

Base de données

1. Marées

- période : La plage de dates des mesures.
- nb_points : Le nombre total de mesures de marée collectées.
- jours_disponibles : Le nombre de jours pour lesquels les données de marée étaient disponibles.
- marnage_moy_m : Le marnage moyen (différence entre la haute mer et la basse mer) en mètres.
- marnage_max_m : Le marnage maximal observé durant la période (marées de vives-eaux exceptionnelles).
- marnage_min_m : Le marnage minimal observé (marées de mortes-eaux).
- marnage_std_m : L'écart-type du marnage. Une valeur élevée signifie une grande variabilité de l'amplitude des marées.
- jours_marnage>8m : Nombre de jours où le marnage a dépassé 8 mètres (indiquant des périodes de fortes marées de vives-eaux).
- jours_marnage>9m : Nombre de jours où le marnage a dépassé 9 mètres (indiquant des périodes de très fortes marées).
- IAI (Integrated Amplitude Index) : Intensité cumulée du marnage sur la période. L'IAI mesure la force globale du marnage (variation du niveau de la mer entre marée haute et marée basse) intégrée sur une période donnée. Concrètement, il correspond à la somme des amplitudes de marée sur toute la période étudiée. Plus l'IAI est élevé, plus les variations du niveau de la mer ont été importantes et fréquentes.

2. État de la mer

- période : La plage de dates des mesures.
- nb_points : Le nombre total de mesures de l'état de la mer.
- hs_moy : Hauteur significative moyenne des vagues (H_s) en mètres. C'est la moyenne du tiers supérieur des vagues, ce qui correspond le mieux à ce qu'un observateur humain percevait.
- hs_max : La hauteur significative maximale enregistrée durant la période (pic de tempête).
- hs_mediane : La valeur médiane de la hauteur significative (50% des vagues sont plus hautes, 50% sont plus basses).
- t02_moy : Période moyenne des vagues (T_{02}) en secondes. C'est le temps moyen entre deux crêtes de vagues. Une période plus longue est souvent associée à une houle plus énergétique.
- t02_max : La période maximale enregistrée.
- energie_moy_Jm2 : L'énergie moyenne des vagues par mètre carré (en Joules/m²). Elle est proportionnelle au carré de la hauteur des vagues (H_s^2).
- energie_cumulee_Jm2 : L'énergie totale cumulée des vagues sur toute la période.
- jours_houle>3m : Nombre de jours où la hauteur significative (hs) était supérieure à 3 mètres (forte houle / tempête).

- jours_houle>4m : Nombre de jours où la hauteur significative (hs) était supérieure à 4 mètres (très forte houle / tempête majeure).
- houles_ouest : Le pourcentage de temps où la houle provenait du secteur Ouest. C'est crucial pour savoir si la houle frappe la côte de face (exposition).
- dir_moy_deg : La direction moyenne d'où viennent les vagues, en degrés (par rapport au Nord).
- IFM : L'Indice de Forçage Marin (IFM) représente la puissance moyenne de la mer sur une période, en combinant l'énergie totale des vagues et la fréquence des fortes houles. Il est sans unité, car il résulte d'un logarithme de valeurs normalisées, plus l'IFM est élevé, plus la mer a été énergique et érosive.
- indice_extreme : Un indice composite conçu pour mesurer spécifiquement l'intensité des événements extrêmes (tempêtes).

3. Météo

Pluie

- pluie_cum_mm : La quantité totale de pluie tombée sur la période (en mm).
- jours_pluie : Nombre de jours où il a plu.
- jours_forte_pluie : Nombre de jours avec des précipitations dépassant un certain seuil.
- max_pluie_jour : Le record de pluie tombée en 24h.
- nb_seq_pluie_3j : Nombre de fois où il a plu au moins 3 jours d'affilée (important pour la saturation des sols).
- max_cum_pluie_5j : Le record de pluie cumulée sur une période de 5 jours.
- nb_seq_seche_10j : Nombre de périodes d'au moins 10 jours sans pluie (important pour l'assèchement et la rétractation des argiles).
- pluie_95p : Le 95ème percentile de la pluie. C'est le seuil des pluies "extrêmes" (seuls 5% des jours de pluie sont supérieurs à cette valeur).
- pluie_extreme_ratio : Ce ratio est un indicateur de l'intensité et de la régularité du climat. Un ratio élevé (proche de 1) signifie que la quasi-totalité de la pluie tombe lors de quelques orages violents ou tempêtes. Le reste du temps, il pleut peu ou pas. Un ratio faible signifie que la pluie est répartie de manière plus homogène tout au long de l'année.

