

**Conseil canadien des examinateurs pour les arpenteurs-géomètres**  
**Éléments du tronc commun**  
**C 3: TECHNIQUES AVANCÉES D'ARPENTAGE**

**Sujets du tronc commun:**

Formulation d'équations mettant en relation les quantités souhaitées et les quantités observables ainsi que la propagation des variances par ces équations; simulation [pré-analyse] et organisation de levés en 1, 2 ou 3 dimensions, analyse d'erreur des données obtenues.

Application des principes et techniques optiques et électromagnétiques de mesure; azimut par des méthodes non-astronomiques [dérivées de coordonnées planes ou géodésiques observées en utilisant un attachement gyroscopique ou un gyrothéodolite]; vérification et étalonnage des appareils d'arpentage; normes d'évaluation de la qualité des instruments; utilisation des appareils d'arpentage.

Levés d'ingénierie [incluant les levés de haute précision et de déformation]; levés souterrains [contrôle de creusement de tunnels ou exploitation minière]; contrôle horizontal et vertical pour des activités géomatiques, plus particulièrement les levés cadastraux, la cartographie et les projets de construction.

Les calculatrices programmables sont admises lors de cet examen; les candidats devront toutefois présenter toutes les formules utilisées, la substitution des valeurs utilisées, ainsi que toutes les valeurs intermédiaires à un degré deux fois plus poussé que celui requis pour fournir la réponse. Même si la réponse est numériquement la bonne, le maximum des points pourrait ne pas être attribué si ces informations ne sont pas fournies par le candidat. Les valeurs critiques de la distribution  $\chi^2$  et un ensemble de formules sont fournies avec les questions d'examen.

**Pré-requis recommandés au niveau des connaissances et des compétences :**

Item C 1: Mathématiques

Item C 2: Estimation des moindres carrés et analyse de données

Cours ou vaste expérience des levés topographiques, incluant au moins: le positionnement relatif horizontal et vertical, levés topographiques, cheminement et piquetage d'implantation ainsi que les calculs s'y rattachant; polygonalement tri-dimensionnelle; bonne connaissance des instruments d'arpentage utilisés couramment [préférentiellement de haute précision : théodolites, rubans, télémètres électroniques, niveaux, stations totalisatrices], procédures et inscription au carnet d'arpentage.

**Résultats d'apprentissage :**

Afin de se conformer aux exigences de cet élément du tronc commun, les candidats devraient pouvoir :

1. Discuter du concept de précision tel qu'appliqué aux processus d'arpentage : les sources et types d'erreurs aléatoires et leur quantification.
2. Discuter du concept d'exactitude tel qu'appliqué aux processus d'arpentage : les sources et types d'erreurs systématiques et les mesures à prendre à leur égard.
3. Prescrire les procédures et mesures de contrôle de la qualité pour : la vérification et l'étalonnage des instruments d'arpentage; mesures de haute précision; levés souterrains; et observations non-astronomiques pour déterminer l'azimut. Évaluer les résultats d'une de celles-ci.

4. Rassembler la combinaison d'équipements et de procédures requise pour une tâche de collecte de données dont la qualité devra garantir la conformité aux normes de positionnement relatif (horizontalement, verticalement et tri-dimensionnellement de manière simultanée).
5. Traduire des spécifications telles que les écarts de fermeture maximum admissibles [angulaires ou linéaires] en un choix d'équipements et de procédures requis pour effectuer une polygonalement horizontale, altimétrique ou tridimensionnelle.
6. Établissez les spécifications et les exigences requises (normes et procédures de contrôle de la qualité) pour la collecte de données reliées aux levés).
7. Expliquer la différence entre les procédés qui donnent comme résultat une localisation et ceux qui exigent des localisations multiples pour fins de contrôle local de la déformation.
8. Discuter de l'importance de mesures répétées dans le cadre du contrôle à long terme des influences systématiques et aléatoires des systèmes de mesure.

