

L'ENSEIGNEMENT DE LA MÉTRO-INGÉNIERIE EN EUROPE

par L. HALLERMANN
Université de Bonn

Note du traducteur

La conférence sur "Industrial and Engineering Survey" a eu lieu à l'University College, à Londres, du 2 au 4 septembre 1980. Un résumé de cette conférence a été publié dans le numéro 5 d'XYZ (pages 38-39).

L'exposé du Professeur Hallermann apporte des points de vue nouveaux sur les problèmes de l'enseignement et les conséquences qui en découlent. Il emploie en permanence le terme "Engineering Surveying"; il est difficile de savoir si, grammaticalement, cette terminologie est correcte en Anglais. Dans le premier numéro de la revue XYZ, le traducteur a défini (Commission 8) les termes de "Topométrie industrielle" et de "Métrologie dimensionnelle". Le terme "Engineering Surveying" recouvre ces deux aspects de la profession mais semble avoir un sens plus large. Lors de cette conférence, j'ai entendu le terme "Applied Geodesy" - "Géodésie appliquée". Il m'avait assez séduit puisqu'il évoquait un vocabulaire familier : "Applied Physics" - "Physique appliquée" - par opposition à "Theoretical Physics" - "Physique théorique". Cette dénomination est-elle assez large pour le domaine traité dans l'article du Professeur Hallermann ? J'y ai bien réfléchi et je propose de traduire "Engineering Surveying" par "Métro-Ingénierie", de :

- Métro : élément tiré du grec metron - mesure - (Le Robert, Édition 1971), et de
- Ingénierie : mot dérivé de L'Anglais "Engineering" et qui désigne l'ensemble des activités nécessaires à l'étude et à l'exécution technique d'un projet de construction, l'installation industrielle ou de production. L'ingénierie représente une profession dont l'importance se développe à mesure qu'un nombre croissant d'entreprises et d'institutions confient à des bureaux d'études l'élaboration de leurs projets techniques. Un décret de 1973 recommande à la suite des travaux d'une Commission française de Terminologie l'usage du terme "Ingénierie" (Encyclopaedia Universalis, Vol 18, 1974, p. 628).

Je ne sais quelle sera la fortune de ce néologisme, il m'a en tous cas bien servi pour cette traduction.

J. GERVAISE

M. GARDNER prendra la parole tout à l'heure pour évoquer l'enseignement de la métro-ingénierie au Royaume-Uni ; cet exposé décrira la situation en Europe continentale. Comme Klinkenberg l'a fait remarquer, le terme "géomètre" a beaucoup de sens. On l'utilise ici selon l'acception américaine du terme et, s'il existe en Anglais des traductions du vocabulaire utilisé sur le continent, c'est le sens américain qui est employé dans ce texte. Au Royaume-Uni, le terme de "géomètre" correspond au sens large à celui de géomètre-expert.

Dans toute l'Europe continentale, la métro-ingénierie est une spécialité dérivée de la technologie et des calculs propres aux géomètres. Comme Wolf l'a fait remarquer lors du "6 th Internationaler Kurs für Ingenieur-messung hoher Präzision", il y a une méthodologie et une conception identique du microcosme comme du macrocosme géodésique ; la particularité de la métro-ingénierie provient uniquement des circonstances propres à ces mesures. Il faut s'en rappeler lorsque l'on parle de la formation de la métro-ingénierie enseignée en Europe continentale.

En général, la géodésie et la topographie sont les bases de la métro-ingénierie quel que soit le niveau d'étude. Dans le détail, on trouve d'énormes difficultés entre ces niveaux mais il est difficile de les quantifier. Les informations tirées des questionnaires sont très insuffisantes pour donner un tableau complet de ce qui se passe en métro-ingénierie dans les pays européens. Il est en effet impossible d'avoir une vue d'ensemble réaliste étant donné les différents systèmes d'enseignement et les différents collèges, écoles et universités en Europe.

Si l'on considère l'Europe du Nord, du Centre et de l'Est, pays par pays, on note au moins trois niveaux d'enseignement : techniciens, ingénieurs (Bachelor of Science) et ingénieurs diplômés (Master of Science), alors que le diplôme de Docteur vient confirmer des aptitudes à mener à bien des travaux de recherche.

