

**Conseil canadien des examinateurs pour les arpenteurs-géomètres**  
**Sujets du tronc commun**  
**E 5 : TECHNIQUES AVANCÉES DE PHOTOGRAMMÉTRIE**

**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.

Les réponses numériques ainsi que des références directes à la section des Références essentielles sont fournies pour chaque section de ce guide afin d'orienter les réponses non numériques.

1. En ce qui touche l'assurance de qualité et le contrôle de qualité de la cartographie photogrammétrique :
  - Assurance de qualité (AQ): définition et procédures
  - Contrôle de qualité (CQ): définition et procédures
  - Étalonnage de la caméra : Caméras analogues et numériques, caméras métriques et non métriques, analyse de la stabilité
  - Étalonnage du système
  - Évaluation de la précision et de la justesse des résultats issus de la cartographie photogrammétrique

Questions type :

- Q1.1. Qu'entend-on par Assurance de qualité (AQ) et Contrôle de qualité (CQ) ?
- Q1.2. De quels facteurs d'AQ devrait-on tenir compte pour une mission cartographique ?
- Q1.3. Quelles sont les mesures de CQ à utiliser pour évaluer le résultat d'une mission de cartographie photogrammétrique ?
- Q1.4. À quoi sert la procédure d'orientation intérieure ?
- Q1.5. Quels paramètres définissent l'orientation intérieure d'une caméra donnée ?
- Q1.6. Quelles sont les différentes méthodes d'estimation des paramètres d'orientation intérieure d'une caméra donnée ? Quelle serait votre méthode préférée ? Pourquoi ?
- Q1.7. Quels sont les facteurs qui affectent la précision du résultat d'une procédure d'ajustement par faisceaux d'un bloc photogrammétrique ?
- Q1.8. Quels sont les facteurs qui affectent la justesse du résultat d'une procédure d'ajustement par faisceaux d'un bloc photogrammétrique ?
- Q1.9. Comment évalueriez-vous la justesse et la précision du résultat d'une procédure d'ajustement par faisceaux d'un bloc photogrammétrique ?
- Q1.10. Comment catégoriseriez-vous les caméras suivantes – Normale, grand-angulaire, super grand-angulaire (expliquez vos réponses):
  - a. Format 9" × 9" avec longueur focale de 30 cm
  - b. Format 9" × 9" avec longueur focale de 15 cm

- c. Format 9" × 9" avec longueur focale de 8 cm.

Réponse :

Normale (56,62°), grand-angulaire (94,26°), super grand-angulaire (127,32°)

Q1.11. Laquelle des caméras suivantes :

- Caméra à angle normal, ou
- Caméra super grand-angulaire

Donnerait une meilleure précision au niveau de la hauteur ? Pourquoi ? (en tenant pour acquis que la même échelle et le même taux de chevauchement sont maintenus pour les deux caméras.)

*Voir références essentielles ENGO 431 Chapitres 1 – 8; ENGO 531, Chapitres 1, 3, 4, et 5; ENGO 667, Chapitres 1 et 2*

2. En ce qui touche les systèmes d'imagerie numériques:

- Caméras numériques : caméras numériques grand format et format intermédiaire cameras
- Caméras numériques à objectifs multiples
- Caméras linéaires : acquisition de données et couverture stéréoscopique
- Satellites imageurs haute-résolution
- Géométrie de la perspective des caméras linéaires : images d'orientation et représentation polynomiale de la trajectoire du système
- Triangulation photogrammétrique multi-capteurs

Questions type :

- Q2.1. Quelle est la restriction principale d'une caméra numérique comparativement à une caméra analogique?
- Q2.2. De quelle manière les restrictions des caméras numériques sont-elles compensées par l'introduction des caméras linéaires ?
- Q2.3. Quelle est la méthodologie préférée pour obtenir une couverture stéréoscopique ? Pourquoi ?
- Q2.4. De quelle manière les options de couverture stéréoscopiques reliés aux caméras linéaires pourraient-elles affecter la Distance d'échantillonnage au sol des images acquises ?
- Q2.5. Quel est l'avantage principal des plate-formes d'imagerie satellitaire comparativement aux plate-formes aériennes ?
- Q2.6. Quelles sont les différences principales entre les équations de colinéarité des caméras numériques et des caméras linéaires ?
- Q2.7. Pour une caméra linéaire, dont la trajectoire est représentée par quatre images d'orientation, combien compte-on de de paramètres d'orientation extérieure par image lors de la procédure d'ajustement par faisceaux ?

