

## Conseil canadien des examinateurs pour les arpenteurs-géomètres

### Éléments du tronc commun

## C 4: SYSTÈMES DE COORDONNÉES ET PROJECTIONS CARTOGRAPHIQUES

### Guide d'études :

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.

#### 1. À propos de :

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>>].

Q1.1. Quels sont les principaux problèmes associés aux projections cartographiques ?  
(Voir Introduction)

Q1.2. Décrivez les formes et dimensions de l'indicatrice de Tissot au niveau de la conformalité, de l'équivalence (surface-égale) et de l'équidistance. (Voir Chap. II).

Q1.3. Les relations fonctionnelles entre les coordonnées cartographiques (X, Y) et les coordonnées géodésiques (Latitude =  $\phi$ , Longitude =  $\lambda$ ) pour une projection cylindrique simple sont

$$X = R\phi \qquad Y = R\lambda$$

(Voir Chap. III, p.16):

- Quelle est l'orientation des distorsions (ou déformations ? DT) extrêmes?
- La projection est-elle surface-égale?
- Quel est le facteur de distorsion de surface?
- La projection est-elle conforme ?
- Quel est l'angle de distorsion maximal ?

#### 2. À propos de :

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](http://www.geod.nrcan.gc.ca/publications/papers/pdf/datums_e.pdf)]

Q1.4. Quelles sont les caractéristiques d'un système de référence terrestre conventionnel ?

Q1.5. Qu'est-ce qu'un datum géodésique ? Que comporte la réalisation d'un datum géodésique ?

Q1.6. Que comporte la réalisation du Système canadien de référence spatiale (SCRS) ?

3. À propos de :

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

- Q1.7. Q1: Qu'est-ce qu'un plan isométrique ? Expliquez l'interprétation géométrique des parallèles et méridiens projetés sur ce plan. (Voir sec. 4.1)
- Q1.8. Q2: Expliquez les variations de la correction de demi-convergence lorsqu'appliquée aux projections de Mercator transverses. (Voir sec. 4.5, 6)
- Q1.9. Q3: Expliquez les variations des angles de convergence lorsque appliquées aux projections de Mercator transverses. Les angles de convergence sont-ils affectés par la longueur ou l'orientation des lignes reliant deux stations ? Expliquez. (Voir sec.6.2)
- Q1.10. À l'aide d'une esquisse bien identifiée, illustrez l'apparence de la projection de Mercator transverse sur l'hémisphère Nord. L'esquisse doit montrer **l'équateur, le premier méridien, parallèles et méridiens** avec une indication claire de la relation entre les lignes du graticule. (Voir sec. 6.4)
- Q1.11. Qu'est-ce qu'une latitude footpoint? (Voir sec. 6.5)
- Q1.12. Nommez les différents types de projections cartographiques utilisées par le gouvernement canadien. Décrivez les caractéristiques de chaque projection en ce qui touche l'exactitude de la mesure de la distance, de la surface et des angles. (Voir sec. 6.8, 6.9, 8.2)
- Q1.13. Le facteur d'échelle ( $k$ ) en tout point donné ( $\phi, \lambda$ ) sur une projection UTM peut être déterminée en utilisant la formule suivante:

$$k = k_0 \left[ 1 + \ell^2 \frac{\cos^2 \phi}{2} \right]$$

ou  $\ell = \lambda_{CM} - \lambda$ , exprimé en radians;  $\lambda_{CM}$  est la longitude du premier méridien ou méridien central;  $k_0$  est le facteur d'échelle au premier méridien; et  $\phi$  et  $\lambda$  expriment la latitude et la longitude du point donné. À quelle distance (à une décimale près) du premier méridien, disons sur l'équateur, la distorsion de l'échelle UTM sera-t-elle égale à zéro ?

