie et de nivellement (compensation par les moindres carrés, module Helmert). Les informations collectées vont de la lecture d'un appareil à sa transformation en donnée physique avec la conservation des paramètres capteurs au cours du temps. L'application met à disposition des outils de diagnostics et de modèles intégrés qui permettent de transformer les données brutes en données corrigées de leurs effets réversibles (liés aux charges de pression et thermique, aux précipitations, aux températures...) soit de manière instantanée ou retardée. Elle est également dotée d'une visualisation graphique des données brutes et modélisées associée à des tests de normalité. En 2011, CALIPSO devient KOALA, une application WEB disponible à tous (exploitants, centres d'ingénierie et de décision) avec une base de données unique, utilisée par près de 1 500 utilisateurs pour environ 435 ouvrages auscultés regroupant quelques 46 000 phénomènes.

L'application KOALA contribue ainsi pleinement :

- à l'archivage de tout l'historique des mesures d'auscultation,
- à la sûreté des aménagements : détection rapide des anomalies de comportement du GC, dimensionnement des ouvrages,
- au respect des contraintes réglementaires en France dans le cadre de la surveillance des ouvrages,
- à une analyse fine du comportement grâce à des outils de traitement des données intégrés (HST, HSTT).

La saisie et le traitement des données topographiques mesurées s'effectuent ainsi via l'application KOALA qui comporte un module dédié à l'auscultation topographique. L'analyse de la stabilité des référentiels sur le long terme à partir des historiques de



mesures est un des atouts majeurs de ce module topographique qui permet de re-jouer l'intégralité de ces données en cas de détection de dérives qu'il convient alors de corriger.

■ Les mesures topographiques classiques

Les mesures angulaires

De nombreuses améliorations d'ergonomie avaient déjà été apportées aux théodolites, mais c'est l'arrivée vers 1984 des théodolites électroniques de haute précision comme le Wild T2000 avec son enregistreur programmable GRE3, qui a énormément changé les méthodes de travail. Jusque-là les mesures courantes étaient faites avec le Wild T2 et les mesures d'auscultations avec le Wild T3. Avec ces appareils, il fallait un opérateur et un secrétaire qui notait toutes les lectures sur un carnet et devait faire simultanément tous les calculs et les contrôles. Un logiciel de tours d'horizon a été développé en interne sur le GRE3 pour guider l'opérateur, faire les calculs et donner les écarts pour juger de la qualité des mesures. Ensuite sont apparus les Wild T2002 avec un compensateur à deux axes pour assurer la verticalité de l'axe principal. Le GRE3 qui n'avait que trois petits affichages a été remplacé par un micro-ordinateur EPSON HX20. Cela a permis d'améliorer le logiciel de tours d'horizon et d'y ajouter quelques modules de calculs topographiques courants. En 1994, l'EPSON HX 20 a été remplacé par un carnet électronique PSION ORGANISER plus compact et mieux adapté au terrain. Les logiciels de tours d'horizon, de lever et de calcul topographique ont été développés en interne sur cet appareil.

Les théodolites motorisés de plus haute précision, comme les TDA 5005, ont remplacé les T2002 et les T3000. Un logiciel de tours d'horizon a été développé par une société extérieure sur un mini-PC de terrain PANASONIC en 2010. Pour les mesures d'auscultation, ce logiciel permet de positionner la lunette du théodolite à proximité de chaque point à mesurer à partir d'un fichier d'angles approchés, l'opérateur n'ayant plus qu'à réaliser le fin pointé.

Avec la sortie du Leica MS50 en juin 2013, premier tachéomètre doté d'une caméra coaxiale, le Service Ingénierie Topographie d'EDF propose, en partenariat avec Leica, un Projet de Fin d'Etudes pour étudier la faisabilité et la précision d'un pointé automatique sur cocarde (cible en lave émaillée à cercles concentriques noirs et blancs équipant la majeure partie des ouvrages auscultés à EDF). Un premier algorithme aux résultats encourageants est mis au point lors de ce PFE, salué par le premier prix de l'AFT en 2014. Un nouvel algorithme est développé avec l'aide de nos collègues d'EDF R&D spécialisés en analyse d'image en 2015 donnant entière satisfaction. Son intégration dans les appareils reste cependant laborieuse et n'est à l'heure actuelle pas encore opérationnelle.