Mais on doit prendre en considération qu'en Europe, l'enseignement change d'un pays à l'autre ; par exemple, en Allemagne, les études de géomètre forment un tout. Les étudiants reçoivent un ensei-

gnement général de la géométrie, adapté à leurs niveaux. La spécialisation dans une ou deux branches de topographie ou de géodésie n'apparaît qu'en fin d'études. Dans d'autres pays, l'enseignement est fractionné avec des examens dans chacune des disciplines de la géométrie. Au premier abord, il semble qu'il y ait une grande différence entre les différents systèmes d'enseignement mais, en fait, ce n'est pas le cas.

Une autre difficulté réside dans le fait qu'il n'existe pas de définition commune à toute l'Europe de la métro-ingénierie comme celle donnée par Helmer pour la géodésie et qui est restée fameuse. Néanmoins, chacun sait ce que signifie le terme métro-ingénierie ou géodésie appliquée. Peut-être pourrions-nous user de paraphrase et dire que le champ d'application de la métro-ingénierie comprend toutes les activités de mesure en rapport avec les techniques de pointe, l'installation et le contrôle de structures complexes, l'industrie du bâtiment, les travaux souterrains et les montages de gros appareils mécaniques.

Les travaux de ces spécialistes commencent par le choix des techniques à utiliser pour construire un réseau de référence et les levés qui serviront de base aux travaux de détail. Pour faire ce choix, il doit avoir une vue d'ensemble des possibilités que la géométrie met à sa disposition. Il doit connaître les méthodes géodésiques et les comparer à celles de la photogrammétrie et savoir comment concilier la précision demandée et le respect des délais. Il doit aussi posséder, de par sa formation, une parfaite connaissance des instruments. Par exemple, il doit être familiarisé avec l'étalonnage des instruments et savoir éliminer l'influence des erreurs instrumentales grâce à des méthodes de mesure appropriées ; il doit également connaître les limites d'emploi des instruments qu'il utilise.

En général, cette opération est la même pour les travaux du cadastre, la métro-ingénierie et les opérations géodésiques. Si l'on consulte les livres concernant la métro-ingénierie on s'aperçoit que les matières enseignées sont les mêmes que celles que l'on trouve dans des livres de référence ; il en est de même des travaux pratiques.

C'est en effectuant ces exercices que l'étudiant se familiarisera avec les techniques de mesure. Technique de mesure signifie beaucoup plus que le simple fait de regarder dans une lunette ou d'encadrer avec les fils du réticule un trait du limbe. L'opérateur doit avoir le sens des mesures ; il doit effectuer les différentes opérations pour en conserver le contrôle pendant la mesure.

Il y a quelques années, je fus informé qu'un ensemble de 50 instruments du même type venait d'être terminé. Malheureusement, le dernier contrôle qualité de l'usine laissa passer une erreur de construction. Accidentellement, 25 instruments furent envoyés à des bureaux de géomètres, les 25 autres à des firmes d'ingénierie ou de construction. Un an plus tard, tous les instruments des géomètres avaient été retournés à l'usine et les défauts de construction signalés. Indubitablement, chaque géomètre avait acquis la certitude, en effectuant les observations, que l'erreur ne venait pas des mesures mais d'un

défaut de construction de l'instrument. Par contre, aucune des autres firmes ne retourna d'instrument. Elles n'avaient rien décelé.

Les mesures sont un des aspects du travail du géomètre, le calcul en est un autre. Le calcul d'un réseau géodésique sans observation redondante est facile. Les calculs deviennent plus sophistiqués dès qu'il s'agit d'un réseau de premier ordre ou de géodésie par satellite. Chaque géomètre, familier avec les instruments de mesure, sait que chaque valeur observée a une erreur moyenne quadratique ou écart-type. Pour calculer les coordonnées, soit dans un réseau géodésique national ou particulier pour l'implantation de bâtiments, le géomètre doit savoir utiliser l'algorithme de Gauss. On sait depuis longtemps que la manière traditionnelle d'effectuer les calculs de compensation n'est pas toujours suffisante. Aujourd'hui, dans la métro-ingénierie, on a recours aux statistiques d'une façon intensive. Les mathématiciens manient les statistiques de la façon appropriée mais la particularité de la géodésie et de la topographie est que les observations ont, le plus souvent, une faible redondance. Interpréter les résultats des compensations demande une connaissance approfondie des conditions de mesure. Sans cette connaissance, l'analyse mathématique et les ordinateurs ne suffisent pas. Il est évident que la connaissance approfondie des problèmes instrumentaux et mathématiques (y compris ceux de la photogrammétrie) sont un atout essentiel pour les spécialistes de niveau moyen ou élevé. Ceci est vrai pour l'enseignement de toutes les branches de la géodésie et de la topographie.