Réponse:

1,6°; Voir sec. 6.8

- Q1.14. À l'aide d'une esquisse bien identifiée seulement, illustrez l'apparence de la projection de Mercator transverse sur l'hémisphère Nord. L'esquisse doit montrer **l'équateur, le premier méridien, parallèles et méridiens** avec une indication claire de la relation entre les lignes du graticule. (Voir sec. 5)
- Q1.15. Expliquez l'apparence d'une projection de Mercator d'une surface qui s'étend surtout en direction Nord-Sud en ce qui touche la distorsion d'échelle, la convergence des méridiens et sa forme
- Q1.16. À l'aide d'une esquisse bien identifiée seulement, illustrez l'apparence de la projection conique conforme de Lambert sur l'hémisphère Nord. L'esquisse doit montrer **l'équateur, le premier méridien, parallèles et méridiens** avec une indication claire de la relation entre les lignes du graticule. (Voir sec. 7)

- Q1.17. Expliquez les variations des angles de convergence lorsque appliquées à la projection conique conforme de Lambert. Les angles de convergence sont-ils affectés par la longueur ou l'orientation des lignes reliant deux stations ? Expliquez (Voir sec. 7)
- Q1.18. Pourquoi les arpenteurs calculent-ils les positions géodésiques sur des plans à projection conforme plutôt que, par exemple, sur des plans surface-égale ou encore à projection équidistante ? (Voir Chap. 10)
- Q1.19. Donnez un avantage et un désavantage des coordonnées géodésiques vis-à-vis les coordonnées de projection cartographiques. (Voir Chap. 10)
- Q1.20. On vous fournit une distance géodésique de 1 987,62 m et l'azimut géodésique, à partir d'une borne avec des coordonnées UTM, vers un point B. La latitude et la longitude géodésique du point d'observation sont connues. Répondez aux questions suivantes le plus complètement possible, en énumérant les autres données dont vous pourriez avoir besoin dans chaque cas.
- Décrivez de quelle manière vous réduiriez manuellement l'azimut géodésique en azimut du quadrillage. (Voir sec. 6.2, 11, 14.1)
  - Décrivez de quelle manière vous réduiriez manuellement la distance géodésique en distance de quadrillage. (Voir sec. 11.3, 14.1.3)

4. À propos de :

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"].

- Q1.21. Un système temporel est défini en spécifiant une intervalle et une époque. Expliquez l'intervalle et l'époque de deux systèmes temporels tels que le temps universel et le temps sidéral. (Voir sec. 1.2)
- Q1.22. Quelle est la différence entre le Système géodésique concentrique et le Système terrestre conventionnel ? Pourquoi le Système géodésique concentrique est-il habituellement utilisé ? (Voir sec. 2.1 & 2.3)
- Q1.23. Nommez deux sortes de systèmes de coordonnées terrestres topocentriques. Comment sont définis les axes z des deux systèmes ? Comment les deux axes z sont-ils apparentés en expliquant pourquoi ils ne sont alignés dans la même direction dans l'espace ? (Voir sec. 2.4)
- Q1.24. Que tenons-nous pour acquis au sujet de la terre et des étoiles en ce qui touche la définition de la sphère céleste ? (Voir sec. 3)
- Q1.25. Expliquez la principale utilisation faite de chacun des systèmes de coordonnées suivants: système écliptique, système d'ascension droite, système des angles horaires, système de coordonnées horizontales. (Voir sec. 3)
- Q1.26. Quelles sont les différences entre le système de coordonnées horizontales et le système astronomique local ? (Voir sec. 2.4.1 & 3.4)
- Q1.27. Comment le système de coordonnées orbitales est-il défini ? (Voir sec. 4.2)
- Q1.28. Expliquez de quelle manière le système orbital peut être relié au système conventionnel terrestre (Système terrestre moyen). (Voir sec. 4.3)

5. À propos de:

Snyder, J.P. [1987]. *Map Projections – A Working Manual*. U.S.A. Geological Survey Professional Paper 1395. United States Government Printing Office, Washington. Chapitres 1-8, 14, 15, 21 et Appendix A. [disponible via <[http://pubs.er.usgs.gov/djvu/PP/PP\\_1395.pdf](http://pubs.er.usgs.gov/djvu/PP/PP_1395.pdf)>].

