

Conseil canadien des examinateurs pour les arpenteurs-géomètres

Éléments du tronc commun

C 4: SYSTÈMES DE COORDONNÉES ET PROJECTIONS CARTOGRAPHIQUES

Sujets du tronc commun :

La sphère céleste et ses systèmes de coordonnées (horizontal, ascension droite, angles horaires et écliptique); systèmes temporeux (sidéral, apparent, universel); coordonnées fixes, systèmes de coordonnées célestes inertielles et orbitales et leurs transformations; systèmes de références spatiales et leurs cadres de références spatiaux, incluant le Système canadien de référence spatiale (CSRS), ITRS, ITRF, NAD27, NAD83, WGS84, CGVD28, NAVD 88; et la définition des plans de référence horizontaux et verticaux.

Principes de la projection cartographique, incluant les principes de base de calcul des dérivés afin d'effectuer une analyse critique des données de sortie fournies par les logiciels, les problèmes habituellement reliés aux projections cartographiques, les surfaces de projection (planaires, coniques et cylindriques), caractéristiques de la distorsion (azimutale, équidistante, conforme, surface-égale, indicatrice de Tissot, facteur d'échelle), aspects, ainsi que les bases de classification des projections cartographiques.

Exemples de projections cartographiques utilisées couramment au Canada et de par le monde, incluant les suivantes:

Projection de Mercator, incluant les caractéristiques de la projection, transformations de Terre à grille et de grille à Terre, facteurs d'échelle et évaluations de loxodromes.

Projection de Mercator transverse (UTM) ainsi que les projection de Mercator transverses modifiées (MTM) (3 degrés et 6 degrés (UTM)), incluant les caractéristiques des projections, les transformations de Terre à grille et de grille à Terre, facteurs d'échelle, convergence des méridiens ainsi que les réductions (facteur d'échelle, arc à corde, etc.) des mesures sur le terrain appliquées à la surface à cartographier.

Projection stéréographique double, incluant les caractéristiques des projections, transformations de Terre à grille et de grille à Terre, facteurs d'échelle, convergence des méridiens ainsi que les réductions (facteur d'échelle, arc à corde, etc.) des mesures sur le terrain appliquées à la surface à cartographier.

Projection conique conforme Lambert, incluant les caractéristiques des projections, transformations de Terre à grille et de grille à Terre, facteurs d'échelle et convergence des méridiens.

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. Un ensemble de formules est fourni avec les questions d'examen lorsque nécessaire.

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

Item C 3: Techniques avancées d'arpentage

Vaste expérience au niveau des calculs et de l'analyse de données reliées aux levés, connaissance des logiciels de projections cartographiques et de leur procédures cartographiques; aptitude à utiliser les ressources de l'Internet pour améliorer l'expérience d'apprentissage, de clarifier la

terminologie et d'identifier les types de projection habituellement utilisés par les gouvernements provinciaux du Canada.

Résultats d'apprentissage :

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

1. Décrire la sphère céleste et ses principaux systèmes de coordonnées (horizontale, ascension droite, angle horaire et écliptique).
 - Énoncer les hypothèses de bases ainsi que les approximations afférentes.
 - Identifier l'emplacement des origines et les orientations des axes de coordonnées.
 - Établir la relation entre les coordonnées sphériques célestes et les coordonnées cartésiennes, les systèmes célestes entre eux et, les systèmes célestes aux systèmes de coordonnées terrestres.
 - Expliquer les utilisations principales faites de chacun des systèmes de coordonnées célestes.

2. Interpréter et appliquer les systèmes temporels (sidéral, apparent et universel).
 - Identifier les caractéristiques des systèmes temporels, leurs interrelations et leurs applications.
 - Définir époque, intervalle et échelles temporelles en relation avec les systèmes temporels.
 - Choisir un système temporel et les correctifs requis pour une situation donnée.