### **Sujets et ordre de lecture suggérée des ouvrages de référence essentiels :**

Design, simulation, analyse d'erreur :

Blachut et al. [1979], Ghilani & Wolf [2006], Surveys and Mapping Branch [1978], FGDC [1998, 2002], Geodetic Survey Division [1992, 1993, 1996]

Instrumentation, tests, utilisation:

Rüeger [1996, 2003], Fronczek [1980], anon. [2009], anon. [2007b], Office of the Surveyor General Victoria [2008], Strasser & Schwendener [1966]

Arpentage d'ingénierie :

anon. [2002], Kissam [1956], Chrzanowski [1993], Chrzanowski et al. [1991], Lachapelle et al. [1984, 1988], Robinson et al. [1995], Whitaker et al. [2000], Szostak-Chrzanowski & Chrzanowski [2008]

Arpentage souterrain :

Chrzanowski & Robinson [1981], Strasser & Schwendener [1966], Chrzanowski [1981], Chrzanowski [1993], Lachapelle et al. [1984, 1988], Robinson et al. [1995]

Contrôle :

anon. [2007a], Ghilani & Wolf [2008], Wolf & Dewitt [2000]

### **Ouvrages essentiels :**

*La liste d'ouvrages essentiels et supplémentaires est exhaustive. Toutefois, toutes les références sont disponibles et plusieurs d'entre elles sont fournies sous forme d'articles plutôt que de textes. Nous avons déployé tous les efforts possibles pour indiquer des sections spécifiques ou encore des pages dans la section des résultats d'apprentissage et dans le guide d'étude.*

*# utilisé comme préfixe indique un téléchargement possible à partir du site du CCEAG.*

anon. [2002]. *Structural Deformation Surveying*. United States Army, Corps of Engineers, Engineer Manual EM 1110-1-1009, 292 pp. available via <140.194.76.129/publications/engine-manuals/> or web-search "Engineer Manuals".

*Un survol complet, facilement disponible, avec plusieurs références utiles.*

anon. [2007a]. Engineering Design: Control and Topographic Surveying. United States Army, Corps of Engineers, Engineer Manual EM 1110-1-1005, 498 pp. available via <140.194.76.129/publications/eng-manuals/> or web-search “Engineer Manuals”.

*Un survol complet, facilement disponible, avec plusieurs références utiles, surtout au niveau des levés de contrôle.*

anon. [2007b]. Guidelines for Electronic Distance Measurement Calibration Baseline Surveys in Alberta. Geodetic Control Unit, Surveys and Technical Services Section, Land Dispositions Branch, Lands Division, Alberta Sustainable Resource Development. 21 pp. via <www.srd.gov.ab.ca/lands/.../docs/EDM\_Calibration\_BL\_Manual.pdf>

*Un exemple de procédés facilement disponible.*

anon. [2009]. “2009 Total Station Survey”, Point of Beginning. via <www.pobonline.com> under “Resources”, then “Product Surveys”.

*A readily available overview of products currently available in North America.*

#Blachut, T.J., A. Chrzanowski, and J.H. Saastamoinen [1979]. Urban Surveying and Mapping Springer-Verlag, ISBN 0-387-90344-5 hardcover. [horizontal control and network design (47-56); optimization, monumentation, EDM, horizontal angle measurement (66–103, 136-138), vertical control (139-160)]

*Un bon traitement de la théorie mais un peu dépassé au niveau de l'information sur l'instrumentation – Voir anon [2009].*

#Chrzanowski, A. [1981]. “Optimization of the breakthrough error in tunnelling surveys”, The Canadian Surveyor, v.35, n.1, March, 5 - 16.

*Un exposé qui sert souvent de référence au sujet du contrôle lors du creusage de tunnels, aussi applicable à autres entreprises souterraines. Une version numérique un peu floue est disponible via <ccge.unb.ca> sous « Publications ».*

#Chrzanowski, A. [1993]. “Modern Surveying Techniques for Mining and Civil Engineering.” Chapter 33 in J.A. Hudson (edit) Comprehensive Rock Engineering, v.3 Rock Testing and Site Characterization Pergammon Press, ISBN 0-08-042066-4, p. 773 - 809.

