

Indicateurs Importants à Analyser et Travailler

1. Indicateurs de Fracturation

1.1 Densité de Fractures

Définition: Nombre de fractures par unité de longueur (fractures/mètre)

Source: fracturation – Feuille 1.csv

Variables clés:

- **densité (fract/m)**: Densité calculée par segment
- **fracturation (fract/km)**: Densité normalisée par kilomètre

Intérêt: La densité de fractures est directement corrélée à la susceptibilité aux éboulements. Plus la densité est élevée, plus le risque d'instabilité de la falaise est important.

Valeurs observées:

- Minimum: 0,0167 fractures/m (16,67 fract/km)
- Maximum: 0,133 fractures/m (133,33 fract/km)

Analyse recommandée:

- Cartographie de la densité de fractures par cellule hydrosédimentaire
- Corrélation avec la fréquence des éboulements
- Identification des zones à haute densité nécessitant une surveillance renforcée

1.2 Espacement entre Fractures

Définition: Distance moyenne entre deux fractures consécutives (mètres)

Variables clés:

- **Espacement petit (m)**: Distance minimale observée
- **Espacement grand (m)**: Distance maximale observée

Intérêt: L'espacement entre fractures influence la taille potentielle des blocs susceptibles de se détacher. Un espacement plus petit indique une fracturation plus intense et donc une instabilité accrue.

Valeurs observées:

- Espacement petit: 5 à 70 mètres
- Espacement grand: 10 à 70 mètres

Analyse recommandée:

- Calcul de l'espacement moyen par segment
- Relation entre espacement et volume des éboulements
- Évolution temporelle de l'espacement (si données disponibles)

1.3 Type de Fracture

Définition: Classification morphologique des fractures

Types identifiés:

- **TFT** (Fractures Transversales au Front de Taille): Fractures perpendiculaires au front de falaise
- **MFT** (Fractures Multiples au Front de Taille): Réseau de fractures complexe et multidirectionnel

Intérêt: Le type de fracture influence le mécanisme de rupture. Les TFT favorisent les éboulements en blocs, tandis que les MFT peuvent générer des éboulements plus fragmentés.

Analyse recommandée:

- Distribution spatiale des types de fractures
 - Corrélation type de fracture / type d'éboulement
 - Analyse de la dangerosité relative par type
-

2. Indicateurs d'Éboulements

2.1 Fréquence Temporelle des Éboulements

Définition: Nombre d'événements d'éboulement par unité de temps

Source: [eboulements.csv](#) et [resume_Evolution_Cap_Le_Treport_2000-2022.csv](#)

Variables clés:

- **annee**: Année de l'événement
- **annee_dig**: Année de numérisation
- **annee_evac**: Année d'évacuation des matériaux

Intérêt: La fréquence des éboulements permet d'identifier les périodes de forte activité érosive et d'établir des tendances temporelles.

Périodes documentées:

- Événements historiques: 1947, 1977, 1978, 1982, 1985, 1992
- Période récente: 2000-2022
- Pics d'activité: 2008-2012

Analyse recommandée:

- Calcul du taux annuel d'éboulements par cellule
- Identification des tendances (augmentation, stabilisation, diminution)
- Corrélation avec facteurs météorologiques (si données disponibles)
- Analyse de la saisonnalité des événements

2.2 Surface Affectée par les Éboulements

Définition: Superficie totale des zones d'éboulement (m^2)

Variable clé:

- **shape_area**: Surface en mètres carrés

Intérêt: La surface affectée permet d'évaluer l'ampleur de l'érosion et de calculer les volumes de matériaux mobilisés.

Analyse recommandée:

- Calcul de la surface cumulée par cellule et par période
- Évolution temporelle de la surface moyenne par événement
- Identification des événements majeurs (surface > seuil critique)
- Estimation du recul moyen de la falaise

2.3 Périmètre d'Éboulement

Définition: Longueur du contour de la zone d'éboulement (mètres)

Variable clé:

- **shape_leng**: Périmètre en mètres

Intérêt: Le périmètre, combiné à la surface, permet de caractériser la forme des éboulements (allongés vs compacts) et d'identifier les mécanismes de rupture.

Analyse recommandée:

- Calcul de l'indice de compacité ($4\pi \times \text{surface} / \text{périmètre}^2$)
- Relation entre forme et type de fracture
- Identification des morphologies caractéristiques

2.4 État d'Évacuation

Définition: Statut de l'évacuation des matériaux éboulés

Modalités:

- "pas encore evacué": Matériaux encore présents au pied de falaise
- Année précise: Année d'évacuation des matériaux
- "impossible a dire car eboulements par dessus": Événements multiples superposés

Intérêt: L'état d'évacuation influence la protection naturelle au pied de falaise. Les matériaux non évacués peuvent offrir une protection temporaire contre l'érosion marine.

Analyse recommandée:

- Cartographie des zones avec matériaux non évacués
- Analyse du rôle protecteur des éboulis
- Planification des opérations d'évacuation prioritaires

3. Indicateurs Lithologiques

3.1 Type de Formation Géologique

Définition: Nature de la roche affleurante

Source: [litho-additional-info.csv](#)

Formations identifiées:

- **Cénomanien** (Crétacé inférieur)
- **Turonien** (Crétacé moyen)
- **Coniacien** (Crétacé moyen)
- **Santonien** (Crétacé supérieur)
- **Campanien** (Crétacé supérieur)

Intérêt: Chaque formation a des propriétés mécaniques et une résistance à l'érosion différentes. La lithologie est un facteur déterminant dans la vitesse de recul de la falaise.