Toutes ces évolutions d'appareils et de logiciels successifs (*figure 4*), ont cependant permis de conserver le savoir-faire acquis à EDF en matière de mesures d'auscultation, en maintenant les méthodes rigoureuses de réalisation de tours d'horizons mises au point lors de la construction des barrages dans les années 1950 à 1970, aidant ainsi les opérateurs à veiller au respect des

tolérances et à déceler les évolutions in situ.

Les mesures de distances

Jusque dans les années 1970, les réseaux d'auscultation et les canevas secondaires sur piliers utilisés pour la construction des ouvrages hydro-électriques et des centrales nucléaires étaient mis à l'échelle par des mesures de base au fil invar.

Les distancemètres électroniques avec une précision centimétrique comme le WILD DI 10 ont été utilisés à partir de 1975, ils ont amené une évolution importante des méthodes de mesures. De 1977 à 1979, les trois divisions topographie d'EDF se sont équipées de distancemètres Tellurometre MA 100 de précision millimétrique, $\pm(1.5 \text{ mm} + 2 \text{ mm/km})$, ils ont rapidement remplacé le fil invar. Ces appareils étaient assez lourds, 17 kg environ, leur portée était de 1 km, et il fallait environ 10 minutes pour mesurer une distance.

A l'intérieur des bâtiments des centrales nucléaires, la stadia était souvent utilisée, car elle permettait d'obtenir une précision millimétrique jusqu'à 10 m et le ruban en acier de classe 1 étalonné avec l'application de corrections de température et d'étalonnage. Le distancemètre à longue portée AGA 14, environ 15 km, a été beaucoup utilisé pour la mesure de canevas primaires et de stéréo-préparation sur les projets hydroélectriques.

Les principales évolutions des distancemètres ont été leur miniaturisation, et leur rapidité de mesure (*figure 5*), quelle différence entre un DI 2000 ou un DI 2002 et un MA 100 ! A partir du TC2002, les distancemètres de précision millimétrique ont été intégrés



Figure 4. Du théodolite au tachéomètre



Figure 5. L'évolution des distancemètres



dans les théodolites et ont permis la mesure sur cibles Scotchlight.

Le nivellement direct

Vers 1980, les mesures de nivellement de précision étaient réalisées avec des niveaux automatiques comme le Wild NA2. La principale évolution a été l'arrivée des niveaux avec lecture sur mires à code-barres (figure 7), ils ont facilité la tâche des opérateurs et permis l'enregistrement des mesures sur des cartes mémoires ou sur des terminaux de saisie portable.

Le niveau de précision à bulle Wild N3 est toujours utilisé pour les mesures d'auscultation altimétrique des groupes turbo alternateurs des centrales nucléaires et thermiques (figure 6) car il est peu sensible aux vibrations. Une nouvelle méthode d'auscultation altimétrique de ces groupes a été mise au point en 1995, un logiciel de saisie des mesures et de compensation selon la méthode des moindres carrés a été développé en interne (voir l'article dans XYZ N° 70). Aujourd'hui, un logiciel développé en interne sur mini-tablette PC (figure 8) nommé PATOU permet l'enregistrement des mesures et la réalisation de tous les contrôles de marche sur le terrain, puis le rapatriement automatique vers les outils de calculs et d'analyse (KOALA...).

■ Les nouvelles techniques

Ces 40 dernières années ont vu l'arrivée de nouvelles techniques, nous détaillons ci-dessous celles qui sont utilisées à EDF.

La topométrie industrielle

Les théodolites électroniques reliés à des ordinateurs par des interfaces RS 232 ont permis de réaliser des logiciels pour des mesures de métrologie industrielle avec une précision du dixième de millimètre sur un volume d'une dizaine

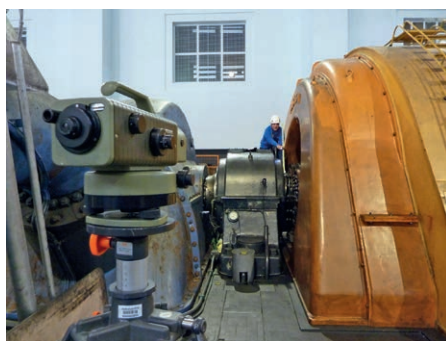


Figure 6. Nivellement de haute précision de Groupe Turbo Alternateur au N3



Figure 7. Nivellement direct pour le suivi de versants et de galeries

de mètres. Les solutions du commerce comme les systèmes Wild RMS 2000 ou KERN ECDS étaient plus dédiés à des utilisations dans l'industrie à cause de la taille de l'ordinateur et des boîtiers d'interfaces.