Réponse :

Q2.8. Pour une caméra linéaire, dont la trajectoire est représentée par un polynôme de deuxième ordre pour la composante de position et par un polynôme d'ordre zéro pour la composante d'orientation, combien compte-t-on de paramètres d'orientation extérieure par image lors de la procédure d'ajustement par faisceaux ?

Réponse :

12

Q2.9. Devriez-vous attendre une contribution en incorporant de l'imagerie peu dense à une procédure d'ajustement par faisceaux d'images captées par une caméra linéaire ? Si oui, quelle serait cette contribution ?

Q2.10. Quel est l'obstacle principal rencontré lors d'une triangulation photogrammétrique multi-capteurs impliquant des images captées par des caméras numériques et linéaires à bord de systèmes d'imagerie aériens et satellitaires ? Pourquoi ? Comment réduiriez-vous l'impact d'un tel obstacle ?

*Voir références essentielles ENGO 431, Chapitre 4; ENGO 435, Chapitres 1 et 3; ENGO 531, Chapitre 2*

3. En ce qui touche la modélisation par capteurs:

- Rattachement de l'image et des coordonnées au sol : objectifs et options
- Équations colinéaires :
  - Matrices de rotation : caractéristiques et fonction dérivée
  - Équations de colinéarité pour les caméras numériques
  - Équations de colinéarité pour les caméras linéaires
- Transformation projective
- Transformation linéaire directe
- Modèle fonctionnel rationnel

Questions type :

Q3.1. En photogrammétrie, quel est le but du modèle mathématique ?

Q3.2. Quelle est la base conceptuelle des équations de colinéarité ?

Q3.3. Qu'entend-on par conditions orthogonales d'une matrice de rotation ?

Q3.4. Discutez des différences entre les matrices de rotation 2D et 3D en termes de :

- a. Nombre d'éléments de la matrice,
- b. Nombre de paramètres indépendants requis pour décrire la matrice de rotation correspondante, et
- c. Nombre de conditions d'orthogonalité qui devraient être remplies.

Réponses:

4/9, 1/3, 3/6

Q3.5. En photogrammétrie, quelles sont les angles de rotation et la séquence de rotation utilisées ? Est-il important de suivre un certain ordre lors de l'application de ces rotations ? Pourquoi ?

- Q3.6. Pour une procédure photogrammétrique qui exploite le modèle de colinéarité, énumérez les paramètres inconnus qui pourraient être impliqués.
- Q3.7. Pour une procédure photogrammétrique qui exploite le modèle de colinéarité, énumérez les observables qui pourraient être impliqués. Citez un exemple de la manière dont chaque quantité peut être observée.
- Q3.8. Quelle est l'hypothèse sous-jacente à l'utilisation d'une transformation projective pour relier les coordonnées de l'image et de l'espace-objet ?
- Q3.9. Expliquez brièvement la base conceptuelle derrière l'utilisation d'un modèle fonctionnel rationnel pour relier les coordonnées de l'image et de l'espace-objet ?
- Q3.10. Quelles sont les principales différences entre les modèles de l'équation de colinéarité et de la transformation directe linéaire ?

*Voir références essentielles ENGO 431, Chapitres 7 et 8; ENGO 435, Chapitre 5; ENGO 531, Chapitres 1 et 2; ENGO 667, Chapitres 1 et 2*

4. En ce qui touche le géoréférencement de l'image :
- Géoréférencement de l'image : définition et options
  - Géoréférencement indirect : concept et mise en oeuvre
  - Orientation des capteurs intégrés : concept et mise en oeuvre
  - Géoréférencement direct : concept et mise en oeuvre
  - Étalonnage du système : étalonnage par bras de levier et par pointage
  - Systèmes de cartographie mobiles
  - Analyse comparative des diverses techniques de géoréférencement

Questions type :

