



Ingénieur en Topographie, une formation en phase avec des technologies et des besoins toujours plus exigeants.

**Mathieu KOEHL
Pierre GRUSSENMEYER
Tania LANDES
Gilbert FERHAT
Jacques LEDIG**

Mots clés : Formation, Enseignement, Topographie, Evolutions technologiques.

Résumé :

Avènement de l'ère numérique, explosion des réseaux et des outils de télécommunication, miniaturisation, robotisation, laser, scanner, numérisation, interopérabilité, internet, mondialisation, globalisation, GPS, GNSS... Voici des termes et des notions des plus modernes qui ont envahi notre quotidien depuis quelques années.

Le métier de géomètre-expert en est particulièrement affecté, car il est porté par cette vague d'évolutions technologiques.

Mais il ne faut pas qu'il la subisse, au contraire, il faut qu'il en tire tout le meilleur pour avancer et faire évoluer le métier en même temps.

Dans le domaine de la formation, les enjeux sont identiques : toujours être au plus près et au plus précis, voire en avance de quelques pas sur les besoins du métier, en phase avec la technologie, l'étudier, l'éprouver... et former des ingénieurs capables d'en comprendre la portée, de l'utiliser à bon escient.

Cette conférence propose de revenir sur les dernières avancées technologiques dans le domaine de la géomatique, d'en analyser la portée et les conséquences ou défis qu'elles posent, proposent et finalement imposent aux formateurs et aux formations métiers.

Des exemples pratiques seront tirés des disciplines comme le SIG, les GNSS, la photogrammétrie, la lasergrammétrie, l'instrumentation topographique, le traitement d'image,

la modélisation 3D, etc. à partir d'expériences de la Spécialité Topographie de l'INSA de Strasbourg, *Graduate School Of Science and Technology*.

1. INTRODUCTION : Les formations d'ingénieurs topographes en France

En France, la formation des ingénieurs topographes est assurée par 3 écoles [Revue Géomètre n°2045] : l'École Supérieure de Géomètres Topographes (ESGT) située au Mans, l'École Spéciale des Travaux Publics, du bâtiment et de l'industrie (ESTP) située à Paris et Cachan et l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Strasbourg. Ces trois écoles forment en tout à peu près 175 ingénieurs topographes par an. Cet article parlera surtout de l'INSA de Strasbourg, anciennement ENSAIS (École Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg), institut auquel appartiennent les différents auteurs. Dans le même registre on pourrait également citer l'ENSG (École Nationale des Sciences Géographiques) située à Marne-la-Vallée et qui est l'école d'ingénieurs de l'IGN (Institut Géographique National).

Depuis toujours, les formations d'ingénieurs sont des formations techniques de très haut niveau, dans le domaine de la topographie, cela est d'autant vrai par le côté technologique des disciplines enseignées, par l'évolution technologique des matériels utilisés et enfin par les besoins toujours plus pointus exprimés par les professions auxquelles les futurs ingénieurs sont destinés.

Cet article présentera la situation particulière de l'INSA de Strasbourg du point de vue de l'évolution de la formation au cours du temps dont le souci principal est de rester au plus près des besoins exprimés par la profession tout en anticipant les futures demandes.

2. LA FORMATION DES INGENIEURS TOPOGRAPHES A STRASBOURG

2.1. Aperçu historique

Louis Tschaen, professeur émérite de topographie, a repris dans un article à paraître l'historique de la spécialité topographie de l'INSA de Strasbourg depuis sa création. Quelques extraits de cette reconstitution historique montrent que de tout temps, la formation était en adéquation avec les besoins exprimés par de nouvelles professions, de nouveaux besoins, de nouvelles lois, etc.

2.1.1. Loi de 1884

Ainsi, alors que le 31 mars 1884 la *loi relative à la rénovation du cadastre, la péréquation de l'impôt foncier et la conservation du cadastre* est entrée en vigueur, l'application de cette loi nécessite évidemment une nouvelle organisation administrative et une formation adéquate du personnel, en particulier des géomètres qui devront à l'avenir obtenir un agrément conformément aux paragraphes 11, 22 et 52 de cette même loi. C'est le 3 novembre 1884 qu'a été promulgué le règlement concernant les conditions d'attribution du diplôme de géomètre en Alsace-Lorraine requis pour opérer dans le nouveau cadastre. Cette école de géomètres interne au service du cadastre, installée à Strasbourg, correspondait à un besoin de formation du personnel nécessaire à la bonne marche du service du cadastre. Néanmoins l'enseignement scientifique et technique était conçu pour satisfaire également les autres besoins de la profession et pour permettre aux géomètres de s'adapter aux différentes situations futures.

2.1.2. 1895 : Création de l'Ecole Technique de Strasbourg

L'Ecole Technique de Strasbourg (1895) comporta 4 sections dont une section de géomètres. La formation des géomètres y avait une durée de trois ans, y compris un stage d'un an et demi dont un dans le service du cadastre et une demi-année dans un service d'améliorations foncières ou dans un service administratif des bâtiments. Les candidats à l'examen de géomètre devaient fréquenter pendant trois semestres l'Ecole Technique de Strasbourg ou une autre école technique agréée par le Ministère. La durée de la formation académique était de 54 semaines pour un volume total de 1440 heures.

En 1907, la formation théorique comprend les différentes disciplines énumérées dans le tableau 1.

La durée est de quatre semestres correspondant à 2556 heures de formation.

Puis le programme des études évolue progressivement; en particulier au cours de l'année scolaire 1907/08 a été introduit un cours de calcul numérique d'une durée de 2 heures par semaine pendant le premier semestre. L'année scolaire suivante, sa durée sera portée à 3 heures par semaine.

Au cours de l'année scolaire 1909/10 ont été introduits pour toutes les sections de l'école des cours à option concernant le français technique et l'éducation physique.