- Q1.29. Qu'est-ce qu'une projection cartographique ? Pourquoi existe-t-il plusieurs projections cartographiques ? (Voir Chap. 1)
- Q1.30. Que sont les formes développables ? Nommez-les toutes en expliquant pourquoi on les considère développables ? (Voir Chap. 1)
- Q1.31. Expliquez ce que vous comprenez du terme “conformalité” dans les projections cartographiques. (Voir Chap. 1)
- Q1.32. Que devez-vous examiner lors du choix de la meilleure projection cartographique pour une région ? (Voir Chap. 1)
- Q1.33. Vous utilisez un logiciel de projection cartographique. Comment évalueriez-vous la précision des données générées ? (Voir Chaps. 1 et 4)
- Q1.34. Expliquez l'indicatrice de Tissot en termes de ce qu'elle représente vraiment ainsi que son utilisation ou application principale. (Voir Chap. 4).
- Q1.35. Classez les projections cartographiques en fonction de: leur aspect, leurs surfaces de projection (ou formes développables), caractéristiques de distorsion. (Voir Chap. 6)
- Q1.36. Donnez deux utilisations importantes ainsi qu'une limite importante de la projection de Mercator. (Voir Chap. 7)
- Q1.37. Voir exemples numériques en pages 269-271 et 296-298.

6. À propos de :

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](http://gge.unb.ca)> sous “Publications”: “Technical Reports” ou via <<http://gge.unb.ca/Pubs/TR48.pdf>>].

- Q1.38. Expliquez les paramètres à déterminer lors de la définition d'un datum géodésique selon une méthode classique. (Voir Chap. 3)
- Q1.39. Nommez 8 des paramètres principaux requis pour toute projection cartographique. (Voir sec. 6.1, 7.1 or 8.1)
- Q1.40. En examinant la dimension et la forme de la Nouvelle-Écosse, quelle projection cartographique proposeriez-vous à la province afin de réduire au minimum la distorsion sur une carte à l'échelle de 1:10,000 ? Expliquez votre réponse en fonction des propriétés de distorsion attendues incluant l'étendue du facteur d'échelle suggéré, la surface développable, l'aspect, la ou les modélisations de la terre disponibles ainsi que le type de contact (tangente ou sécante). (Voir sec. 8)

*Notes: MTM est un acronyme de Mercator Transverse Modifiée, utilisé normalement avec une projection similaire à l'UTM mais avec une zone d'une largeur de 3°. Certains groupes préfèrent l'appeler 3° Transverse Mercator (3°TM, 3TM, ou 3°MTM). La Province*

de Nouvelle-Écosse utilise le terme 3°MTM tandis que l'Alberta semble préférer utiliser 3TM. Dans les deux cas, on parle cependant de la même chose. Les projections 3TM (ou MTM) et UTM diffèrent surtout au niveau du choix du facteur d'échelle et de la localisation du premier méridien (méridien central).

Q1.41. Voir exemples numériques 5.3, 6.3, 7.3 et 8.3.

7. À propos de :

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. Chapitres 1 - 4. [disponible via <gge.unb.ca> sous "Publications": "Technical Reports" ou via <<http://gge.unb.ca/Pubs/TR46.pdf>>].

Q1.42. En examinant la dimension et la forme du Nouveau-Brunswick, quelle projection cartographique proposeriez-vous à la province afin de réduire au minimum la distorsion sur une carte à l'échelle de 1:10,000 ? Expliquez votre réponse en fonction des propriétés de distorsion attendues incluant l'étendue du facteur d'échelle suggéré, la surface développable, l'aspect, la ou les modélisations de la terre disponibles ainsi que le type de contact (tangente ou sécante).

Q1.43. En examinant la dimension et la forme de l'Île-du-Prince-Édouard, quelle projection cartographique proposeriez-vous à la province afin de réduire au minimum la distorsion sur une carte à l'échelle de 1:10,000 ? Expliquez votre réponse en fonction des propriétés de distorsion attendues incluant l'étendue du facteur d'échelle suggéré, la surface développable, l'aspect, la ou les modélisations de la terre disponibles ainsi que le type de contact (tangente ou sécante).