Un système plus adapté aux chantiers et centrales EDF a été développé en interne en 1988 sur un micro-ordinateur portable EPSON HX 20. Deux théodolites T2000 ou T2002 étaient reliés par des câbles à l'ordinateur, une visée de mise en collimation était faite entre les deux appareils en visant des cibles placées au-dessus de la lunette, puis une mise à l'échelle par la mesure de deux cibles sur une règle étalonnée. Ce logiciel permettait de calculer en temps réel les coordonnées tridimensionnelles des points mesurés par intersections spatiales (figure 9) et de s'assurer de la qualité des mesures. Il a été porté ensuite sur des PC portables lorsqu'ils sont apparus.



Figure 8. Niveau et tablette connectée

Ce logiciel a été remplacé en 1998 par le logiciel METHEOR développé par la société SETP. Il a apporté plusieurs fonctionnalités supplémentaires comme le calcul par ajustement de faisceaux qui évitait la visée directe entre stations, permettait de faire plus de deux visées sur chaque point et d'introduire des mesures de distances. Il disposait aussi de nombreuses fonctions de calculs géométriques et de gestion de référentiels.



Figure 9. Topométrie industrielle par intersections spatiales

Ces méthodes ont été très employées sur tous les ouvrages, on peut citer quelques exemples : la mesure de la géométrie des voies et du carrossage des galets des ponts tournants des bâtiments réacteurs des centrales nucléaires (*figure 10*), le contrôle de la géométrie des roues support des câbles d'un téléphérique d'accès à un barrage dans les gares et sur les pylônes, le contrôle de la géométrie de vannes de barrages et de leurs glissières, le contrôle de la géométrie de rails de portes d'écluses...

Aujourd'hui, le service utilise les tachéomètres de précision type TDRA6000 et laser tracker type AT903 associés à des logiciels 3D comme Spatial Analyzer, pour des interventions ponctuelles comme pour des installations automatisées sur de plus longues périodes, pour l'analyse des déformations de systèmes mécaniques complexes en phase transitoire notamment (*figure 11*).

Photogrammétrie et vidéogrammétrie rapprochées sont également utilisées comme ci-dessous pour la mesure 3D d'une maquette de perré de barrage lors d'un essai d'effondrement par inclinaison progressive (*figure 12*).



Figure 10. Contrôle géométrique de pont tournant

GNSS

En 1992, le service topographie a acquis trois récepteurs GPS ASHTECH Z12, le logiciel de calcul de lignes de bases GPPS et le logiciel de compensation de réseaux et de transformation de coordonnées GEOLAB. Ces appareils ont d'abord été utilisés en mode statique pour des mesures sur des canevas et des stéréo-préparations. Cependant, ce nouveau système amena une importante évolution de nos méthodes, pour le canevas d'un projet de barrage il suffisait de déterminer des points dans les zones de travail, il n'y avait plus besoin de faire un canevas couvrant une grande étendue, de même pour une stéréo-préparation. L'utilisation du système GNSS nous obligea aussi à ressortir nos cours de géodésie pour les transformations de coordonnées et à nous intéresser au géoïde, les formations de l'ENSG nous furent très utiles. Au cours du temps le matériel évolua vers des récepteurs plus légers, consommant moins d'énergie et plus simples d'utilisation comme les Leica GPS 500, puis GPS 1200 et Viva et les Trimble R7. Les logiciels devinrent aussi plus simples et plus rapides,



Figure 12. Mesure 3D d'une maquette de perré de barrage lors d'un essai d'effondrement

GPPS et GEOLAB furent remplacés par GEOGENIUS, puis Trimble Total Control. Pour les travaux de précision ou en environnement difficile avec beaucoup de multitrajets, les antennes Choke-Ring ont amené de bons résultats.

Les domaines d'utilisations du système GNSS se sont progressivement étendus, comme par exemple : les auscultations de glissements de terrain ou de conduites forcées en haute montagne avec des sessions de mesure de 24 h, les mesures de bathymétrie avec des récepteurs utilisés en mode différentiel temps réel (RTK) à partir de 1996, un test concluant pour l'auscultation en continu d'un barrage lors du PFE de Stéphane Polo, élève de l'INSA en 2010 (*figure 13*). Les évolutions récentes des logiciels de post-traitement GNSS du commerce ont cependant posé quelques problèmes notamment pour nos applications en auscultation : en effet, des écarts significatifs sur les résultats de traitement de mêmes fichiers RINEX, issus de différents logiciels ou versions de logiciels ont été mis en évidence sans qu'il soit possible d'identifier exactement l'origine de ces écarts avec les fournisseurs.