Mathématiques	arithmétique, algèbre, analyse dont calcul différentiel et intégral, géométrie dans le plan, stéréométrie, géométrie analytique dans le plan, les principes de la géométrie descriptive, trigonométrie plane, polygonation, élément de la trigonométrie sphérique.
Topométrie	théorie de la mesure des angles horizontaux et verticaux avec des travaux pratiques sur le terrain, levés cadastraux, calcul des coordonnées, théorie des erreurs d'observation, compensation par la méthode des moindres carrés, projet et implantation de bâtiments, calcul de surfaces et de mouvement de terre, division de surface, règles en vigueur en Alsace-Lorraine dans les travaux cadastraux, de remembrement et du bâtiment.
Instruments	construction, utilisation, contrôle et réglage des instruments en service dans les différents types de lever.
Techniques des améliorations foncières	éléments du génie civil, du génie rural, remembrement, pédologie, botanique des plantes des prés et prairies.
Droit civil et administratif	lois intervenant dans les relations juridiques du géomètre, institution cadastrale et prescriptions administratives applicables dans l'établissement et la mise à jour des documents cadastraux.
Dessin	dessin de plan, dessin topographique et écritures de plan.

Tableau 1. Disciplines de formation en 1907 [d'après Tschaen 2008]

2.1.3. 1919 à 1951 : Ecole Nationale Technique de Strasbourg (ENTS)

Les tableaux hebdomadaires des enseignements font apparaître des cours de géodésie et de nivellement barométrique. Les enseignements se poursuivent toujours sur 4 semestres pour un volume total de 2176 heures.

2.1.4. 1951 : Ecole Nationales d'Ingénieurs de Strasbourg (ENIS)

Le 29 août 1950, le Président du conseil des ministres prit le décret portant organisation de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Strasbourg, dont l'article premier précise que l'Ecole Nationale Technique de Strasbourg prendra désormais le nom d'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Strasbourg. La durée des études est de quatre ans, et concernant la spécialité Topographie, la quatrième année est remplacée par un stage.

2.1.5. 1966 : Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS)

En 1976, l'école qui avait changé en 1966 sa dénomination pour celle d'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS) passa au régime des trois années d'études. Cette modification nécessita une nouvelle réorganisation entraînant une réduction du volume horaire des cours techniques et de la durée du stage de fin d'études, qui était ramenée à six mois.

2.1.6. 1996 : Développement de la recherche

A partir de 1996, s'est développée la recherche à travers la Jeune Equipe du LERGEC (Laboratoire d'Etude et de Recherche en Génie Civil). Depuis 2002, l'équipe PAGE (Photogrammétrie Architecturale et GEomatique) fait partie de l'UMR 694 MAP (Modèles et simulations pour l'Architecture, l'Urbanisme et le Paysage) placée sous la tutelle du CNRS et du ministère de la Culture et de la Communication. Elle est rattachée à l'Ecole Doctorale ED269 (Mathématiques, Sciences de l'Informatique et de l'Ingénieur) de l'Université de Strasbourg. Associant, dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire, architectes, ingénieurs, historiens, géographes et informaticiens, les travaux du MAP portent sur les applications de l'informatique à l'architecture et sur l'élaboration de modèles et d'outils de simulation. Le développement d'outils numériques pour le traitement des données photogrammétriques et lasergrammétriques d'une part, et la modélisation tridimensionnelle des objets topographiques et architecturaux, d'autre part, constituent les principaux axes de recherche de l'équipe du MAP-PAGE. Celle-ci est actuellement impliquée dans plusieurs projets nationaux et internationaux.

2.1.7. 2003 : Adhésion au réseau des INSA

Enfin, le décret du 2 février 2002 transforma l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Industries de Strasbourg (ENSAIS) en Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg (INSA de Strasbourg) avec ses contraintes mais surtout avec les nouvelles perspectives d'un réseau d'écoles. Le nouveau panorama des écoles d'ingénieurs fournit une vision plus claire au niveau Européen : les écoles sont regroupées en réseaux d'écoles ou sont rattachées à des universités.

2.1.8. Conclusion

Cet aperçu historique des moments clés de l'école, montre comment celle-ci s'est adaptée aux contextes historiques, aux besoins en formation, puis a suivi les évolutions nationales des formations d'ingénieurs. Mais, dans un contexte plus récent, les bouleversements technologiques de ces vingt dernières années ont encore entraîné des mutations profondes dans les cursus de formation.

2.2. Depuis vingt ans, des mutations profondes...

La formation moderne des années 1985-1990 comportait les enseignements que l'on retrouve dans la Tableau 2. La période de formation s'étendait sur 32 semaines par an. Il est à noter que l'informatique ne faisait que ses premiers pas et que les moyens de calculs consistaient

encore presque uniquement en des calculatrices permettant la programmation de quelques lignes de codes.

Culture générale	langues, droit, droit professionnel, gestion d'entreprise, sciences humaines, éducation physique.
Sciences fondamentales	mathématiques, informatique, physique, hydraulique générale.
Sciences et techniques professionnelles	instruments et méthodes, topométrie et topographie générale, calculs de probabilités d'erreurs et de compensation, réseaux topométriques de détail, étude de tracés et implantations, triangulation et trilatération topo, géodésie classique et spatiale, géodésie astronomique, cartographie générale et mathématique, reprographie, photogrammétrie et télédétection, travaux topographiques, physique du globe, informatique appliquée.
Sciences et techniques connexes	les cadastres et systèmes fonciers, l'expertise foncière, géologie générale et appliquée, agronomie, génie rural, hydraulique appliquée, urbanisme, travaux publics et génie civil, réseaux, organisation de cabinet de G.E.F., techniques de sécurité.
Autres activités	conférences, stages, étude spéciale.