- Q4.1. Quel est le rôle de l'orientation intérieure dans la procédure de reconstruction photogrammétrique ?
- Q4.2. Quel est le rôle du géoréférencement dans la procédure de reconstruction photogrammétrique ?
- Q4.3. Quelles sont les principales différences entre les procédures d'ajustement par faisceaux suivantes :
- a. Triangulation photogrammétrique par géoréférencement indirect,
  - b. Triangulation indirecte contrôlée par GPS, et
  - c. Triangulation photogrammétrique contrôlée par GPS/INS ?
- Q4.4. Est-il possible d'incorporer un système GPS/INS à la plate-forme d'imagerie afin de faciliter la reconstruction d'un espace-objet à partir d'une seule image ? Pourquoi ?
- Q4.5. Quelles sont les quantités mesurées par un système GPS/INS à bord d'une plate-forme d'imagerie ? Quelles sont les principales exigences qui permettent de relier ces mesures à l'orientation extérieure des stations de prise de vues ?
- Q4.6. En examinant les écarts spatiaux et rotationnels entre l'unité GPS/INS et le capteur d'images, lequel de ces écarts a un effet plus important sur la qualité de la procédure de reconstruction ? Pourquoi ?

- Q4.7. Pouvez-vous effectuer une reconstruction photogrammétrique d'une triangulation photogrammétrique contrôlée par GPS d'un bloc d'images sans points d'appui au sol ? Pourquoi ?
- Q4.8. Pouvez-vous effectuer une reconstruction photogrammétrique d'une triangulation photogrammétrique contrôlée par GPS d'un seul axe de passage sans points d'appui au sol ? Pourquoi ?
- Q4.9. Quel serait l'ordre de grandeur (par ex. : important vs négligeable) de la contribution d'un INS dans les situations suivantes (expliquez pourquoi) :
- Triangulation photogrammétrique contrôlée par GPS/INS d'un bloc d'images capté par une caméra numérique à grand-angle ?
  - Triangulation photogrammétrique contrôlée par GPS/INS d'un bloc d'images capté par une caméra linéaire à champ étroit ?
- Q4.10. Quel est l'impact des erreurs de justesse des paramètres d'orientation intérieure sur les résultats de reconstruction à partir d'une triangulation photogrammétrique contrôlée par observations GPS/INS ou par des points d'appui au sol (GCP) ? Pourquoi ?
- Q4.11. En termes de qualité de l'espace-objet reconstruit, qu'attendriez-vous de procédures de triangulation et d'intersection contrôlées par GPS/INS ? Pourquoi ?

*Voir références essentielles ENGO 431, Chapitre 8; ENGO 531, Chapitres 1, 2 et 3*

## 5. En ce qui touche l'appariement de l'image :

- Appariement automatisé des caractéristiques conjuguées d'imagerie avec chevauchement: objectif, terminologie et applications
- Opérateurs pour l'extraction des points caractéristiques
- Corrélation croisée : concept, procédure, évaluation des résultats appariés
- Appariement par la méthode des moindres carrés : concept, procédure, évaluation des résultats appariés
- Géométrie épipolaire : concept et ré-échantillonnage de l'image
- Détection des contours : opérateurs de première et de deuxième dérivée
- Appariement à partir de caractéristiques

## Questions type :

- Q5.1. Quel est le but de l'appariement des images ?
- Q5.2. Quelles sont les principales applications qui pourraient bénéficier de l'identification automatisée des points conjugués d'images qui se chevauchent ?
- Q5.3. Qu'entend-on par les termes suivants: forme de référence gabarit ?, fenêtre d'appariement, fenêtre de recherche, mesure de similarité, stratégie d'appariement ?
- Q5.4. Quelle est la base conceptuelle de l'appariement à corrélation croisée ?
- Q5.5. Quelle est la base conceptuelle de l'appariement par la méthode des moindres carrés ?
- Q5.6. Qu'entend-on par rééchantillonnage de l'image selon la géométrie épipolaire ?
- Q5.7. Expliquez de quelle manière l'appariement de l'image est simplifié par l'utilisation d'images rééchantillonnées selon la géométrie épipolaire.

Q5.8. Quelle est la base conceptuelle de l'appariement à partir de caractéristiques ?

Q5.9. Lequel des points suivants (c.a.d., le centre de la fenêtre donnée) pourrait être considéré un point d'intérêt ? Pourquoi ?

95	94	84		23	94	84
86	27	96	ou	34	27	96
100	97	87		36	22	25

Réponse :

La première fenêtre.

Q5.10. Quelles sont les deux principales catégories de techniques de détection des contours ? Discutez des avantages et inconvénients de ces catégories.