*Note: erreurs typographiques dans la version originale: p. 778, eqn. (4): "b2S" devrait se lire "b2S2"; p. 799, 1er paragraphe de la sec. 33.5.1.4: les deux "21/2" devraient se lire "2-1/2", par exemple: " $1/\sqrt{2}$ " so  $s \leq 6.01$  ppm*

*Un survol complet des techniques et problèmes associés aux levés souterrains et de contrôle de déformation*

#Chrzanowski, A. and A. Robinson [1981]. ch. 20: “Mining Surveys” in Davis, R.E., F.S. Foote, J.M. Anderson, and E.M. Mikhail [1981]. Surveying: Theory and Practice. 6<sup>th</sup>, McGraw-Hill Book Company. superceded by Anderson & Mikhail [1998] which does not include ch. 20.

*Une étude complète des levés souterrains tels qu'appliqués à l'industrie de l'exploitation minière. Pertinent aussi au niveau du contrôle de creusage de tunnels.*

#Chrzanowski, A., Y.Q. Chen, J.M. Secord, and A. Szostak-Chrzanowski [1991]. “Problems and solutions in the integrated monitoring and analysis of dam deformations.” CISM Journal, v. 45, n. 4, Winter 1991, 547 – 560.

*Applicable aussi au contrôle d'autres structures sensibles.*

FGDC [1998a]. Geospatial Positioning Accuracy Standards; Part 1: Reporting Methodology. Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.1-1998, 12 pp [via <[www.fgdc.gov/standards/standards\\_publications/index\\_html](http://www.fgdc.gov/standards/standards_publications/index_html)>]

FGDC [1998b]. Geospatial Positioning Accuracy Standards; Part 2: Standards for Geodetic Networks. Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.2-1998, 9 pp [via <[www.fgdc.gov/standards/standards\\_publications/index\\_html](http://www.fgdc.gov/standards/standards_publications/index_html)>]

FGDC [1998c]. Geospatial Positioning Accuracy Standards; Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.3-1998, 28 pp [via <[www.fgdc.gov/standards/standards\\_publications/index\\_html](http://www.fgdc.gov/standards/standards_publications/index_html)>]

FGDC [2002]. Geospatial Positioning Accuracy Standards; Part 4: Architecture, Engineering, Construction, and Facilities Management. Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.4-2002, 23 pp [via <[www.fgdc.gov/standards/standards\\_publications/index\\_html](http://www.fgdc.gov/standards/standards_publications/index_html)>]

Fronczek, C.J. [1980]. Use of Calibraton Base Lines. NOAA Technical Memorandum NOS NGS-10, 38 pp,

*Disponible sous <[www.ngs.noaa.gov/PUBS\\_LIB/TMNOSNGS10.pdf](http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/TMNOSNGS10.pdf)>*

*Étude complète, facilement disponible, qui n'est pas aussi dépassée qu'elle pourrait en avoir l'air, surtout Appendix II.*

Geodetic Survey Division [1992]. Guidelines and Specifications for GPS Surveys, Release 2.1, 1992 12, Geodetic Survey Division, Canada Centre for Surveying, Surveys, Mapping and Remote Sensing Sector, Natural Resources Canada, Ottawa.

*Available via <<http://www.geod.nrcan.gc.ca>>, then "CSRS", then "Publications"*

Geodetic Survey Division [1993]. GPS Positioning Guide, (1993 07) 3rd printing 1995 07, Geodetic Survey Division, Geomatics Canada, Natural Resources Canada, Ottawa.

*Available via <<http://www.geod.nrcan.gc.ca>>, then "CSRS", then "Publications"*

Geodetic Survey Division [1996]. Accuracy Standards for Positioning, Version 1.0, 1996 09, Geodetic Survey Division, Geomatics Canada, Ottawa.

*Souvent cité en référence, il n'est plus disponible, mais voir FGDC [1998b]*

Ghilani, C.D. and P.R. Wolf [2006]. Adjustment Computations: Spatial Data Analysis, 4<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons Inc., ISBN 978-0-471-69728-2 hardcover. [propagation of random errors in indirectly measured quantities (ch. 6); error propagation in angle and distance measurement (ch. 7) [see note for ch. 6 in Wolf & Ghilani, 1997, below], in traverse surveys (ch. 8), in elevation determination (ch. 9); weights of observations (ch. 10); blunder detection in horizontal networks (ch. 21)]

Ghilani, C.D. and P.R. Wolf [2008]. Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics, 12<sup>th</sup> edition, Prentice Hall Canada Inc., ISBN 9780136154310 hardcover [the Global Positioning System (ch. 13, 14, 15), control surveys (ch. 19)]

#Kissam, P. [1956]. Surveying Instruments and Methods for Surveys of Limited Extent, McGraw-Hill Book Co. [optical tooling (ch. 12)]

*Une présentation concise des techniques utilisées avec l'instrumentation optique traditionnelle utilisée pour obtenir une précision relative élevée sur une courte distance.*

#Lachapelle, G., M. Dennler, J. Lethaby, E. Cannon [1984] "Special order geodetic operations for a Canadian Pacific Railway tunnel in the Canadian Rockies" The Canadian Surveyor, v.38, n.3, Autumn, 163 - 176.