Figure 11. Topométrie industrielle automatisée



Figure 13. Exemples d'utilisation du système GNSS sur les aménagements EDF

Figure 14. Le capteur SOISIC

Relevés 3D

En interaction directe avec la R&D d'EDF (groupe d'opto-électronique et groupe de traitement des données 3D), la société MENSİ a développé au début des années 1990 un premier système de relevé en 3D par triangulation laser, un capteur pour les saisies centimétriques d'intérieurs de centrale, précurseur des scanners laser modernes. L'enjeu était de connaître exhaustivement les obstacles pouvant entraver la mise en œuvre de systèmes de maintenance robotisés par la Direction du Parc Nucléaire. En 1992, le service topographie a participé à un test de ce système dans la centrale nucléaire de Golfech lors de la fin des montages mécaniques. Le test a été fait par comparaison avec un relevé de quelques zones par photogrammétrie terrestre. En 1998, le service topographie a acquis un capteur SOISIC à base courte et adapté au milieu nucléaire (figure 14). De nombreux relevés ont été faits dans des zones complexes des centrales nucléaires, la modélisation a été réalisée avec le logiciel 3DIPSOS.

Au fil des ans, l'utilisation de ces capteurs scanners en intérieur s'est accrue, pour servir les ingénieries de maintenance en modèles 3D "tels-que-construits" à l'échelle de bâtiments

réacteurs complets, plus de 10 étages et 150 locaux (figure 15).

Le logiciel REALWORKS permet de traiter ces données avec, ces dernières années, des volumes dépassant la centaine de milliards de points 3D par bâtiments, pour des dizaines de bâti-

ments. EDF a contribué à l'amélioration du logiciel pour le contrôle qualité de la consolidation de campagnes de plus d'un millier de stations laser ainsi que pour la reconstruction de formes industrielles (ex. : charpentes). Ces données sont

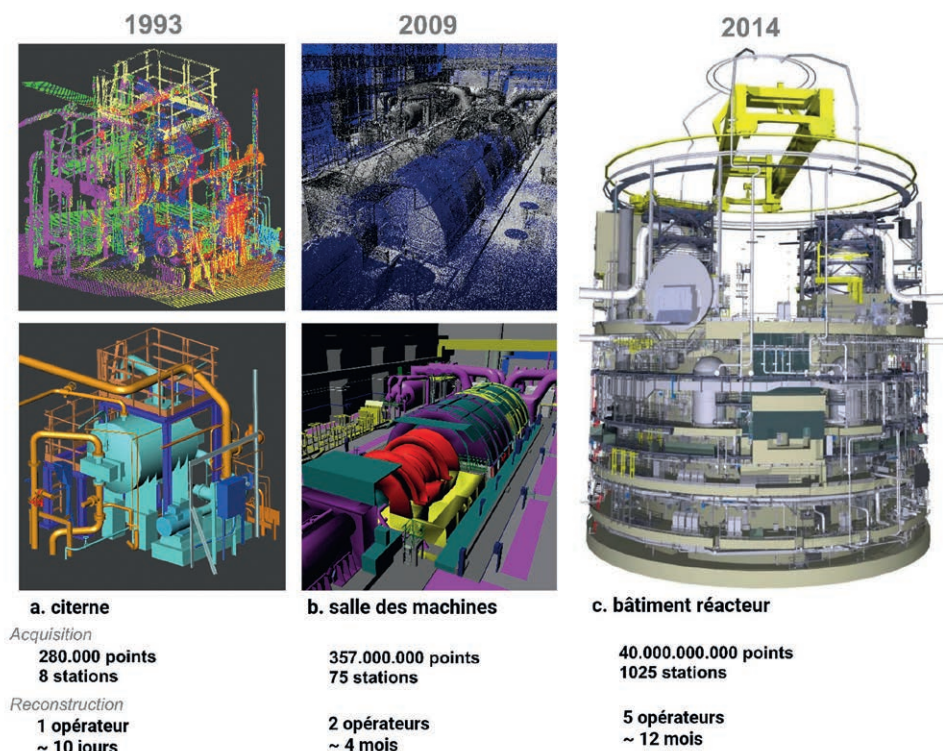


Figure 15. Évolution des techniques de relevés 3D



Figure 16. L'évolution des scanners laser

prises à la disposition des intervenants qui préparent les actions de maintenance dans le cadre de la prolongation de la durée de vie des centrales, étendant aujourd'hui le spectre d'utilisation des relevés topographiques 3D au-delà des ingénieries d'étude, directement pour les futurs intervenants sur site.