Tableau 2 : Disciplines enseignées en 1985

Les grilles d'enseignements comportant près de 2700 heures de formation ont gardé le même esprit jusqu'en l'an 2000 où une réforme profonde a été engagée.

2.2.1. La réforme de l'an 2000

Elle s'appelait « OREMO » comme ORganisation des Enseignements en MOdules. Pour plus de lisibilité, et pour une évaluation des études par la validation de modules indépendants, les différentes disciplines enseignées ont été regroupées en modules aux thématiques communes. Cette réforme a également permis une remise à plat de tous les enseignements.

Comme autres avancées, nous noterons la mise en place d'une culture d'école par l'intermédiaire de cours en tronc commun. Informatique générale, Economie et Stratégie d'Entreprise, Conception et Innovation, Cultures et Civilisations, Droit Général, Gestion Financière d'Entreprise, Information et communication, Management de Projet, Management des Ressources Humaines, etc. sont les nouveaux intitulés qui apparaissent... La règle commune adoptée décline la formation professionnelle en 25% de formation générale, 25% de formation scientifique et 50% de formation technique avec une inversion des volumes entre les enseignements généraux et techniques pendant la scolarité. D'autant plus que la même réforme comporte de nouvelles contraintes en termes de coûts de formation et de temps de face à face pédagogique maximum : celui-ci passe à ce moment-là de 2400 à 2100 heures. Tous les enseignements sont dorénavant déclinés en crédits *ECTS (European Credit Transfer System)*.

2.2.2. La transformation en INSA (2003)

Fort de cette réforme très récente qui a mis du temps à être acceptée du fait de ses importantes contraintes, la prochaine suit très rapidement : en 2003, l'adhésion au réseau des INSA apporte un nouveau souffle et de nouvelles lignes directrices aux contenus de formation. Alors qu'« OREMO » a nécessité une forte restructuration des enseignements, avec des suppressions complètes de matières enseignées et des réductions importantes d'horaires, la nouvelle réforme « FORCE5 » est surtout axée sur la mise en place d'une formation d'ingénieurs en cinq ans. Les deux années de « classes préparatoires » (CP) intégrées à l'école, deviennent des « classes préparatoires » intégrées à la formation. Elles en perdent

même leur nom en étant associées à un Département (tout comme la Topographie au sein du Département Génie civil & Topographie) : Sciences, Techniques et Humanités (STH). L'ingénieur INSA, quelle que soit sa spécialité doit à présent effectuer une mobilité à l'international (3 mois minimum), doit posséder un niveau de langue vivante certifié - pour l'anglais, il s'agit du TOEIC 750 points ou WIDAF 530 points pour l'allemand -, doit effectuer des stages en entreprise (12 semaines minimum) et termine sa scolarité par un Projet de Fin d'Etudes d'une durée minimum de 20 semaines. Les grilles de formation actuelles sont revues annuellement au cours des Conseils de Spécialité où les aménagements, harmonisations, mises à jours, réorganisations sont décidées. Ces conseils sont mis en place pour assurer une cohérence au sein de l'INSA, mais également pour suivre les évolutions technologiques et demandes particulières des différentes professions associées.

3. LES DEFIS DES FORMATEURS

3.1. Une formation complète

Comme nous venons de le voir, les différentes réformes ne facilitent pas la tâche des formateurs, les évolutions technologiques et informatiques galopantes d'ailleurs non plus ! Mais une fois les contraintes posées, il s'agit d'avancer en proposant des formations attractives, complètes et utiles. Les méthodes pédagogiques ayant évolué également, les messages peuvent être transmis plus rapidement, en plus grand nombre. Mais attention, il ne s'agit pas de noyer le futur ingénieur sous des tonnes de photocopiés, voire de-grands nombres de transparents projetés à l'écran !

Les commissions de formation doivent ainsi discuter des contenus de cours pour n'en conserver que les plus pertinents associés à des méthodes pédagogiques efficaces. Chaque module est associé à un objectif de formation, une durée et une méthode de transmission (Cours, Travaux Dirigés, Travaux Pratiques, Projets, Séminaires, e-learning).

3.2. Une formation comprise

La formation permet de faire les premiers pas dans une profession qui est souvent très complexe et qui comporte ses propres codes, ses propres spécificités, ses propres règles. Il faudra distinguer différents niveaux de connaissances : information, connaissance générale, savoir approfondi, expertise technique, etc.

Là encore, le degré de connaissance doit être bien défini et ciblé dès le départ et pour chaque module de formation. Dans sa vie professionnelle, l'ingénieur pourra se fonder sur ses connaissances initiales et décider d'acquérir des connaissances complémentaires utiles dans le cas où il doit acquérir un niveau d'expertise plus avancé dans certaines disciplines. C'est ainsi, que dans le paragraphe suivant, nous définissons des étapes importantes dans la vie professionnelle de nos ingénieurs. Ces étapes découlent de différents suivis de nos anciens étudiants au cours de leur parcours professionnel.

4. LES DEFIS DES FORMATIONS

4.1. Quels avenir pour les diplômés ?

Certains ingénieurs terminant à peine leur formation s'engagent dans des formations complémentaires sous forme de spécialisation (Master en urbanisme, formation en gestion, Master recherche puis thèse de doctorat, etc.). Ces ingénieurs ont souvent une vision bien claire de leur plan de carrière et se spécialisent en conséquence.