#Lachapelle, G., M. Dennler, D. Neufeldt, R. Tanaka [1988]. "Positioning of the CP Rail Mount MacDonald Tunnel" *CISM Journal*, v.42, n.1, Spring, 7 - 16.

*Avec Lachapelle et al. [1984], un exemple qui renseigne sur l'utilisation du contrôle du creusement de tunnels avant l'avènement du GPS.*

Office of the Surveyor General Victoria [2008]. *EDM Calibration Handbook*, edition 10. Geodetic Survey, Office of the Surveyor General Victoria, Land Victoria, Department of Sustainability and Environment. via <www.land.vic.gov.au> under "For & About Professions": "Surveying", then "Quick Links": "Survey Equipment Calibration"

*Un exemple de procédures facilement disponible, similaire à anon. [2007b].*

#Robinson, G.L., W.J.T. Greening, P.W. DeKrom, A. Chrzanowski, E.C. Silver, G.C. Allen, M. Falk [1995]. "Surface and underground geodetic control for Superconducting Super Collider" *ASCE Journal of Surveying Engineering*, v.121, n.1, February, 13 - 34.

*Par opposition à Lachapelle et al. [1984] & [1988], un exemple de l'utilisation de la technologie moderne de haute précision à son plus haut niveau de rendement.*

Rüeger, J.M. [1996]. *Electronic Distance Measurement, An Introduction* Fourth Edition Springer-Verlag, ISBN 3-540-61159-2 softcover. [history (ch. 1); physical laws and units (ch. 2); propagation, velocity, geometric, and other corrections (ch. 5-8); reflectors (ch. 10); errors in EODMI (ch. 12); calibration of EODMI (ch. 13); Appendices]

*Un traitement complet et utile mais qui est peut-être dépassé à cause des spécifications des équipements.*

Rüeger, J.M. [2003]. *Electronic Surveying Instruments, A Review of Principles, Problems, and Procedures*. UNSW School of Surveying and Spatial Information Systems, Monograph 18. ISBN 0-7334-2083-4 [available via UNSW SoSaSIS]

*Un traitement extrêmement complet, surtout au niveau des théodolites et des niveaux électroniques. Veuillez vous référer à Rüeger [1996] pour la télémétrie électronique.*

#Strasser, G.J. and H.R. Schwendener [1966]. "A North-seeking gyro attachment for the theodolite." *Bulletin Géodésique*, n.79, March 1966, p. 23 - 38.

*Analyse intéressante au niveau de la détermination de l'azimut en utilisant un accessoire gyroscopique, le Wild GAK1.*

Surveys and Mapping Branch [1978]. *Specifications and Recommendations for Control Surveys and Survey Markers*, Specifications Series, Surveys and Mapping Branch, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa. [utile pour certains types de monumentation et de contrôles verticaux qui utilisent la nivellation; autrement remplacé par la Geodetic Survey Division (1996)]

*Disponible via <http://www.geod.nrcan.gc.ca>, then "CSRS", then "Standards"*

Szostak-Chrzanowski, A. and A. Chrzanowski [2008]. "Canadian Contributions to Monitoring and Physical Interpretation of Mining Subsidence". *9. Geokinematischer Tag, Freiberg 2008*, 13<sup>th</sup> FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, 4<sup>th</sup> IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering. 14 pp disponible via <gge.unb.ca> sous Publications.

#Whitaker, C., M.A. Duffy, A. Chrzanowski [2000]. "Design of an automated dam deformation monitoring system: a case study", *Journal of Geospatial Engineering*, v.2, n.1, 23 - 34.

