

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2026

Note au sujet de la propriété intellectuelle de l'examen de l'Ordre des ingénieurs du Québec (« l'Ordre »)

Cet examen est la propriété exclusive de l'Ordre et son utilisation est strictement limitée à des fins académiques et personnelles.

Toute reproduction, distribution ou utilisation commerciale non autorisée de cet examen constitue une violation de la propriété intellectuelle de l'Ordre et est strictement interdite.

L'Ordre se réserve le droit de prendre toutes les mesures légales appropriées contre toute utilisation non autorisée de son examen.

Toute documentation permise

Calculatrices : modèles autorisés seulement

Durée de l'examen : 3 heures

18-GE-B2

ÉCOGÉOLOGIE

Question 1 – Gestion des rejets miniers générateurs d'acide (25 points)

Une nouvelle mine de métaux de base située dans le Bouclier canadien prévoit extraire 50 millions de tonnes de minerai sur sa durée de vie. L'exploitation générera 15 millions de tonnes de stériles (waste rock), dont les tests démontrent qu'environ 35 % sont fortement générateurs d'acide. L'usine de traitement produira également 35 millions de tonnes de résidus miniers (tailings), qui sont considérés à 100 % comme générateurs d'acide. Le site présente une topographie modérée avec un aquifère superficiel fracturé.

a) Stratégie globale de gestion (4 points)

Proposez une stratégie de gestion globale des rejets (stériles et résidus) durant l'exploitation. Comment allez-vous gérer spécifiquement la portion de 35 % de stériles générateurs d'acide par rapport aux 65 % de stériles non générateurs d'acide afin d'optimiser la restauration future du site ?

b) Principes physico-chimiques de la restauration (12 points)

Pour le parc à résidus miniers (tailings), la conception doit empêcher la formation de drainage minier acide (DMA) à long terme. Décrivez **deux (2) méthodes distinctes** qui permettent d'atteindre cet objectif. Avant d'expliquer vos méthodes de restauration, donnez l'équation chimique générale de la formation du DMA (ou identifiez minimalement les réactifs et les produits clés de la réaction). Pour *chacune* des méthodes, expliquez en détail les principes physico-chimiques fondamentaux sur lesquels elle s'appuie pour interrompre les réactions menant à la création du DMA.

c) Rôle et impacts de la végétalisation (5 points)

Expliquez le rôle général de la végétalisation lors de la restauration minière. Ensuite, décrivez quel pourrait être l'impact (positif ou négatif) de l'établissement d'un couvert végétal sur les méthodes de restauration physiques que vous avez proposées.

d) Contrôle et suivi environnemental (4 points)

Conformément aux bonnes pratiques et aux principes d'évaluation et de restauration environnementale, décrivez brièvement les mesures de contrôle des effluents à mettre en place en cours d'exploitation. Ensuite, détaillez deux (2) éléments clés du programme de suivi environnemental qui devra être maintenu après la fermeture.

Question 2 – Inondations, cartographie et érosion (15 points)

Mise en situation :

Un développement résidentiel est prévu sur une terrasse fluviale. La station de pompage sanitaire de ce nouveau quartier aura une durée de vie utile de 50 ans. La rivière adjacente présente un lit principal et une plaine inondable, avec un méandre prononcé dont la rive concave montre des signes critiques d'instabilité.

a) Période de retour (5 points)

La municipalité exige que le risque que la station de pompage subisse *au moins une* inondation majeure durant sa durée de vie utile (50 ans) ne dépasse pas 15 % ($P \leq 0,15$). Calculez la période de retour minimale T de la crue pour laquelle les digues de protection de la station doivent être dimensionnées afin de respecter ce critère. Montrez les étapes de votre calcul.

b) Cartographie des zones inondables (5 points)

Lors d'une modélisation de crue de récurrence 100 ans, l'eau déborde du lit principal pour inonder la terrasse où le développement résidentiel est prévu. Sur cette terrasse spécifique, la largeur d'écoulement est de 100 m et la profondeur moyenne de l'eau est mesurée à 1,2 m. Le modèle indique que la portion du débit transitant spécifiquement sur cette terrasse est de $180 \text{ m}^3/\text{s}$.

Décrivez les trois grandes étapes méthodologiques (hydrologie, topographie, hydraulique) nécessaires pour passer de données de débit (m^3/s) à une ligne d'inondation sur une carte.

c) Contrôle de l'érosion (5 points)

1. Quelle force géomorphologique explique que l'érosion soit concentrée sur la rive *concave* du méandre ?
2. On propose une solution de stabilisation combinant une protection mécanique et la végétalisation sur le talus. Décrivez une solution pour la protection mécanique. Expliquez précisément le rôle physique de ces deux interventions.