Les programmes de l'enseignement de la géométrie ne sont pas significatifs dans ce contexte. Au niveau des techniciens, il serait peut-être utile d'enseigner le genre de géométrie qu'ils auront à pratiquer. L'enseignement en général vise, en premier lieu, à expliquer les matières de base et à donner ensuite un aperçu des travaux particuliers qui attendent les étudiants car les problèmes pratiques, les procédés de calcul, les moyens instrumentaux demandent une mise à jour encore plus rapide que par le passé.

Considérons par exemple l'évolution des instruments de mesure de distance électroniques en partant du telluromètre M1 ou du géodimètre AGA 1, en passant par les tachéomètres électroniques pour arriver aux systèmes de positionnement global par satellite (GPS). Ces instruments ont complètement modifié toutes les mesures pendant les deux dernières décades. Jadis, il était plus facile de mesurer avec précision les angles que les distances ; aujourd'hui c'est l'inverse. Les collègues qui ont passé leurs examens universitaires et gouvernementaux il y a 20 ans doivent se maintenir au courant en lisant les exposés sur les techniques nouvelles et suivre les développements qui interviendront dans les quinze ans à venir. Cela n'est possible que si, en tant qu'étudiants, on leur a donné l'habitude de se familiariser avec les techniques nouvelles.

La métro-ingénierie n'est pas une discipline en elle-même mais on peut mettre en évidence ses particularismes. Premièrement, la topographie a un caractère plus statique que la métro-ingénierie dont la marque essentielle est la mobilité et la faculté d'invention. Deuxièmement, la métro-ingénierie nécessite de faire

des choix et d'en assumer la responsabilité, car chaque cas est un cas d'espèce. Il est difficile d'en faire des cours aux étudiants mais ils se souviendront plus tard de l'un ou de l'autre des sujets traités et des solutions adoptées, c'est ce que de vieux camarades m'ont souvent confié.

En outre, la métro-ingénierie exige un développement approprié des instruments. Je ne peux m'appesantir sur ce point ici. Notons à tout le moins le développement récent de la règle d'invar de 1 m sous tension et la méthode différentielle des mesures électroniques de distance. Les jeunes doivent prendre conscience que les développements de l'instrumentation topographique ne sont pas les seuls à être considérés. Un autre aspect de la spécialisation de la métro-ingénierie est que beaucoup de problèmes de mesure qui appartenaient dans le passé à d'autres disciplines tombent maintenant dans le domaine du géomètre, en particulier tout ce qui concerne les grandes structures mécaniques, les turbogénérateurs et les bateaux. Dans l'enseignement de la géométrie, les techniques de mesure doivent être introduites dans le programme des travaux pratiques au même titre que ceux des autres disciplines et ceci pour deux raisons. Des collègues d'autres universités ont dépensé beaucoup de temps, de savoir et d'argent pour mettre au point des instruments qu'ils utilisent et qu'ils connaissent bien avant d'avoir recours à l'aide d'un géomètre. Pour gagner la confiance des spécialistes des autres disciplines et avoir avec eux des discussions constructives, il est important que le géomètre soit aussi au courant des méthodes de mesure des autres. Ils connaissent aussi les limites de leurs méthodes de mesure et ils se trouvent désormais entre partenaires qui connaissent et acceptent les différents procédés de mesure. Par exemple, il est essentiel pour les discussions sur les problèmes mécaniques de maîtriser les possibilités de mesure par des moyens optiques. Bien sûr, une partie des problèmes peut être résolue par le géomètre au moyen de ces instruments ; en fonction de sa connaissance de l'optique et des calculs statistiques, il peut développer de nouveaux instruments pour certaines mesures.