*Un exemple des capacités actuelles utilisant des stations de totalisation robotiques et la technologie GPS.*

Wolf, P.R., B.A. Dewitt [2000]. *Elements of Photogrammetry* McGraw-Hill, ISBN 0-07-292454-3 [ground control for aerial photogrammetry (ch. 16); aerotriangulation (ch. 17); project planning (ch. 18); terrestrial and close-range photogrammetry (ch. 19)]

### Références supplémentaires :

*La liste d'ouvrages essentiels et supplémentaires est exhaustive. Toutefois, toutes les références sont disponibles et plusieurs d'entre elles sont fournies sous forme d'articles plutôt que de textes. Nous avons déployé tous les efforts possibles pour indiquer des sections spécifiques ou encore des pages dans la section des résultats d'apprentissage et dans le guide d'étude.*

*# utilisé comme préfixe indique un téléchargement possible à partir du site du CCEAG.*

Anderson, J.M., and E.M. Mikhail [1998]. *Surveying: Theory and Practice* McGraw-Hill Book Company, ISBN 0-07-015914-9 hardcover.

*Une étude complète de l'arpentage – un peu désuète.*

Chrzanowski, A. [1999] “Engineering and Mining Surveys.” chapter Sixteen in G. McGrath and L.M. Sebert [edit] *Mapping a Northern Land, 1947 - 1994*. McGill-Queen’s University Press, ISBN 0-7735-1689-1

Cooper, M.A.R. [1982]. *Modern Theodolites and Levels* Granada Publishing Limited, ISBN 0-246-11502-5 hardcover. [adjustments to the theodolite (ch. 4), accuracies of constructional features of theodolites (ch. 5), adjustments and accuracies of non-automatic levels (ch. 9), errors and accuracies of automatic levels (ch. 10)]

Cooper, M.A.R. [1987]. *Control Surveys in Civil Engineering* Nichols Publishing Company, ISBN 0-89397-272-X Édition cartonnée [spécialement la conception de réseaux et la détection de déformations].

Davis, R.E., F.S. Foote, J.M. Anderson, and E.M. Mikhail [1981]. *Surveying: Theory and Practice*. 6<sup>th</sup>, McGraw-Hill Book Company. Remplacée par Anderson & Mikhail [1998].

Mikhail, E.M. and G. Gracie [1981]. *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*. Van Nostrand Reinhold Co. 1981, ISBN 0-442-25369-9 Édition cartonnée. [simulation (“pre-analysis”) of survey measurements (ch. 7), references]

Nickerson, B.G. [1978]. *A Priori Estimation of Variance for Surveying Observables* Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report 57, University of New Brunswick, Fredericton. [disponible via <gge.unb.ca> sous “Publications”: “Technical Reports”]

*Une présentation utile et disponible des formules utilisées pour calculer les variances mais dépassée au niveau de l'instrumentation.*

Schomaker, M.C. and R.M. Barry [1981]. *Geodetic Leveling* NOAA Manual NOS NGS 3, 1981 08, National Geodetic Survey, National Ocean Survey, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce. [networks (ch. 1), sources of error (sec. 3.1)]

Wolf, P.R., C.D. Ghilani [1997]. *Adjustment Computations*, John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-471-16833-5 hardcover. [error propagation in angle and distance measurement (ch. 6), in elevation determination (ch. 8); weights of observations (ch. 9); blunder detection in horizontal networks (ch. 20)] superceded by Ghilani & Wolf [2006]

*Note: sec. 6.7, fig. 6.5, est incorrecte. Tel qu'expliqué par Cooper [1987], une région d'erreur circulaire est une ellipse dont la longueur du demi grand axe et du demi petit axe est la même. Ceci est une dérivée de la covariance diagonale ou  $\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma_c^2$ , l'erreur de station ou centrale. Ainsi, eqn. 6.20 devrait comporter  $\sigma_i^2$  au lieu de  $\sigma_i^2/2$ .*

Wolf, P.R., C.D. Ghilani [2002]. *Elementary Surveying*, 10<sup>th</sup> edition, Prentice Hall Canada Inc., ISBN 0-321-01461-8 Édition cartonnée [the Global Positioning System (ch. 13, 14), control surveys (ch. 19, 539–557)] remplacé par Ghilani & Wolf [2008]