Question 3 – Processus d'évaluation environnementale (15 points)

Mise en situation :

On projette la construction d'une nouvelle autoroute de contournement de 25 km. Le tracé traverse d'importantes tourbières (milieux humides protégés) et passe à 2 km d'un secteur résidentiel calme. Le projet est assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement.

a) Le cadrage et la participation publique (3 points)

Quel est l'objectif principal de l'étape du cadrage (scoping) ? Pourquoi inclure des consultations publiques dès cette étape ?

b) Détermination de l'importance des impacts (6 points)

L'importance d'un impact se détermine souvent selon trois critères : **l'intensité, l'étendue et la durée**. En utilisant ces critères, évaluez et justifiez le niveau d'importance (Mineur, Moyen ou Majeur) pour :

1. La destruction permanente de 15 hectares de tourbières.
2. Le bruit généré par la machinerie lourde pendant les 2 ans de construction pour le secteur résidentiel.

c) Hiérarchie des mesures d'atténuation (3 points)

Appliquez la séquence **Éviter, Réduire, Compenser** au problème de l'impact de l'autoroute sur les tourbières en donnant un exemple concret d'action pour chacun de ces trois niveaux.

d) Surveillance vs suivi environnemental (3 points)

Définissez la différence fondamentale entre la *surveillance* environnementale et le *suivi* environnemental dans le contexte de ce projet.

Question 4 – Disposition des déchets et considérations environnementales (15 points)

Mise en situation :

Un ingénieur géologue agit à titre de consultant pour évaluer les méthodes de disposition de déchets régionaux. Il doit évaluer deux options distinctes : l'implantation d'un nouveau lieu d'enfouissement technique (LET) pour les déchets solides municipaux en surface, et l'utilisation de puits profonds (deep well injection) pour des résidus industriels liquides.

a) Critères de sélection pour l'enfouissement sanitaire (6 points)

Identifiez et expliquez trois (3) caractéristiques géologiques, hydrogéologiques ou topographiques idéales recherchées lors de la sélection d'un site pour un lieu d'enfouissement de déchets solides municipaux afin de minimiser les risques de contamination.

b) Ingénierie d'un lieu d'enfouissement technique (5 points)

Décrivez deux (2) composantes techniques obligatoires d'ingénierie (systèmes de contrôle ou de confinement) qui doivent être construites dans un LET moderne pour protéger l'environnement.

c) Disposition par puits profonds (4 points)

L'injection de liquides toxiques en puits profonds exige des conditions lithologiques très strictes. Décrivez les deux (2) types de formations géologiques (la zone réceptrice et la roche couverture) absolument nécessaires pour confiner les fluides injectés en toute sécurité, en précisant leurs propriétés de porosité et de perméabilité.

Question 5 – Analyse quantitative du risque géologique (AQR) (30 points)

Mise en situation :

Une petite station de contrôle (bâtiment) d'une usine de traitement des eaux est située au pied d'un versant montagneux abrupt. Une étude géomorphologique historique indique que ce versant génère périodiquement des glissements de terrain. L'analyse fréquentielle a permis de modéliser deux scénarios distincts :

- **Scénario A (Glissement de petit volume) :**
 - Fréquence de l'aléa (f) : 0,5 par année.
 - Probabilité spatiale que les débris atteignent le bâtiment (P_s) : 0,40.
 - Vulnérabilité des occupants si le bâtiment est touché (V) : 0,20.
- **Scénario B (Glissement de grand volume) :**
 - Fréquence de l'aléa (f) : 0,05 par année.
 - Probabilité spatiale que les débris atteignent le bâtiment (P_s) : 0,90.
 - Vulnérabilité des occupants si le bâtiment est touché (V) : 0,80.

Présence temporelle des occupants :

Le bâtiment est occupé 365 jours par année par des opérateurs répartis sur deux quarts de travail :

- **Quart de jour** : De 08h00 à 16h00 (soit 8 heures par jour). **2 travailleurs** sont présents simultanément.
- **Quart de nuit** : De 16h00 à 08h00 (soit 16 heures par jour). **4 travailleurs** sont présents simultanément.

a) Calcul des probabilités de présence temporelle (6 points)

Calculez la probabilité de présence temporelle (P_T) pour un travailleur du quart de jour, puis pour un travailleur du quart de nuit.

b) Tableau d'analyse des conséquences (16 points)

Reproduisez et complétez le tableau d'analyse suivant dans votre cahier. Vous devez calculer, pour chaque combinaison Scénario-Quart, le risque individuel (R_{ind}) pour un occupant, ainsi que le risque sociétal (Espérance de perte de vie ou PLL) attribuable à ce scénario.

<i>Scénario - Quart</i>	<i>f</i>	<i>P_S</i>	<i>P_T</i>	<i>P (Nb de pers.)</i>	<i>V</i>	<i>Risque Individuel (Rind)</i>	<i>PLL du scénario</i>
<i>A - Jour</i>							
<i>A - Nuit</i>							
<i>B - Jour</i>							
<i>B - Nuit</i>							

c) Risque sociétal total et tolérance (8 points)

Calculez la valeur totale de l'espérance de perte de vie annuelle pour ce bâtiment. Si la norme de l'industrie stipule que le risque de décès pour un travailleur individuel doit absolument être inférieur à 10^{-4} par année, le site actuel respecte-t-il cette norme ? Concluez.