En extérieur également, les scanners laser ont été utilisés de longue date avec l'acquisition dès la fin des années 90 d'un capteur SOISIC à longue base. Le scanner laser à mesure de temps de vol GS100 est sorti quelques années plus tard et a été utilisé sur des zones de plus grandes étendues. Le scanner laser RIEGL LMS Z420i a été acquis en 2006 pour sa portée plus importante requise pour les levés en extérieur. Il a permis de réaliser le relevé des coques des aéro-réfrigérants des centrales nucléaires en remplacement de la photogrammétrie terrestre. Il a aussi été utilisé pour le suivi des déformations de parements de barrages en pierres appareillées (figure 18). Une mission hors du cadre EDF en collaboration avec l'Institut de Physique du Globe de Paris, l'Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand et le CNRS, a été réalisée avec cet appa-

reil pour le relevé de coulées de lave de deux volcans au Chili dans le désert de l'Atacama afin d'affiner les simulations des volcans les plus dangereux, telle la Montagne Pelée. Aujourd'hui, le service met en œuvre des scanners laser moyenne ou longue portée comme le RIEGL VZ400 (figure 16) pour ses activités d'auscultation d'ouvrages, mais également des scanners à main type HandySCAN (figure 17) pour le contrôle géométrique de pièces ou systèmes mécaniques de petites tailles. Différentes techniques complémentaires sont souvent associées pour répondre au mieux aux problèmes posés.

Une des contributions importantes d'EDF à la communauté de laser scanning a été la création, au cours de la thèse de Daniel Girardeau-Montaut au sein de la R & D, du logiciel Opensource CloudCompare, aujourd'hui utilisé à travers le monde entier.

Auscultations topo automatisées

La reconnaissance automatique de cible (ATR) a permis de développer de nouvelles méthodes de mesures. En bathymétrie, cela a facilité les relevés dans les zones encaissées où la couverture GPS n'est pas suffisante.



Figure 17. La complémentarité des scanners laser à main

En auscultation d'ouvrages, à partir de 1997 un glissement de terrain situé près d'un barrage en Lozère a été suivi à l'aide d'une station totale TCA1800 pilotée par le logiciel DPS-A. Ce système a permis de faire réaliser les mesures par un employé non-topographe de l'usine hydroélectrique voisine.

Les appareils comme les TCA 2003 et les TDA 5005 ont permis de réaliser des mesures de plus grande précision. Avec des boîtiers de liaison à longue distance par câble ils ont permis de faire des suivis dans des zones inaccessibles pendant des essais. On peut citer l'exemple d'une mesure dans l'espace entre les deux enceintes d'un bâtiment réacteur d'une centrale lors d'essais en 2001.

Pour le suivi des déformations d'une tour d'aéroréfrigérant lors de l'arrêt d'un réacteur nucléaire pour maintenance, puis lors du redémarrage, des prismes ont été installés le long de l'échelle et sur une partie du couronnement. Sur plusieurs mois, en 2010 puis en 2011, un TDA 5005 a été installé sur un pilier situé sur un bâtiment, il a été piloté par le logiciel Geomos installé sur un



Figure 18. Suivi de perrés de parements aval de barrages par lasergrammétrie



Figure 19. Suivi de barrage et d'aéroréfrigérant par télémessure topographique



la surveillance des ouvrages de production d'EDF dans le domaine du génie civil, les développements se poursuivent notamment pour la surveillance des glissements de terrain (figure 21) et les longs linéaires de digues (figure 22).

Les gains sont attendus sur l'automatisation de l'acquisition et le traitement des informations relevées en surface des remblais par les différents types de capteurs embarqués. L'évaluation faite par EDF de la faisabilité de détection de fontis par capteur LIDAR apporte des résultats prometteurs pour l'avenir sur ce champ.

■ La bathymétrie

Les services topographiques ont réalisé de nombreux relevés de profils en travers de rivière pour les études des ouvrages hydroélectriques et nucléaires. Vers 1980, la plupart de ces relevés se faisaient avec un câble ou une corde graduée tendue en travers de la rivière et une mesure de la profondeur avec une mire graduée ou un ruban lesté (le sonar Louis XIII disaient les anciens).

Les distancemètres électroniques et les sonars plus compacts ont permis d'employer d'autres méthodes.