8. À propos de :

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

Q1.44. Expliquez le rôle fondamental du temps en géomatique. (Voir sec. 2.2)

Q1.45. Expliquez votre compréhension du temps inertiel, du temps solaire et du temps sidéral. Comment sont ils liés et quelles sont leurs utilisations importantes ? (Voir sec. 2.2)

Q1.46. Qu'est-ce qu'un système inertiel ? Expliquez son utilité et décrivez une approximation du système inertiel. (Voir sec. 2.3 et 2.4).

Q1.47. Décrivez le Système de référence terrestre (SRT). Comment est-il défini (en donnant les orientation des axes X, Y et Z dans l'espace) et réalisé (en donnant un exemple) ? Pourquoi une référence à une époque temporelle est-elle essentielle dans ce système ?(Voir sec. 2.5)

Q1.48. Décrivez le Système de référence céleste international (ICRS). Comment est-il réalisé? (Voir sec. 2.4.3)

Q1.49. Décrivez de quelle manière un système de coordonnées naturelles peut être défini et expliquez de quelle manière les coordonnées naturelles peuvent être définies à l'aide de mesures. (Voir texte, sec. 2.6.1 et 3.23)

- Q1.50. Décrivez les systèmes astronomiques locaux et expliquez leur importance en géomatique. (Voir texte, sec. 2.6.2)
- Q1.51. Quelles sont les différences entre les systèmes astronomique locaux et les systèmes géocentriques globaux ? Indiquez leur relation mathématique. (Voir sec. 2.6.2)
- Q1.52. Qu'est-ce qu'une modélisation terrestre géodésique et quelle est son importance en géodésie? (Voir sec. 4.0)
- Q1.53. Expliquez les différences entre: système de coordonnées spatiales géodésiques et le système de coordonnées à axe fixe; le système géodésique local et le système astronomique local ? (Voir sec. 2.5.1 et 4.1.3)

9. À propos de :

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](http://www.geod.nrcan.gc.ca/hm/pdf/verticaldatumsdeltav10_f.pdf)]

- Q1.54. Lorsque les altitudes de repères issus d'un nivellement différentiel (basé sur CGVD28) sont comparées aux altitudes orthométriques des mêmes repères basées sur la modélisation géoïde / GPS (CGG2000), elles pourraient différer. Expliquez ce qui pourrait être à la source des ces différences.
- Q1.55. Répondez le plus complètement possible:
- Qu'est-ce qu'un plan de référence?
  - Quelle est la différence entre l'altitude orthométrique CGVD28 publiée et l'altitude ellipsoïde dérivée du GPS ?
  - En pratique, que feriez-vous pour effectuer la transformation de l'une à l'autre ?
- Q1.56. Expliquez la différence entre un cadre de référence et un système de référence, donnant un exemple précis de chacun.

10. Questions supplémentaires

Q1.57. Sur une projection UTM, la convergence des méridiens pour un point B de latitude  $53^{\circ} 42' 28''$  N et de longitude  $-112^{\circ} 18' 29''$  (ou O) est calculée à  $-1^{\circ} 03' 15.73''$ . Cette convergence varierait-elle dans une zone 3TM utilisant le même premier méridien que celui utilisé pour la projection UTM ? Si oui, pourquoi ? Quelle serait la longitude d'un point avec les mêmes valeurs numériques au niveau de la convergence mais du signe algébrique opposé ? Dans quelle zone UTM ce point est-il situé ? (Le méridien central est  $-111^{\circ}$  (ou O))

Réponse :

Non,  $\lambda = -109^{\circ}41' 31''$ , UTM Zone 12

Q1.58. Si une zone 3TM (N'ayant aucune fausse abscisse et lecture vers le nord) et une zone UTM partagent le même méridien central, quelle est l'abscisse d'un point UTM dont l'abscisse en 3TM est de 113,660.42 m (tenant pour acquis que le facteur d'échelle 3TM du méridien central est 0.99990)?

Réponse :

613,626.32 m; voir aussi sec. 6.8-6.9 dans Krakiwsky[1973].