On peut introduire dans l'enseignement de la métro-ingénierie le vocabulaire des autres disciplines techniques. Donnons un exemple. L'ingénieur civil comme l'ingénieur mécanicien parle couramment d'écarts et de tolérances. Ils donnent au terme tolérance le sens utilisé dans leur profession mais ils souhaitent comprendre dans les discussions avec les géomètres le sens que ceux-ci donnent à ces deux termes. Dans le bâtiment, les écarts aux vraies valeurs ne signifient pas autre chose qu'une dispersion des valeurs. En général, dans toutes les disciplines de la métrologie, les écarts à la valeur vraie sont considérés comme des erreurs. Il est relativement facile de se comprendre dans les discussions mais les interprétations divergent dès que l'on considère les formules mathématiques ou statistiques de combinaison des erreurs de chaque élément préfabriqué ou de pièces mécaniques avec la tolérance globale de l'ouvrage terminé. Les opinions peuvent être contradictoires entre les ingénieurs civils eux-mêmes ou entre les ingénieurs civils et les mécaniciens. Certains ingénieurs civils pensent que les tolérances des

éléments de bâtiments préfabriqués suivent la courbe de Gauss, d'autres s'opposent à cette théorie et attirent l'attention sur les différentes combinaisons des erreurs systématiques. Les ingénieurs mécaniciens ont la même opinion sur les écarts-types et sur la façon dont ils se combinent pour définir la tolérance totale et rejoignent ainsi le second groupe d'ingénieurs civils. Savoir si les écarts sont corrélés ou non détermine le choix de la méthode de calcul pour la combinaison des erreurs qui fixe la tolérance totale du bâtiment en y incluant celles de la géométrie.

L'enseignement de la métro-ingénierie doit prendre en considération les développements nouveaux dans le domaine de la métrologie. La première raison est que les techniques de mesure enseignées dans les diverses facultés doivent être connues par le géomètre pour qu'il puisse discuter des problèmes de mesure avec tous ces spécialistes. La seconde est que l'on fait appel de plus en plus au géomètre pour des mesures continues ou quasi continues dans des problèmes de déformation ou d'auscultation. La théorie classique suppose que chaque déformation est linéaire entre deux campagnes de mesure. Les valeurs de déformation intervenant durant l'intervalle relativement court entre les mesures elles-mêmes sont petites comparées à celles qui apparaissent entre deux campagnes de mesure. La théorie et la technique moderne doivent tenir compte des courbes de déformation de second ou même d'ordre plus élevé et nécessitent la connaissance de l'influence du milieu sur les valeurs des déformations. Dans des cas identiques, on utilise des techniques photogrammétriques pour pouvoir fournir la preuve de cette déformation mais les résultats ne sont pas instantanés. On peut aussi faire appel aux mesures électriques pour mesurer des phénomènes non électriques. Tout changement de résistance est mesuré et après étalonnage, on peut obtenir immédiatement les valeurs des déformations sur des bandes ou sur des enregistreurs. Si l'on introduit les valeurs enregistrées dans un ordinateur, il est possible d'effectuer les calculs avec des formules mathématiques ou statistiques plus sophistiquées. Les valeurs météorologiques enregistrées (température, pression, vitesse du vent) ainsi que les informations sur la construction sont entrées dans l'ordinateur pour établir des corrélations entre ces données et les valeurs des déformations mesurées. la liaison entre les déformations et les données météorologiques détermine la fréquence des enregistrements des déformations et des données extérieures. On peut s'apercevoir alors qu'il y a une corrélation logique, physique ou d'autre nature ou pas de corrélation du tout. Les calculs de déformation prennent beaucoup de temps car on doit tenir compte des résultats d'étalonnages.

En outre, les instruments électriques ont leur propre comportement dans les mesures permanentes, tel que la dérive du zéro. Enfin, les installations permanentes pour les mesures de déformation doivent être rattachées aux points fixes environnants. En général, ces rattachements sont faits par les méthodes classiques. Mais il se peut que l'un ou l'autre des points considérés comme stables ait bougé en position ou en nivellement. Il faut alors appliquer des méthodes statistiques afin de savoir si les différences

entre les deux campagnes de mesure proviennent d'erreurs d'observations ou de déplacements d'un ou de plusieurs points. A partir des études mathématiques et des résultats de mesure, certains auteurs suggèrent qu'il pourrait être de l'intérêt du géomètre de rechercher les causes de ces déformations ; ceci parce que le géomètre est le mieux qualifié pour analyser les résultats des mesures et en tirer des conclusions. Ces dernières remarques mettent en évidence quelques idées nouvelles sur l'enseignement de la métro-ingénierie et les recherches à entreprendre. L'avenir dira si c'est un but réaliste pour les géomètres. Nous devons néanmoins prendre ces possibilités en considération pour chercher à améliorer le système actuel d'enseignement.