Nos formations ont pour objectifs de préparer les futurs ingénieurs à deux étapes importantes dans leur carrière :

- Immédiatement et jusqu'à 3 à 5 ans après le diplôme : l'ingénieur a de grandes capacités d'adaptation, dans la plupart des missions classiques et il est efficace et opérationnel. Ses premières expériences professionnelles complètent la formation initiale. Chacun y trouvera soit une spécialisation, soit la mise en pratique des nombreuses connaissances acquises sur les bancs des écoles. Cette période permet également d'expérimenter, ou encore de découvrir des pans de métiers méconnus. Le début de cette période est souvent passé en tant que stagiaire dans un cabinet de Géomètre-Expert...
- La deuxième phase de la carrière, après quelques années d'expérience permet à l'ingénieur de changer de rôle au sein de l'entreprise ou du service où il évolue : il devient de plus en plus un manager, chef d'entreprise, expert dans un domaine particulier. C'est là qu'il doit s'entourer de collaborateurs efficaces dans les différents domaines d'activités qu'il aura privilégiés.

Alors que le côté technique de la formation est très important lors de la première phase décrite ici, les aspects des sciences humaines pourront devenir importants dans la deuxième phase de carrière. Mais entre temps, l'ingénieur aura su choisir sa voie et compléter sa formation de manière continue. Ce qu'il n'oubliera pas et ce dont il pourra se servir tout au long de sa carrière, ce sont ses expériences en entreprises, mais également ses connaissances en langues vivantes et son expérience internationale. Mais pour que la formation soit efficace et durable, il nous paraît incontournable de l'adosser à quatre composantes majeures : la profession, les avancées technologiques, l'informatique et la recherche.

4.2. La formation adossée à la profession

4.2.1. Une profession présente

La profession, et notamment celle de Géomètre-Expert est un garant de nos formations. L'Ordre des Géomètres-Experts par l'intermédiaire de ses commissions participe à la mise en place et à la maintenance des bons niveaux des formations pratiquées dans les écoles. Les évolutions de la profession sont suivies de très près par les commissions techniques. Les opportunités de modification ou d'adaptation des contenus de programmes sont très fréquentes (même si la fréquence d'adaptation, ne peut pour des raisons pratiques n'être qu'annuelle). La récente remise à jour d'un cours de 42 heures dénommé « pratique professionnelle du Géomètre-Expert », entièrement conçu et dispensé par des Géomètres-Experts est également un bon exemple de la présence de la profession dans le processus de formation.

Un autre lien important avec la profession est constitué par les périodes de stage obligatoire, pour lesquelles le stage de troisième année est majoritairement effectué dans un cabinet de Géomètre-Expert. Deux stages en période estivale sont obligatoires dans les formations. Les

rapports de stage sont souvent assez éloquentes sur les besoins des cabinets tant en main d'œuvre qu'en compétences accrues.

Un lien supplémentaire avec la profession est apporté par les chargés d'enseignement vacataires issus du milieu professionnel. Il s'agit de spécialistes dans les différents domaines d'intervention qui insufflent du concret aux différents modules théoriques. 20% des intervenants dans les formations techniques sont des « professionnels ».

Pendant les Projets de Recherche Technologique (PRT), les étudiants consacrent une demi-journée par semaine à un projet en lien direct avec le monde professionnel. Souvent les projets sont d'ailleurs proposés par les organismes extérieurs. Parmi les exemples suivants, qui sont quelques sujets proposés en 2007/2008, certains ont directement débouché sur des projets plus longs, c'est-à-dire sous forme de Projet de Fin d'Etudes (PFE) :

- *Face aux nouveaux enjeux durables, quelles perspectives pour l'AFU de Village Neuf ?* [Barbier, Straub],
- *Méthodes d'analyse d'un nuage de points dans le cadre d'auscultation d'ouvrage d'art par lasergrammétrie.* [Bernon, Hansen],
- *Etude d'un système utilisé pour le relevé automatique de chambres d'assainissement. Extrapolation vers d'autres systèmes.* [Bourez, Combes],
- *Impacts de la migration des données géographiques du SIG vers le système de projection national en vigueur actuellement.* [Chatin, Pierson],
- *Analyse des écarts altimétriques obtenus en mesure GPS sur des sites à fortes dénivelées.* [Tarroux, Panissod],
- *Mise en valeur du site de l'abbaye de Niedermunster.* [Lott, Koch].

Justement, ces PFE sont les expressions directes des besoins de la profession en termes de recherche, d'avancée technologique, d'esprit critique, de regard extérieur et de sang neuf, voire la recherche de motivation pour un futur collaborateur. Les sujets de PFE proposés par la profession de Géomètre-Expert sont de plus en plus nombreux et sont encouragés par les équipes enseignantes. Il s'agit, par contre, de bien comprendre les objectifs du PFE qui consistent à mettre l'étudiant en fin de cursus dans une situation inédite lui permettant ainsi de proposer et trouver des solutions aux problèmes posés, tout en montrant ses capacités et ses compétences de futur ingénieur. Quelques exemples actuels (PFE 2008) sont donnés dans ce qui suit :

- *La démarche qualité terrain au sein du cabinet : de la mesure codifiée au dessin assisté par ordinateur (méthodologie, organisation et outils).* [Caudrelier],
- *Mise en œuvre d'un outil logiciel de conception de règlement de copropriété / lotissement / ASL au sein des outils AutoCAD et Microsoft Word.* [Chatin],
- *Etude et mise en application de méthodologies de travail uniformisées sur l'ensemble des sites de production d'une société de géomètres-experts, bureau d'études infrastructures.* [Combes],
- *Information géographique et foncier : mise en œuvre du « référentiel foncier unifié » défini par l'OGÉ.* [Heyndrickx],
- *Projet de dématérialisation de la documentation annexe au Plan Cadastral de type Alsace-Moselle.* [Kuntzelmann],
- *Conception et suivi opérationnel d'un lotissement d'habitation à Niederlauterbach.* [Tarroux].