En 1996, le service topographie s'est équipé d'un sondeur bi-fréquence Marimatech mono-faisceau, des logiciels de mesure et de traitement des données GALA et BATX développés par EDF R&D en utilisant les récepteurs GPS Ashtech Z12 en mode RTK ou un TCA1800 pour le positionnement. Une sonde CTD était



PC abrité dans le bâtiment. Ce PC était relié au réseau informatique interne et le système pouvait être suivi à distance. Un essai a été réalisé de 2008 à 2010 sur le barrage de Sainte-Croix, en équipant la voûte de prismes fixés à proximité des cocardes utilisées pour l'auscultation topographique classique par mesures d'intersection angulaires. Dix mesures ont été réalisées sur deux ans depuis un seul pilier avec une station TDA 5005. Cet essai a été concluant en matière de précision et de fiabilité. Depuis 2016, une télémessure topographique à poste fixe est installée sur ce barrage, reproduite aujourd'hui sur les barrages de Roselend, Naguilhes, Monceaux et probablement d'autres à venir (figure 19).

L'interférométrie radar

EDF s'intéresse à la technologie INSAR depuis 2005. Par le biais d'études tests sur plusieurs de nos aménagements, hydrauliques, thermiques et nucléaires avec les sociétés leader du domaine comme TRE-ALTAMIRA, mais également par le biais d'une thèse en partenariat avec le laboratoire GIPSA-Lab de Grenoble INP, nous avons pu évaluer cette technologie et en cerner tout le potentiel et les limites pour son application à la surveillance des ouvrages (figure 20).

C'est aujourd'hui un outil complémentaire aux méthodes et instrumentations de surveillance classiques que nous utilisons en évaluant son intérêt au cas par cas, compte tenu notamment :

- de l'hétérogénéité des résultats en terme de répartition des points détectés : pas ou peu d'information sur les zones végétalisées et/ou enneigées,

dans les zones d'ombres liées au relief en montagne, etc.

- du caractère unidimensionnel de la mesure de déplacement INSAR suivant la ligne de visée oblique du satellite, et donc sa sensibilité variable en fonction de l'orientation des déplacements réels,
- de son inaptitude à mesurer la composante Nord-Sud des déplacements, les lignes de visées étant globalement contenues dans un plan vertical Est-Ouest,
- enfin de l'incertitude importante de la localisation en plan des points détectés, liée à la fois à l'incertitude de positionnement INSAR et à l'imprécision des images utilisées en trame de fond.

Les drones

Depuis l'article de la revue XYZ N°141 présentant l'utilisation des drones pour

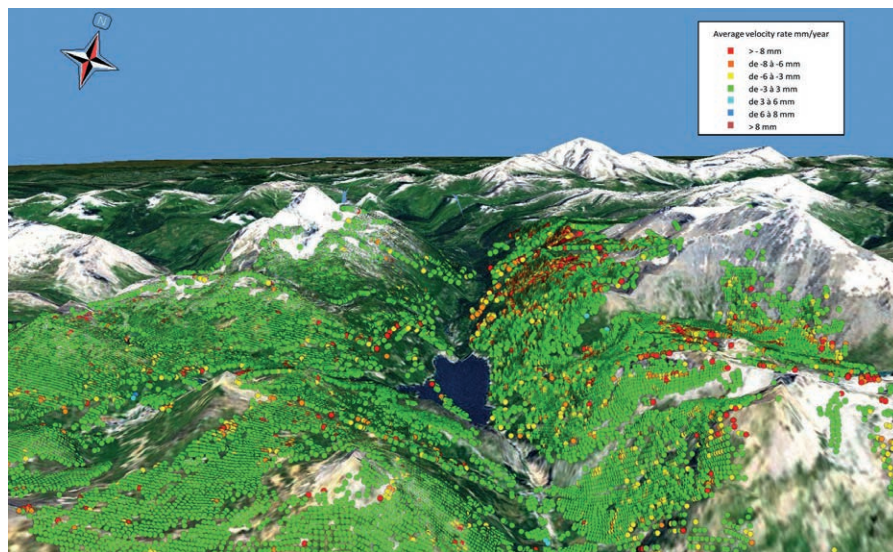


Figure 20. Étude INSAR sur les rives d'un aménagement hydraulique pour appuyer l'étude géologique



Figure 21. Levé photogrammétrique par drone d'un glissement de terrain (Caméra légère IGN)