Q5.11. Pour obtenir un contour fin en utilisant un opérateur de détection des contours de première dérivée, la suppression des non-maxima est requise. Qu'entend-on par suppression des non-maxima ? (Expliquez votre réponse à l'aide d'une esquisse)

*Voir références essentielles ENGO 435, Chapitres 4 et 5; ENGO 531, Chapitre 3, ENGO 667, Chapitre 4*

6. En ce qui touche la génération d'orthophotos :

- Recalage, géocodage et orthorectification
- Outils nécessaires :
  - Transformation image-à-image (transformation directe et indirecte)
  - Rééchantillonnage de l'image
- Rectification polynomiale
- Rectification rigoureuse / différentielle
- Génération d'orthophotos vraies
  - Problème de double cartographie
  - Analyse de la visibilité
  - Génération d'orthophotos vraies: méthode de la mémoire de profondeur « Z-buffer »

Questions type :

Q6.1. Qu'entend-on par recalage de données ? Pourquoi est-ce une question importante ?

Q6.2. Quelles sont les caractéristiques et applications possibles d'une orthophoto ?

Q6.3. Quelles sont les différentes stratégies de rectification de l'image ? Faites un tableau des avantages et inconvénients de chaque méthode ?

Q6.4. Lors de la rectification de l'image, quelles sont les différences entre la transformation directe et la transformation indirecte ? Faites un tableau des avantages et inconvénients de chaque méthode ?

Q6.5. Quelles données d'entrée sont requises pour la génération d'une orthophoto par rectification polynomiale?

Q6.6. Quelles données d'entrée sont requises pour la génération d'une orthophoto par rectification différentielle?

- Q6.7. Énumérez les étapes requises pour la production d'une orthophoto par rectification différentielle ?
- Q6.8. Qu'entend-on par le problème de double cartographie lors de la génération d'orthophotos à partir d'images à grande échelle en zones urbaines ?
- Q6.9. Expliquez la base conceptuelle de l'utilisation de la mémoire de profondeur (z-buffer) lors de la génération d'orthophotos vraies.

*Voir références essentielles ENGO 435, Chapitre 5; ENGO 531, Chapitre 5; ENGO 667, Chapitre 4*

7. En ce qui touche la cartographie LIDAR :

- Principes LASER
- Principes LiDAR
- Équation LiDAR
- Sources d'erreurs (systématiques et aléatoires)
  - Assurance de qualité pour la cartographie par LiDAR
  - Contrôle de la qualité des données LiDAR
  - Segmentation de données LiDAR et extraction des caractéristiques
  - LiDAR versus systèmes photogrammétriques

Questions type :

- Q7.1. Quelles sont les composantes principales d'un système LiDAR ?
- Q7.2. Quels sont les facteurs principaux qui affectent la dimension de l'empreinte laser ?
- Q7.3. Qu'entend-on au niveau des spécifications suivantes et de leurs valeurs typiques au niveau des systèmes LiDAR commerciaux:
- a. Taux / fréquence de balayage,
  - b. Taux / fréquence des impulsions,
  - c. Distance à terre (Ground spacing),
  - d. Longueur d'ondes,
  - e. Diagramme de balayage, et
  - f. Divergence du faisceau ?
- Q7.4. Quelles erreurs systématiques peuvent se retrouver dans un système LiDAR ? Comment pouvez-vous atténuer l'impact de ces erreurs ?
- Q7.5. Quelle est la base conceptuelle du positionnement par point lors de l'utilisation d'un système LiDAR ?
- Q7.6. Quel est l'objectif principal de la segmentation des données LiDAR ?
- Q7.7. Quelles sont les solutions de segmentation applicables aux données LiDAR ? Élaborez sur les avantages et inconvénients de ces solutions.
- Q7.8. Comment pourriez-vous comparer l'image d'intensité générée par un système LiDAR à une image optique ?

- Q7.9. Quelles sont les principales différences entre les systèmes photogrammétriques et les systèmes LiDAR ?
- Q7.10. Quels sont les avantages principaux du LiDAR comparativement au système photogrammétrique ?
- Q7.11. Quels sont les avantages principaux d'un système photogrammétrique comparativement au LiDAR ?
- Q7.12. Dans un système photogrammétrique, la précision horizontale est supérieure à la précision verticale. Êtes-vous d'accord avec cet énoncé ? Pourquoi ?
- Q7.13. Dans un système LiDAR, la précision verticale est supérieure à la précision horizontale. Êtes-vous d'accord avec cet énoncé ? Pourquoi ?

*Voir références essentielles ENGO 435, Chapitre 3; ENGO 531, Chapitres 4 et 5; ENGO 667, Chapitre 4*