3. Décrire les systèmes terrestres à coordonnées fixes (système de coordonnées naturelles et système de coordonnées ellipsoïdales).
 - Expliquer les propriétés spécifiques des systèmes de coordonnées.
 - Illustrer (en montrant les emplacements des origines et les orientations des axes de coordonnées) les divers systèmes de coordonnées.
 - Expliquer les relations mutuelles entre les divers systèmes de coordonnées.

4. Analyser les éléments du système de coordonnées célestes inertielles.
 - Expliquer l'importance du système de référence inertiel.
 - Énumérer les divers mouvements qui doivent être soustraits des observations astrométriques afin de pouvoir définir le cadre de référence inertiel.
 - Faire le lien entre le système terrestre conventionnel et le système inertiel conventionnel.

5. Décrire le système de coordonnées orbitales.
 - Identifier les caractéristiques (origines et directions des axes de coordonnées) et applications du système de coordonnées orbitales.

- Identifier les composante requises lors de la transformation de la position de satellites en système de position instantanée vers le système terrestre conventionnel.
6. Discuter des caractéristiques et applications des systèmes de référence spatiaux et des cadres de référence spatiaux.
 - Utiliser correctement les termes suivants : système de coordonnées, système de référence spatiale, cadre de référence spatiale, référence horizontale et référence verticale.
 - Expliquer les caractéristiques (origine, axes de coordonnées, etc...) des systèmes de référence couramment utilisés (CSRS, ITRS); cadres de référence (NAD83, ITRF); et plans de référence (NAD27, NAD83, WGS84, CGVD28, CGG20000 ou version la plus récente, plan de référence hybride, etc.).
 - Décrire de quelle manière les systèmes de référence et les cadre de référence sont définis.
 7. Faire preuve d'une compréhension des principes des projections cartographiques (incluant le principes de base de calcul de dérivés afin de pouvoir effectuer une analyse critique des données générées).
 - Identifier les problèmes généraux des projections cartographiques (incluant l'agence ment des contours), le diverses modélisations de la terre ainsi que les utilisations et applications des projections cartographiques.
 - Expliquer les divers types de projections cartographiques en rapport avec les divers types de surfaces de projection (ou formes développables), aspects, cas (tangente et sécante) et les caractéristiques de distorsion (par exemple: azimutale, équidistante, conforme, surface-égale, indicatrice de Tissot et le facteur d'échelle).
 - Calcul des caractéristiques de distorsion (conformalité, conditions d'équivalence et d'équidistance, facteur d'échelle, etc.) à partir d'équations cartographiques données (à partir de la sphère ou de l'ellipsoïde de référence, vers le plan).
 - Utiliser l'apparence de la grille (graticule) d'un projection cartographique et la théorie de la distorsion pour classifier les projections cartographiques.
 - Utiliser les directives générales de choix des projections cartographiques pour choisir une projection cartographique appropriée à une région.
 8. Faire preuve de sa compréhension des caractéristiques de la projection de Mercator.
 - Identifier les caractéristiques, apparence et applications de la projection.
 - Utiliser les formules appropriées pour résoudre des problèmes directs et inverses (transformations de géographique à grille et de grille à géographique), incluant l'évaluation de loxodromes.
 - Utiliser les formule appropriées pour calculer la convergence des méridien et le facteur d'échelle sur le plan de projection.
 9. Faire preuve de la compréhension des caractéristiques de la projection de Mercator transverse et des projections MTM (3 degrés et 6 degrés (UTM)).