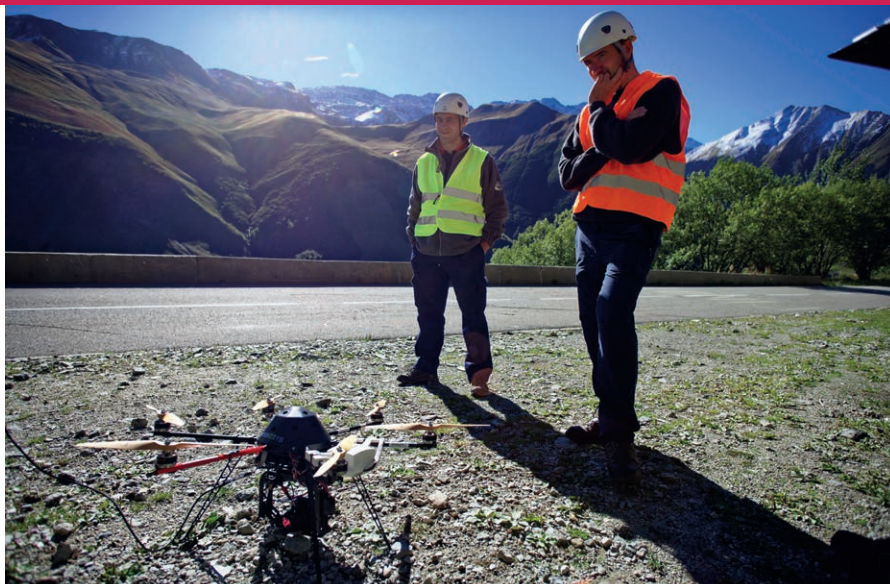


Figure 22. Levé Lidar de digue par drone (Riegl VUX1 et Applanix AP20 sur drone Delair DT26X d'Altametriss)

utilisée pour mesurer la célérité du son dans l'eau. Les GPS ont été remplacés par des Leica GPS 500 puis 1200 et les logiciels internes par le logiciel du commerce Hypack.

En 2005, les activités de bathymétrie ont été regroupées à DTG au sein du service Environnement traitant des enjeux liés au suivi sédimentaire dans les retenues (détermination des courbes de capacité, études hydro-morphologiques), des enjeux sûreté (vérification de l'alimentation source froide des centrales nucléaires, des ouvrages immergés, des problèmes d'affouillement...) et des enjeux sécurité (vérification des chenaux navigables). Le service évolue ainsi vers des systèmes multifaisceaux et interférométriques en complément du monofaisceau.

Actuellement, l'activité continue d'évoluer avec les drones bathymétriques notamment. Depuis 2007, la DTG participe activement au développement de cette technologie via la construction d'un premier bateau téléguidé (Catamétrie) en 2007 équipé en monofaisceau. Cette technologie est désormais aboutie et déployée pour des mesures opération-



Figure 23. Évolution des techniques bathymétriques



nelles en remplacement ou complément des moyens classiques. Elle permet d'accéder à des zones difficiles, de mesurer en petit fond mais contribue surtout à limiter les risques sur ces prestations de mesure. La DTG poursuit ses tests actuellement avec les drones multifaisceaux qui commencent à voir le jour avec des performances augurant d'un bel avenir (figure 23).

Aujourd'hui, la complémentarité bathymétrie – Lidar aéroporté est de plus en plus exploitée pour limiter la contrainte de niveau d'eau des retenues lors des relevés. Des relevés photogramétriques par drone sont également bienvenus pour compléter certaines zones inaccessibles en queue de retenue ou des îlots non végétalisés en rivière. Les Lidar bathymétriques sont également testés et présentent des résultats prometteurs même si leurs limites d'utilisation restreignent leur usage (faible pénétration dans l'eau et nécessité d'avoir une eau claire avec une surface lisse).

De nombreux travaux restent encore à mener pour donner encore plus de sens à la mesure bathymétrique, notamment en l'associant aux mesures de tomodographie (sondeur acoustique très basse fréquence), de scanner latéral ou en jouant sur les fréquences d'acquisitions pour mieux appréhender la nature des fonds.

Conclusion

Le métier de topographe a fortement évolué ces dernières décennies, grâce bien sûr aux apports considérables de l'informatique et de l'électronique, mais aussi grâce aux nouvelles technologies de mesure et de communication ainsi qu'aux porteurs disponibles (aérien, spatiaux...).