Q1.59. À l'aide d'esquisses bien identifiées seulement, illustrez l'apparence de la projection de Mercator et de la projection de Mercator transverse pour l'hémisphère Nord – Fournissez une esquisse pour la projection de Mercator et une autre pour la projection de Mercator transverse. Les esquisses doivent illustrer **l'équateur, le premier méridien, parallèles et méridiens** avec une indication claire de la relation entre les lignes du graticule.

Réponse :

Voir sec. 5 et 6 dans Krakiwsky[1973]; et sec. 7 et 8 dans Snyder [1987].

Q1.60. En examinant la dimension et la forme du Nouveau-Brunswick, quelle projection cartographique proposeriez-vous à la province afin de réduire au minimum la distorsion sur une carte à l'échelle de 1:10,000 ? Expliquez votre réponse en fonction des propriétés de distorsion attendues incluant l'étendue du facteur d'échelle suggéré, la surface développable, l'aspect, la ou les modélisations de la terre disponibles ainsi que le type de contacts (tangente ou sécante).

Réponse :

Voir Thomson, et al. [1998] et Thomson, et al.[1977]

Q1.61. Les fonds de plans canadiens sont produits sur une série de projections pour chaque province. Ceci afin de réduire la distorsion de facteur d'échelle à un niveau très bas. Une entreprise vient d'acquérir des données cartographique et souhaite n'utiliser qu'une seule projection, afin d'éviter les discontinuités. La surface importe peu, puisque celle-ci sera un attribut de la base de données, mais les formes des caractéristiques ne devraient pas subir des distorsions appréciables. Concevez une projection applicable, étant donné une plage de latitudes de 41°N à 84°N et une plage de longitude de 52°O à 141°O.

Réponse :

Voir sec. 7 dans Krakiwsky[1973]; et sec. 15 dans Snyder [1987].

Q1.62. Sur une projection UTM, calculez la convergence des méridiens (à la minute-d'arc la plus près) pour un point A d'une latitude de ( $\phi = 53^\circ 42' 28''$  N) et de longitude ( $\lambda = 112^\circ 18' 29''$ O), étant donnée la longitude du méridien central,  $\lambda_0 = 111^\circ$  O et l'équation suivante:

$$\gamma = \ell \left( 1 + \frac{\ell^2}{3} (1 + 3\eta^2) \cos^2 \phi \right) \sin \phi$$

ou  $\gamma$  est la convergence des méridiens,  $\eta^2 = e'^2 \cos^2 \phi$ ,  $e'^2 = 0.006739496780$  et  $\ell = \lambda - \lambda_0$ .

Réponse :

-1°03'16"

Q1.63. Le facteur d'échelle ( $k$ ) de tout point ( $x, y$ ) sur une projection UTM peut être déterminée avec la formule suivante :

$$k = k_0 \left[ 1 + \frac{(x - x_0)^2}{2R^2} \right]$$

ou  $k_0$  et  $x_0$  sont respectivement le facteur d'échelle et la fausse abscisse au méridien central, et  $R$  est le rayon moyen de la terre. Dans une cartographie cadastrale à grande échelle d'une région (avec une étendue Est-Ouest de 360 km), un rapport de précision d'échelle de 1/10 000 est requis et une projection de Mercator transverse (semblable à l'UTM) doit être utilisée. Le rayon de la terre dans cette région peut être établi à 6 371 km.

- Déterminez le nombre de zones (illustrez vos étapes de calcul) et le facteur d'échelle (6 décimales) devant être utilisés au méridien central afin que le rapport de précision d'échelle demeure sous 1/10 000.
- Quelle est la distance entre deux sécantes d'une zone tout en maintenant une précision d'échelle de 1/10 000 dans une région ?
- Si une seule zone est utilisée pour toute la région à cartographier, quel serait le pire rapport de précision d'échelle pour la zone, si le facteur d'échelle déterminé en (a) est utilisé pour le méridien central ?

Réponse :

- Deux zones de à peu près 250 km et 110 km
- 180 km
- .

E  
M  
B  
E  
D

M  
a  
t  
h  
T  
y  
p  
e

6  
.  
0

E  
q  
u  
a  
t  
i  
o  
n

$\frac{1}{3,000}$