Nous avons parlé de l'enseignement de la métro-ingénierie pour les géomètres. En Europe continentale dans toutes les écoles de génie civil et en outre dans les universités enseignant l'architecture, il y a des cours de géométrie. Il y a aussi parfois des travaux pratiques. Ces cours et ces quelques heures d'exercices donnent seulement une introduction. Mais la géométrie est considérée comme appartenant à la propédeutique, comme la physique ou la mécanique ; il est impossible de donner aux étudiants plus qu'une idée de ces problèmes. J'ai parfois l'impression que les architectes et ingénieurs civils

lorsqu'ils exercent leur profession ne réalisent pas qu'ils n'ont eu qu'une introduction à la géométrie. Ils font donc souvent des mesures avec des appareils mal réglés et ne rejettent pas les mauvais résultats. Il est évident que les ingénieurs civils ainsi que les contremaîtres doivent être capable de faire sur le site des nivellements pour une détermination approchée des différences d'altitude mais, s'ils doivent employer des méthodes plus sophistiquées ou rechercher une meilleure précision, ils doivent faire appel à des géomètres qui connaissent tous les aspects de la profession. Les cours pour ingénieurs civils et architectes sont peut-être alourdis par de trop nombreux détails et ils ne leur fournissent pas assez d'explications sur les possibilités de l'aide qu'un géomètre peut leur apporter sur le terrain. Quoi qu'il en soit, si l'ingénieur civil, l'architecte ou l'ingénieur mécanicien font appel au géomètre en temps voulu, c'est-à-dire avant que la construction ne soit entreprise, alors il y a une chance de gagner du temps et de rendre les procédures de construction plus rapides.

Dans son exposé, le Professeur Hallermann fait mention de l'article de P.F. Gardner, Professeur à l'École Polytechnique de Portsmouth, article qui a suivi le sien. Il semble intéressant d'en donner un résumé d'autant plus qu'ils se rejoignent sur de nombreux points.

L'ENSEIGNEMENT DE LA MÉTRO-INGÉNIERIE DANS LE ROYAUME-UNI

par P.F. GARDNER

1. Cet exposé dépasse le contenu du titre, car il cherche à fournir une vue globale de l'enseignement de la métro-ingénierie dans le contexte britannique.

On doit d'abord essayer de répondre aux questions suivantes :

- qu'est-ce qu'un spécialiste de la métro-ingénierie ?
- qui l'emploie ?
- quel type de formation lui est-il offert ?
- que vaut cette formation ?
- quelles institutions ou organisations existent pour sa formation et pour promouvoir les activités liées à la métro-ingénierie ?

2. Les activités essentielles du géomètre ("Land-surveyor") sont au nombre de trois :

- l'établissement des plans de base pour l'usage général et les spécialistes,
- les techniques foncières,
- la géométrie pour les travaux d'appui au génie civil.

D'autres branches de la profession ne tombent pas directement dans ces trois catégories mais elles s'en rapprochent.

L'époque victorienne, particulièrement pendant le boom des chemins de fer, fut le témoin d'une demande sans précédent de spécialistes de la métro-ingénierie. La pénurie de géomètres obligea de les former pratiquement d'un jour à l'autre. Les conséquences en furent :

- une formation inexistante,
- le discrédit jeté sur cette branche de la géométrie,
- la prise en charge de ces travaux par "l'Ordnance Survey".

"Les géomètres n'ont aucune raison de se réjouir que l'Ordnance Survey leur enlève une grande quantité de travaux. Il n'est pas suffisant de prétendre que cela a pratiquement tué leur profession, mais a surtout transformé la géométrie en une branche annexe du génie civil. Cette situation se perpétue depuis lors