Analyse recommandée:

- Corrélation lithologie / fréquence d'éboulements
- Corrélation lithologie / densité de fractures
- Identification des formations les plus vulnérables
- Cartographie des zones à risque selon la lithologie

3.2 Longueur d'Affleurement

Définition: Étendue linéaire de chaque formation le long du littoral (mètres)

Variable clé:

- **length:** Longueur en mètres

Intérêt: Permet de quantifier l'exposition de chaque formation et de prioriser les zones selon leur vulnérabilité lithologique.

Distribution observée:

- Cénomanien: ~26 600 m
- Turonien: ~147 200 m
- Coniacien: ~231 100 m
- Santonien: ~215 700 m
- Campanien: ~36 000 m

Analyse recommandée:

- Calcul du ratio surface éboulée / longueur d'affleurement par formation
- Identification des formations prioritaires pour la surveillance

4. Indicateurs Spatiaux

4.1 Cellule Hydrosédimentaire

Définition: Découpage du littoral en unités fonctionnelles homogènes

Source: resume_Cellules_Hydrosédimentaires_France.csv

Cellules de la zone d'étude:

1. Cap d'Antifer – Fécamp (29 km)
2. Fécamp – Paluel (22 km)
3. Paluel – St-Valéry-en-Caux (11 km)
4. St-Valéry-en-Caux – Dieppe (36 km)
5. Dieppe – Penly (20 km)
6. Penly – Le Tréport (22 km)

Longueur totale: 140 km

Intérêt: Les cellules permettent une analyse comparative et une gestion différenciée du risque selon les secteurs.

Analyse recommandée:

- Calcul d'indicateurs synthétiques par cellule:
 - Densité moyenne de fractures
 - Fréquence d'éboulements
 - Surface totale érodée
 - Taux de recul annuel moyen
- Classement des cellules par niveau de risque
- Priorisation des actions de surveillance et de protection

4.2 Localisation Géographique Précise

Définition: Coordonnées planimétriques de chaque événement ou segment

Variables clés:

- **x:** Coordonnée X (Lambert 93)
- **y:** Coordonnée Y (Lambert 93)

Intérêt: Permet la cartographie fine des phénomènes et l'analyse spatiale (autocorrélation, clusters, etc.)

Analyse recommandée:

- Cartographie SIG de tous les événements
- Analyse de l'autocorrélation spatiale des éboulements
- Identification de points chauds (hotspots)
- Création de zones tampons autour des événements majeurs

5. Indicateurs Composites Recommandés

5.1 Indice de Vulnérabilité Multi-critères

Définition: Indicateur synthétique combinant plusieurs facteurs de risque

Composantes suggérées:

- Densité de fractures (poids: 30%)
- Fréquence d'éboulements (poids: 30%)
- Type de lithologie (poids: 20%)
- Surface moyenne des éboulements (poids: 20%)

Méthode de calcul:

$$\text{IVM} = 0,30 \times \text{Densité_norm} + 0,30 \times \text{Fréquence_norm} + 0,20 \times \text{Litho_score} + 0,20 \times \text{Surface_norm}$$

Intérêt: Permet un classement objectif des secteurs et une communication efficace du risque.

5.2 Taux de Recul de la Falaise

Définition: Vitesse moyenne de recul du trait de côte (m/an)

Méthode de calcul:

$$\text{Taux_recul} = \sum \text{Surface_éboulements} / (\text{Longueur_falaise} \times \text{Période_observation})$$

Intérêt: Indicateur essentiel pour les projections à long terme et l'aménagement du territoire.

5.3 Indice de Concentration Temporelle

Définition: Mesure de la régularité ou de l'irrégularité des événements dans le temps

Méthode de calcul: Coefficient de variation de Gini sur la distribution temporelle

Intérêt: Permet d'identifier si les éboulements se produisent de manière régulière ou par épisodes concentrés (crises érosives).

6. Priorités d'Analyse

Phase 1: Analyse Descriptive

1. Statistiques descriptives par cellule et par indicateur
2. Cartographie thématique de tous les indicateurs
3. Séries temporelles des éboulements (2000-2022)

Phase 2: Analyse Exploratoire

1. Matrices de corrélation entre indicateurs
2. Analyse de clusters spatiaux (zones homogènes)
3. Tests statistiques de tendances temporelles

Phase 3: Modélisation

1. Modèle de prédition de la fréquence d'éboulements
2. Modèle de susceptibilité spatiale
3. Scénarios prospectifs de recul de falaise

Phase 4: Aide à la Décision

1. Cartographie des zones prioritaires d'intervention
 2. Système d'alerte précoce
 3. Recommandations pour la gestion du risque
-

7. Données Complémentaires Nécessaires

Pour une analyse complète, il serait pertinent d'intégrer:

1. **Données météorologiques:** Précipitations, tempêtes, gel-dégel (influence sur la fracturation)
 2. **Données marégraphiques:** Niveaux d'eau, hauteur de houle (érosion marine au pied)
 3. **Données démographiques:** Population exposée, infrastructures critiques
 4. **Données historiques étendues:** Photographies aériennes anciennes, cartes topographiques
 5. **Données géotechniques:** Essais mécaniques sur les roches, propriétés hydrauliques
-

Conclusion

Les indicateurs présentés constituent une base solide pour l'analyse du risque d'éboulement des falaises normandes. L'approche recommandée combine:

- **Analyse multi-échelle:** du segment local (quelques dizaines de mètres) à la cellule hydrosédimentaire (plusieurs dizaines de kilomètres)
- **Approche multifactorielle:** intégration des facteurs lithologiques, structuraux, morphologiques et temporels
- **Vision dynamique:** prise en compte de l'évolution temporelle des phénomènes

La mise en œuvre de cette analyse permettra d'améliorer significativement la gestion du risque côtier dans cette région à fort enjeu patrimonial et humain.