- Illustrer l'apparence de la grille (graticule) et l'interrelation des projections cartographiques particulières suivantes: Mercator transverse (TM); Mercator transverse universelle (UTM) et ses extensions; et Mercator transverse locale (LTM), telle Mercator transverse en zones de 3 degrés (3° TM).
 - Discuter de l'utilisation et des applications des projections.
 - Utiliser les formules appropriées pour résoudre des problèmes directs et inverses (transformations de géographique à grille et de grille à géographique), pour les projections TM, UTM et LTM.
 - Utiliser les formules appropriées pour calculer la convergence des méridiens et le facteur d'échelle sur les plans de projection TM, UTM et LTM.
 - Effectuer la réduction d'un angle (direction), azimut et distance observés vers les plans TM, UTM et LTM.
10. Faire preuve de sa compréhension des caractéristiques de la projection stéréographique double.
- Illustrer l'apparence de la grille (graticule) de la projection.
 - Discuter des utilisations et applications de la projection.
 - Utiliser les formules appropriées pour résoudre des problèmes directs et inverses (transformations de géographique à grille et de grille à géographique), pour la projection.
 - Utiliser les formules appropriées pour calculer la convergence des méridiens et le facteur d'échelle sur le plan de projection.
 - Effectuer la réduction d'un angle (direction), azimut et distance observés, vers le plan de projection stéréographique double.
11. Faire preuve de sa compréhension des caractéristiques de la projection conique conforme de Lambert.
- Illustrer l'apparence de la grille (graticule) de la projection.
 - Discuter des utilisations et applications de la projection.
 - Utiliser les formules appropriées pour résoudre des problèmes directs et inverses (transformations de géographique à grille et de grille à géographique), pour la projection.
 - Utiliser les formules appropriées pour calculer la convergence des méridiens et le facteur d'échelle sur le plan de projection.

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.

Hradilek, L. and A.C. Hamilton [1973]. *Systematic Analysis of Distortions in Map Projections*. Geodesy and Geomatics Engineering Department Lecture Notes No. 34, University of New Brunswick, Fredericton, Canada.

Disponible via <gge.unb.ca> sous "Publications": "Technical Reports" ou via <<http://gge.unb.ca/Pubs/LN34.pdf>>

Bon traitement de la théorie (incluant dérivées utiles) de la distorsion des diverses projections cartographiques.

Junkins, D. And G. Garrard [1998]. "Demystifying Reference Systems: A Chronicle of Spatial Reference Systems in Canada", *Geomatica*, volume 52, No. 4.

Disponible via http://www.geod.nrcan.gc.ca/publications/papers/pdf/datums_e.pdf

Ressource Internet qui fournit des explications utiles sur plusieurs termes applicables aux systèmes de coordonnées 2D.

Krakiwsky, E.J. [1973]. *Conformal Map Projections in Geodesy*. Department of Geodesy and Geomatics Engineering Lecture Notes No. 37, University of New Brunswick, Fredericton, Canada.

Disponible via <gge.unb.ca> sous "Publications": "Technical Reports" ou via <<http://gge.unb.ca/Pubs/LN37.pdf>>

Un traitement complet sur les projections cartographiques conformes qui fournit des dérivées utiles.

Krakiwsky, E.J. and D.E. Wells [1971]. *Coordinate Systems in Geodesy*. Department of Geodesy and Geomatics Engineering Lecture Notes No. 16, University of New Brunswick, Fredericton.

Disponible via <gge.unb.ca> sous "Publications": "Technical Reports"

Un bon traitement de la théorie des systèmes de coordonnées tels qu'utilisés en géomatique.

Note: Average Terrestrial Pole est utilisé au lieu de Conventional International Origin (une terminologie plus moderne); Average Terrestrial System au lieu de Conventional Terrestrial Reference System ou Conventional Terrestrial System; et Mean Observatory au lieu de Greenwich zero Meridian.

Snyder, J.P. [1987]. *Map Projections – A Working Manual*. U.S.A. Geological Survey Professional Paper 1395. United States Government Printing Office, Washington. Chapters 1-8, 14, 15, 21 and Appendix A.

Disponible via <http://pubs.er.usgs.gov/djvu/PP/PP_1395.pdf>

Un traitement complet des projections cartographiques avec exemples utiles fournis dans l'annexe A.

Thomson, D. B., E. J. Krakiwsky, R. R. Steeves [1977]. *A manual for Geodetic Coordinate Transformations in the Maritime Provinces*, Geodesy and Geomatics Engineering Department Technical Report No. 48, University of New Brunswick, Fredericton, Canada.

Disponible via <gge.unb.ca> under "Publications": "Technical Reports" ou via <<http://gge.unb.ca/Pubs/TR48.pdf>>

Un manuel facilement disponible sans dérivées ou longues explications des formules mathématiques mais qui fournit de bons exemples numériques des transformations de coordonnées géodésiques dans les provinces de l'Atlantique.