4.2.2. Des enseignants proches du milieu professionnel

Le milieu professionnel, le monde industriel est également omniprésent dans l'entourage proche des enseignants de la Spécialité Topographie. En effet, à côté des tâches initiales d'enseignement et des parfois lourdes tâches administratives qui lui incombent, l'équipe enseignante participe à de nombreux projets en relation avec le milieu professionnel. Cela se traduit le mieux dans les projets de topographie groupés effectués par les étudiants en 3^{ème} année (1 semaine groupée), pendant laquelle les étudiants fonctionnent en petites équipes pour effectuer des opérations de nivellement de précision et une opération très prestigieuse consistant en l'auscultation topométrique de la Cathédrale de Strasbourg. Les projets de travaux topographiques groupés de 4^{ème} année (4 semaines) reposent également sur des travaux réels. Une collaboration historique très proche avec les services du Cadastre perdure encore aujourd'hui : des travaux de remaniement, de mise à jour, où encore une particularité comme le relevé de la Lauter, rivière du Nord de l'Alsace et seule frontière naturelle mouvante de la France sont des expériences et des intégrations dans le monde professionnel très importantes pour les étudiants. La direction de l'INSA encourage d'ailleurs vivement ces intégrations et collaborations avec le milieu professionnel.

Enfin, tous les enseignants interviennent régulièrement en tant que consultants, experts dans un grand nombre de projets industriels ou de recherche. L'OARA en est à sa 28^{ème} édition. Il s'agit de proposer des Opérations d'Aides à la Réalisation d'Avant projet sous forme de partenariat entre l'INSA et les entreprises (principalement des PME-PMI), ces partenariats étant en partie financés par la Région Alsace.

4.3. La formation adossée aux avancées technologiques

Depuis les années 1980, d'importantes évolutions technologiques ont bouleversé les méthodes de mesures et donc directement les pratiques professionnelles. En effet, tout commence avec les débuts de la démocratisation de l'informatique, puis l'apparition d'instruments numériques, qui depuis ont été robotisés, les mesures de distances de plus en plus précises, maintenant sans réflecteur, l'avènement du GPS et des récepteurs GNSS et la mise en place de réseaux, la mise sur le marché de scanner 3D, de stations totales d'imagerie, etc. Autant d'avancées technologiques fondamentales qui s'enchaînent de plus en plus rapidement influençant profondément la profession qui les utilise en premier lieu.

Nous retrouvons dans ce qui suit les principales avancées, classées par catégorie et associées à des questionnements légitimes sur l'avenir de la profession.

4.3.1. Les instruments : révolution technologique pour un bouleversement des méthodes de travail.

4.3.1.1 Niveaux électroniques

Le nivellement a toujours été considéré comme une opération relativement simple utilisant une instrumentation légère, maniable et dont la mise en œuvre est facile. Pour garantir une précision recherchée, les niveaux optico-mécaniques proposaient des basculements de lunette et bien entendu une méthodologie compensant les erreurs de réglage (par exemple équidistance). Restaient encore le « composant » le plus sensible aux erreurs : l'opérateur et ses fautes de lecture. Comment pallier ces inconvénients ? Remplacer le calage fin, par un compensateur automatique, proposer des modes opératoires prédéfinis, remplacer la lecture de l'opérateur par une mesure automatique enregistrée et enfin calculer au fur et à mesure les différences d'équidistances. Il reste que les instruments sont sensibles aux vibrations, nécessitent des conditions de luminosité minimale et des opérateurs formés spécifiquement.

4.3.1.2. Tachéomètres

La mesure d'angles et de distances a également nettement évolué durant les dernières décennies. Entre le plomb laser et la nivelle électronique, le numérique a trouvé une place de choix. Les mesures sont effectuées et affichées numériquement, les données sont enregistrées dans des bases de données internes aux instruments et exportables à différents formats. Les projets sont affichés sur les écrans tactiles et graphiques des instruments. Les écrans eux-mêmes sont intégrés à des boîtiers de commande permettant de piloter l'instrument à distance. Les programmes de calcul, d'implantation, d'auscultation sont intégrés dans les instruments robotisés, les prismes réflecteurs sont pointés automatiquement, les distances sont mesurées même sans prisme réflecteur, etc. Les stations totales intègrent des fonctionnalités vidéo, enregistrent des mosaïques d'images, permettent d'acquérir automatiquement des nuages de points, etc. Mais que leur manquent-ils ? Des opérateurs bien formés bien entendu ! Car les paramétrages très nombreux sont certes des atouts pour des instruments, qui de ce fait deviennent universels, mais peuvent très vite conduire à des erreurs pour des utilisateurs débutants ou non sensibilisés à toutes les finesses des méthodes de mesure.

4.3.1.3. Scanner 3D

Depuis quelques années sont apparus sur le marché de la topographie les scanners 3D. Des coûts d'acquisition encore relativement importants sont encore des freins à l'utilisation de ces technologies très spécifiques. Les marchés potentiels ne sont pas encore très bien identifiés non plus. Mais le potentiel de ces scanners et des nuages de points qu'ils génèrent est assurément très grand. Notre laboratoire de recherche disposant d'un tel équipement financé par la Région Alsace teste les nombreuses possibilités d'utilisation d'un tel scanner dans les conditions les plus extrêmes. Les sujets de recherche donnés en exemple dans l'un des paragraphes suivants montrent l'engouement suscité par ces technologies. Il reste là encore à définir les marchés, à maîtriser les coûts d'acquisition, les niveaux de détail, les outils d'exploitation et de visualisation, etc. Comme le GPS en son temps, le scanner est une affaire de spécialiste pour sa mise en route. Il mesure ensuite automatiquement pendant un certain laps de temps et finalement offre des données très intéressantes. Les possibilités d'utilisation sont innombrables mais engendrent également des temps de traitements encore relativement longs. Comment évolueront les scanners en termes de coût, de temps d'acquisition, de précision d'acquisition, de maniabilité ? C'est le marché qui créera les besoins et qui favorisera l'évolution encore souhaitable de ces technologies et des algorithmes de traitement.