Parmi les évolutions technologiques les plus remarquables, on peut citer les systèmes globaux de positionnement par satellites (GNSS) utilisés pour de nombreuses applications (construction, auscultation, bathymétrie, foncier...), les théodolites automatisés et niveaux numériques, les scanners laser, les lasers trackers utilisés en milieu industriel, la photogrammétrie numérique... Et l'ensemble des logi-

ciels de traitement des données et de présentation de l'information (logiciels 3D, 4D, Systèmes d'Information Géographiques, BIM...).

L'expérience montre que toutes ces nouvelles techniques, ces évolutions, ou ces nouveaux logiciels doivent être testés soigneusement et utilisés en parallèle avec les techniques actuelles lors d'une phase de test avant d'être mis en exploitation pour s'assurer qu'ils n'amèneront pas de discontinuité dans les résultats. Les ouvrages de production d'électricité, comme les barrages ou les centrales nucléaires ont une durée de vie très longue, les bases de données constituées au cours du temps avec toutes les mesures d'auscultation sont importantes pour l'analyse du comportement mécanique de ces ouvrages, les évolutions des systèmes de stockage et de gestion de ces données doivent garantir la continuité de ces bases de données.

Il faut également garder à l'esprit que ces technologies aussi automatisées et sophistiquées soient-elles, doivent toujours être parfaitement dominées par leurs utilisateurs, sous peine de ne répondre que partiellement aux problèmes initialement posés, voire de commettre de grossières erreurs. Cette maîtrise passe toujours par une très bonne connaissance des bases du métier de topographe et une connaissance approfondie de chaque outil et de son mode de fonctionnement. Il est donc également très important pour les topographes d'avoir accès à une formation continue de bonne qualité tout au long de leur carrière pour maîtriser toutes ces évolutions.

Enfin soulignons l'aspect très transverse du métier de topographe, qui intervient dans des domaines extrêmement divers. Trop souvent considérées comme des postes de coûts imposés sur les projets, les activités topographiques sont pourtant d'autant plus efficaces et pertinentes qu'elles sont impliquées dès le démarrage des projets. Cela permet aux topographes de s'approprier les enjeux par un dialogue constructif avec tous les interlocuteurs, dans un esprit de performance, voire d'innovation. C'est l'un des atouts majeurs d'une ingénierie topographique intégrée au sein du groupe EDF. ●

Références

- XYZ N° 8 - *Auscultation des réfrigérants atmosphériques* – Jean Combe
- XYZ N° 28 - *Prévention des risques technologiques, l'auscultation* – Jean Combe, Gérard Chazalet
- XYZ N° 49 - *Piste combinée de bobsleigh et de luge de La Plagne : métrologie temps réel appliquée au Génie Civil* – Gérard Chazalet
- XYZ N° 69 - *La métrologie industrielle à EDF* – Jean-Luc Lubawy
- XYZ N° 70 - *Auscultation altimétrique du complexe du groupe turbo alternateur* – Fabrice Collin, Jean-Marie Rameau, Dominique Berhouet, Jean-Luc Lubawy, Patrick Levesque, Franck Papon
- Remote Sensing 2015 : *Multi-Sensor As-Built Models of Complex Industrial Architectures* – Hullo, Thibault, Boucheny, Dory, Mas
- International Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2015 : *Advances in multi-sensor scanning and visualization of complex plants: the utmost case of a reactor building* – Hullo, Thibault, Boucheny
- XYZ N° 116 : *Étude relative aux méthodes de mise en œuvre et à la précision du scanner laser RIEGL LMS Z420i dans le cadre des travaux topographiques d'EDF* – Carine Honoré
- XYZ N° 128 - *La surveillance des ouvrages à EDF* – Rémy Boudon, Michel Trouillet
- XYZ N° 141 - *Utilisation des drones pour la surveillance des ouvrages de production d'EDF dans le domaine du génie civil* – Rémy Boudon, Philippe Rebut, Julien Monnerie, Nicolas Janvier, Michel Trouillet, Florian Mauris, Patrice Scharff, Jean-Pierre Roche, Didier Boldo, Arnaud Durand

Contacts

Rémy BOUDON, remy.boudon@edf.fr
 Guillaume THIBAUT, guillaume.thibault@edf.fr
 Michel TROUILLET, michel.trouillet@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this article is the evolution of most used survey technologies at EDF (French Electricity Company) for the last 40 years as angular and distance measurements, direct leveling. New technologies, such as industrial measurement, GNSS, 3D survey, INSAR, UAVs, bathymetry, introduced during this period and used at EDF are also shown.