Thomson, D. B., M. P. Mephan, and R. R. Steeves [1998]. *The Stereographic Double Projection*, Geodesy and Geomatics Engineering Department Technical Report No. 46, University of New Brunswick, Fredericton, Canada. Chapters 1 - 4.

Disponible via <gge.unb.ca> sous "Publications": "Technical Reports" ou via <<http://gge.unb.ca/Pubs/TR46.pdf>>

Matériel facilement disponible avec traitement complet de la théorie (incluant dérivées) de la projection stéréographique double telle qu'utilisées dans les provinces de l'Atlantique.

Torge, W. [2001]. *Geodesy*. 3rd edition, Walter de Gruyter, N.Y. , ISBN 3-110-17072-8. [Reference systems (18-44); Natural coordinates (64-66); The Geodetic Earth Model (91-102)].

Bon traitement de certains aspects des systèmes de coordonnées avec une terminologie plus moderne que celle de Krakiwsky and Wells [1971].

Note: Le Conventional Terrestrial System est appelé Global Earth-Fixed Geocentric System; CIO est appelé Conventional "Mean" Terrestrial Pole.

Véronneau, M [2006]. Démythification du plan de référence altimétrique au Canada : Une étude de cas dans le delta du Mackenzie, Ressources naturelles Canada.

Disponible via http://www.geod.nrcan.gc.ca/hm/pdf/verticaldatumsdeltav10_f.pdf

Une ressource internet qui fournit des explications utiles sur la terminologie associée au plan de référence altimétrique.

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.

Altamimi, Z. et al. [2001]. Papers - International Terrestrial Reference Frame (ITRF). Natural Resources Canada.

Disponible via <<http://www.geod.nrcan.gc.ca/publications/papers/pdf/itrf2000.pdf>>

Une ressource Internet qui fournit des explications utiles sur la terminologie associée au cadre de référence terrestre international.

anon. [2007]. *Canadian Spatial Reference System*, Natural Resources Canada .

Disponible via <http://www.geod.nrcan.gc.ca/edu/geod/reference/index_e.php>

Une ressource internet facilement disponible qui fournit un survol complet du cadre de référence spatial canadien.

anon. [2009]. *Map Projections*. Natural Resources Canada.

Disponible via

<http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/learningresources/cartocorner/map_projections.html>

Une bonne ressource Internet qui résume, de manière simple, certains aspects de base des projections cartographiques.

[Dana](#), P. H. [1999]. Coordinate Systems.

http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/coordsys/coordsys_f.html.

Une ressource Internet qui fournit des aperçus sommaires de divers systèmes de coordonnées.

Dana, P. H. [2000]. Map Projections.

<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/mapproj/mapproj.html>.

Une ressource Internet qui fournit des aperçus sommaires de diverses projections cartographiques.

Donnelly, M. and D. Raymond [2002]. *Map Projections and Datums of the Atlantic Provinces Making it Fit-or-Having a Fit.*

Disponible via

<http://luxor.acadiau.ca/library/data/GIS/gis_workshop/ex/Introduction_to_Projections.ppt>

Un survol utile des projections cartographiques utilisées dans les provinces de l'Atlantique.

Furuti, C. A. [1997]. *Map Projections.*

<http://www.progonos.com/furuti/MapProj/Normal/TOC/cartTOC.html>.

Ressource internet avec traitement complet de diverses projections cartographiques avec plusieurs graphiques, incluant les indicatrices de Tissot de diverses projections cartographiques.

Maling, D.H. [1992]. *Coordinate Systems and Map Projections*, 2ⁿd edition, Pergamon Pr. (ISBN-13 9780080372341) or Butterworth-Heinemann (ISBN-13: 9780080372334).

Traite en détail des systèmes de coordonnées et des projections cartographiques. Ce livre est épuisé depuis un bon moment. Les copies disponibles pourraient se vendre jusqu'à 200\$ CAN chacune.