4.3.1.4. GPS / GNSS

Dans ce domaine, tout se résume à une méthode de réception, un traitement en temps réel ou différé, une combinaison de mesures issues d'une acquisition personnelle ou provenant d'un réseau de stations permanentes. Aujourd'hui, tout le monde s'accorde à dire que le « GPS passe mieux ». Déjà, on parle de GNSS avec des satellites provenant d'autres constellations. Et là, le « GPS passera encore mieux ». Mais dans ce domaine, si l'utilisation des récepteurs est très ergonomique, la maîtrise de la précision est plus complexe surtout dans les nombreux cas particuliers souvent liés à des configurations de terrain défavorables.

4.3.1.5. La formation aux instruments

Avec des instruments qui mesurent automatiquement... les enjeux des formations changent. Que doit-on apprendre aux étudiants ? Quels sont les savoirs à acquérir ?

Il s'agit dans un premier temps de savoir adapter les instruments et les méthodes aux missions : une recherche de borne, ne nécessitera pas les mêmes instruments, les mêmes précisions qu'une auscultation qui elle-même mettra en œuvre des moyens complètement différents de ceux utilisés pour la réalisation d'une maquette virtuelle 3D.

Il s'agit ensuite de maîtriser les précisions recherchées ainsi que les coûts d'acquisition, de traitement et d'exploitation.

Bien souvent des étudiants de retour de stage en entreprise ont pris des mauvais plis et des habitudes de travail qui ne vont pas dans le sens des règles de l'art. Les coûts sont souvent les seuls critères entrant réellement en jeu... La formation doit continuer à les sensibiliser, sans excès au travail bien fait !

Enfin, le niveau de connaissances et de savoirs faire à atteindre est toujours très délicat à définir. Entre information théorique et manipulation experte le chemin est relativement long et le point d'équilibre difficile à trouver. Pour cela, les travaux pratiques très importants en nombre permettent à chacun de se familiariser avec les instruments allant des plus communs aux plus précis... Les changements réguliers de concepts et la multiplication des solutions proposées par les différents constructeurs ne favorisent pas un apprentissage aisé.

4.3.2. L'informatique : une dépendance accrue dans un milieu en constante évolution

L'informatique, la clé de tout un métier ? Aujourd'hui, les formations dans le domaine de la topographie sont très dépendantes de l'informatique. Alors que des avancées majeures ont pu voir le jour grâce au développement des jeux sur PC, maintenant grâce aux progrès dans le domaine de l'infographie et de la 3D, la profession est complètement dépendante de cette composante technologique.

Les formations en sont directement affectées. Les logiciels sont omniprésents. Toutes les manipulations de données, depuis l'acquisition, le transfert, l'intégration, le traitement, les calculs, la cartographie, le tracé, etc. sont effectués par l'intermédiaire de logiciels spécifiques.

La cartographie, les calculs topographiques, la compensation des observations nécessitent des logiciels de plus en plus sophistiqués, contenant de plus en plus de paramètres... à maîtriser.

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont de véritables intégrateurs de données associées à des bases de données et de multiples applications et fonctionnalités spécifiques. Ils sont vus comme les outils universels de la géomatique de demain.

Enfin, les technologies numériques plus récentes dans le domaine de l'imagerie, par exemple, nécessitent également toute une suite de logiciels de traitement d'images, ou de nuages de points ou encore de maillage, etc.

Aujourd'hui, dans leur formation à l'INSA, les étudiants de la Spécialité Topographie ne rencontrent pas moins de 40 logiciels différents.

Là encore, nous pouvons nous interroger sur les enjeux de la formation.

Et tout comme pour les instruments, pour chacun de ces logiciels, entre information théorique et manipulation experte les variantes sont infinies et le point d'équilibre difficile à trouver.

Néanmoins, il restera toujours essentiel de bien connaître les méthodes de base de la topographie pour mieux appréhender les nouveaux instruments, méthodes de calculs et logiciels afin de ne pas être assimilé à de simple "super technicien" ou "presse bouton". On attend d'un élève ingénieur qu'il comprenne ce qu'il fait. Les enseignements sur les calculs topométriques et géodésiques, par exemple, restent des points-clés de la compréhension du traitement ultérieur des données.

4.3.3. Exemple : projet d'imagerie

Le projet d'imagerie et modélisation virtuelle qui est effectué en fin de parcours académique, il s'agit en fait du dernier projet concluant la 5^{ème} année de formation, correspond à la convergence des cours vers un projet de synthèse en fin d'études. Il se positionne à cheval sur plusieurs disciplines regroupant la photogrammétrie, le traitement d'image et la télédétection et le SIG. Il est réalisé en petites équipes sur deux semaines groupées et comporte les huit étapes suivantes :

- LASER TERRESTRE, PHOTOGRAMMETRIE et ORTHOPHOTOS : Traitement des données (données scanner 3D, photos terrestres, points d'appui). Orientation externe, traitement de nuages de points géoréférencés (maillage, orthophotos, restitution, profils).
- MNT et ORTHOPHOTOS : A partir des calculs d'aérotriangulation réalisés antérieurement (photos aériennes sur Strasbourg de 1998, 2004 et 2007), l'objectif est de calculer et/ou de mesurer des MNT, et de générer des orthophotos.
- MOSAIQUE : Calcul de MNT à partir d'un semis de points, réalisation d'orthophotos puis d'une mosaïque à partir de 2 photos aériennes au 1/8000^{ème} sur Strasbourg.
- GEOREFERENCEMENT : Géoréférencement d'une image satellite à très haute résolution spatiale (Quickbird). Superposition et fusion des données aériennes et satellitaires. Drapage sur MNT.
- MNS / LASER AEROPORTE : Visualisation et analyse d'un nuage de points capté par un Lidar aéroporté sur Strasbourg. Combinaison de nuages de points aéroportés et terrestres. Réalisation de modèles numériques de surfaces. Extraction de MNT.
- INTEGRATION DES DONNEES DANS UN SIG : Création du catalogue de données. Intégration des données dans un modèle de couches. Définition de la hiérarchie des couches, des propriétés. Intégration de données sur le serveur web.
- RENDU CARTOGRAPHIQUE : Création de documents cartographiques d'analyse des résultats. Mise en page / Légendes / Composition des cartes. Création d'un document 3D animé.
- ANALYSE DES RESULTATS : Rappel et comparaison des caractéristiques des données et traitements réalisés. Analyse du niveau de détail et des données sémantiques inhérentes aux différentes images utilisées dans le projet. Organisation des données dans le SIG en fonction de leurs caractéristiques. Création des métadonnées associées. Création d'un géo-traitement paramétré. Evaluation de la précision de chaque étape de traitements. Création de MNT et comparaison des différents MNT générés (pas, méthode d'interpolation, précision en XYZ, etc.). Création d'orthophotos et comparaison des différentes orthophotos réalisées (résolution, pas de re-échantillonnage, précision, etc.)

4.4. La formation adossée à la recherche : formation à la recherche et par la recherche

4.4.1. Esprit des dernières années, l'initiation à la recherche et la formation par la recherche.

Depuis une dizaine d'années, l'équipe de recherche de l'INSA s'est renforcée. La formation bénéficie directement des transferts de technologie issue des recherches et les étudiants participent activement à la conception, au développement, au test de nouvelles procédures de

traitements, de modélisation, etc. La formation bénéficie également des moyens et de l'instrumentation propres à la recherche. Une synergie est créée entre les enseignants, enseignants-chercheurs, chercheurs et étudiants à travers des projets communs, des lieux de travail communs, des échanges d'idées, des séminaires, etc.

4.4.2. Quelques recherches en cours

Les exemples de travaux de recherche en cours montrent quelques uns des domaines d'excellence de l'INSA et notamment celui de la photogrammétrie architecturale et de la modélisation tridimensionnelle d'objets topographiques, axes de recherche principaux de l'équipe MAP-PAGE UMR 694 (<http://www.map.archi.fr>). Au-delà des retombées scientifiques et techniques, le contenu des recherches va permettre de faire évoluer les contenus des formations et faire participer les étudiants à des projets stimulants. Les thèmes de recherches résumés dans ce qui suit ont volontairement conservés une terminologie scientifique.

4.4.2.1. Extraction automatique et modélisation tridimensionnelle de bâtiments à partir de données LIDAR.

Pour construire automatiquement un modèle 3D d'une ville à partir de données LIDAR, deux étapes sont indispensables. La première consiste à segmenter automatiquement le nuage de points pour en extraire des classes (en général le sol, les bâtiments et la végétation). La seconde se base ensuite sur la classe « bâtiments » pour en modéliser les éléments de façon automatique. Pour l'extraction automatique, un seuillage local est utilisé par le biais d'un opérateur de convolution sur le MNS afin de détecter la classe du *sursol*. Ensuite, le MNS et le nuage de points sont utilisés conjointement pour détecter les bâtiments. L'approche proposée pour la modélisation automatique de bâtiments est composée de la modélisation des façades et des toits. A l'issue de la détection des contours des bâtiments, les façades des bâtiments sont modélisées en utilisant la technique de Douglas-Peucker. La technique RANSAC est adaptée et appliquée afin de détecter automatiquement les plans les plus probables du toit. Les relations mutuelles entre les plans voisins permettront de calculer le modèle 3D total du bâtiment.

4.4.2.2. Contrôle géométrique et intégration de données lasergrammétriques terrestres dans un modèle 3D urbain.

L'objectif de cette thèse est de développer et d'optimiser une approche permettant de produire des modèles 3D réalistes de façades de bâtiments à partir de données de Scanners Laser Terrestres (TLS). Dans un premier temps, nous développons une méthodologie d'intégration de ces données dans les modèles urbains tridimensionnels obtenus à partir des données laser aériennes et photogrammétriques. Une seconde phase d'expérimentations *in situ* permettra différentes investigations sur la qualité des données laser terrestres en vue de pouvoir évaluer la qualité géométrique des modèles finaux calculés à partir de ces données. Cette thèse est soutenue par la Région Alsace par le financement d'une bourse de thèse de doctorat de 3 ans.

4.4.2.3. Un système de levé topométrique mobile à faible coût.

Plusieurs véhicules équipés de systèmes d'acquisition laser et photogrammétrique mobiles ont été développés au cours de la dernière décennie. Cette étude s'intéresse à la conception d'un système mobile, aux applications possibles et à l'évaluation de sa précision. Le

prototype mobile actuel, pilotable par une seule personne, est basé sur l'utilisation d'un Scanner Laser Terrestre (TLS) en mode cinématique sans aucune modification spécifique. Le TLS permet d'acquérir un nuage de points dans un système de coordonnées local, qui est ensuite géo-référencé à l'issue de l'intégration des mesures de position et d'orientation de capteurs de navigation (GPS et système de navigation inertiel). Son faible coût n'est pas seulement lié au coût des composants, mais encore à la possibilité de démonter rapidement le système pour permettre une utilisation séparée de chaque composant. Le prototype actuel produit une précision décimétrique.

4.4.2.4. Implantation et gestion tridimensionnelle de modèles patrimoniaux et urbains dans un SIG 3D sur Internet.

L'analyse spatiale montre l'élargissement et la complexité des villes modernes, et l'intérêt d'une gestion plus efficace des agglomérations urbaines. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) s'avèrent être des outils incontournables pouvant fournir des informations spatiales pertinentes pour les prises de décisions. Dans le SIG accessible via Internet que nous envisageons de développer, l'objectif sera d'étudier l'apport de la 3D appliqué à la gestion tridimensionnelle de modèles patrimoniaux et urbains. Nous envisageons d'enrichir les applications SIG 3D actuelles tant au niveau modélisation de données géo-localisées qu'au niveau capacités d'interrogation. Notre futur SIG 3D doit pouvoir présenter le plus possible de réalisme, d'automatisme et de fonctionnalités d'analyse, de synthèse et d'interfaçage avec d'autres applications SIG. Cette thèse est soutenue par la Région Alsace par le financement d'une bourse de thèse de doctorat de 3 ans.

4.4.2.5. Thermographie infrarouge, vers un diagnostic affiné des ouvrages bâtis.

Le secteur du bâtiment rejette chaque année 25 % du total des émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Une grande partie des ouvrages bâtis n'est pas correctement isolée. Des missions de thermographie aérienne sont effectuées pour sensibiliser les habitants aux déperditions énergétiques de leur logement ainsi que de leur voisinage. Les appareils de thermographie terrestre sont aussi utilisés pour diagnostiquer des défauts dans les bâtiments, aussi bien pour les dysfonctionnements des systèmes électriques que pour les défauts d'isolation en façade. La mesure infrarouge utilisée en extérieur est une technique d'analyse qualitative. En effet, les données enregistrées ne peuvent être utilisées de manière quantitative. Cette restriction est essentiellement due aux interférences avec les objets environnants et aux caractéristiques de l'objet analysé. Le projet vise à tester l'apport de la combinaison des données infrarouges avec des données spatiales, aussi bien d'un point de vue terrestre qu'aérien. La connaissance de la volumétrie de l'objet d'étude ainsi que de son environnement devrait permettre d'améliorer l'interprétation des données infrarouges. La correction des valeurs d'émissivité pourrait ainsi améliorer l'interprétation du signal issu des systèmes thermographiques.

4.4.2.6. Numérisation 3D de mobilier archéologique

Les travaux visent à explorer le potentiel des Scanners Laser Terrestres (TLS) dans la numérisation dans un contexte archéologique. Si leur usage va sans dire pour la numérisation d'un site à l'échelle architecturale puisque c'est leur vocation, on peut se poser la question de savoir dans quelle mesure ils sont aussi adaptés au traitement du mobilier qui se caractérise par ses dimensions petites devant l'échelle architecturale. Nous montrons que moyennant le

débruitage des données, on peut faire usage des TLS sur des objets de dimension de l'ordre de quelques dizaines de centimètres. Dans ce contexte, nous avons développé une méthode de débruitage dans l'image télémétrique qui utilise le codage en sous-bandes.

4.4.3. L'importance de la recherche

Dans les systèmes d'évaluation des formations actuelles, la recherche permet d'obtenir une identification et une reconnaissance tant nationale qu'internationale par l'intermédiaire des publications dans les revues et congrès. La participation des enseignants-chercheurs et chercheurs à des manifestations internationales peut être considérée comme un élément fondamental pour le maintien des connaissances, la veille technologique, etc.

Toujours dans le domaine de l'international, les équipes de recherche accueillent régulièrement des étudiants / chercheurs provenant d'universités étrangères dans le cadre de stages, de thèses ou plus simplement d'échanges bilatéraux. Ces pratiques complètent les dispositifs des relations internationales tels que les échanges ERASMUS.

5. LES DEFIS DES FORMATIONS DE DEMAIN

Les défis des formations de demain seront toujours aussi importants à relever :

- Première composante : submergés par l'informatique, les environnements numériques de travail (E.N.T.), comme il en existe sur le campus de Strasbourg seront monnaie courante. L'enseignant sera de plus en plus virtuel, tout comme le bureau et les supports de cours. L'e-learning sera de mise, car permettra à l'étudiant de disposer, pratiquement en temps réel, de toutes les ressources imaginables disponibles par un simple clic de souris (si celles-ci subsistent...).
- Deuxième grande composante : les télécommunications. Les réseaux sont de plus en plus disponibles, les flux de données y transitent à des débits de plus en plus importants, ils deviennent de plus en plus mobiles, accessibles partout et par tous.
- Troisième composante : les enseignements et surtout les enseignants devront s'adapter à ces nouveaux modes pédagogiques tout comme le géomètre qui devra travailler avec des documentations numériques dématérialisées, mais de ce fait accessibles plus facilement et de partout.

Des formations, un milieu professionnel stimulant, une profession qui n'ont donc pas fini d'évoluer.

L'INSA, une école et des formations qui suivent voire anticipent ces évolutions toujours fidèlement à sa devise : « Comprendre le monde, agir dans l'entreprise ».

Coordonnées des auteurs :

Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Strasbourg
24, Boulevard de la Victoire
67084 STRASBOURG Cedex
mathieu.koehl@insa-strasbourg.fr {prénom.nom}@insa-strasbourg.fr

BIBLIOGRAPHIE

Revues :

Revue Géomètre n° 2045, février 2008, pp. 30 à 40.

Revue d'information des anciens élèves de l'ENSAIS, Arts et Industries, 248, ISSN 004-3982, janvier 2000.

Articles :

Tschaen, L., 2008. La section géomètre de l'école nationale technique de Strasbourg (1897-1951), à paraître, 21 pages.

Sites de référence :

<http://www.insa-strasbourg.fr>

<http://www.insa-strasbourg.fr/topographie/>

<http://www.insa-strasbourg.fr/fr/PAGE/> (recherche)

<http://www.map.archi.fr>