Température et Gel

- jours_gel : Nombre de jours où la température minimale est descendue en dessous de 0°C.
- jours_tres_chauds : Nombre de jours où la température maximale a dépassé 25°C.
- jours_gel_degel : Nombre de jours avec à la fois $T^{\circ} \text{ min} < 0^{\circ}\text{C}$ et $T^{\circ} \text{ max} > 1^{\circ}\text{C}$. C'est un indicateur crucial pour l'érosion (l'eau gèle dans les fissures la nuit et dégèle le jour, fracturant la roche : *gélifraction*).
- nb_seq_gel_3j : Nombre de périodes d'au moins 3 jours de gel consécutifs.
- plus_longue_serie_gel_consecutif : La durée maximale (en jours) d'une période de gel ininterrompue.
- nb_seq_gel_degel_rapide : Nombre de séquences rapides de gel/dégel tel que : $T^{\circ} \text{ min} < 0^{\circ}\text{C}$ et $T^{\circ} \text{ max} > 5^{\circ}\text{C}$.

- T_ampli_95p : Le 95ème percentile de l'amplitude thermique journalière (différence T° max - T° min).
- nb_jours_ampli_sup_10 : Nombre de jours où l'amplitude thermique a dépassé 10°C.

Vent

- vent_moy_kmh : Vitesse moyenne du vent (km/h).
- jours_vent_fort_60 : Nombre de jours avec un vent moyen > 60 km/h.
- jours_tempete_80 : Nombre de jours avec un vent > 80 km/h.
- rafale_max_kmh : La rafale de vent maximale enregistrée.
- nb_tempetes_consecutives : nombre de jours où il y a eu deux tempêtes.
- plus_longue_serie_tempete_consecutive: plus longue série de tempêtes.
- energie_vent_cumulee : Énergie totale cumulée par le vent (en (km/h)^2).
- nb_jours_vent_dir_Ouest : Nombre de jours où le vent venait de l'Ouest (souvent corrélé aux tempêtes et à la houle).
-

Pression Atmosphérique

- pression_moy_hpa : Pression atmosphérique moyenne (Hectopascals).
- jours_basse_pression : Nombre de jours où la pression était basse (associé aux dépressions et tempêtes).
- pression_min_hpa : La pression la plus basse enregistrée (creux de tempête).
- max_drop_pression_24h : La chute de pression la plus rapide en 24h (signe d'une tempête se creusant rapidement).
- pression_std_hpa : Écart-type de la pression (variabilité).
- nb_jours_depression : Compte le nombre de jours où la pression moyenne de la journée est inférieure à $P < 985$ hPa
- nb_seq_depression_3j : Nombre de périodes d'au moins 3 jours de dépression consécutives.
- nb_jours_pmermin : Compte le nombre de jours où la pression minimale instantanée de la journée est passée sous le seuil $P < 985$ hPa.

Humidité

- humidite_moy_pct : Humidité relative moyenne (en pourcentage).
- jours_humide_90 : Nombre de jours où l'humidité a dépassé 90%.
- nb_seq_humide_3j : Nombre de périodes d'au moins 3 jours très humides (seuil de 90%).
- U_95p : 95ème percentile de l'humidité.

Indicateurs Combinés (Critiques)

- jours_pluie_et_vent_fort : Jours combinant pluie (saturation) et vent fort (poussée sur la falaise, action sur les vagues). Formule : pluie > 5 mm & vent > 60 km/h
- pluie_apres_gel : Événements de pluie survenant juste après un gel (très déstabilisant). Formule : pluie > 1mm
- tempete_apres_pluie : Événements de tempête survenant après une forte pluie (falaise saturée d'eau + attaque des vagues). Formule : pluie > 10mm jours précédents et vent > 80 km/h
- nb_combinaisons_critiques : Compteur total d'événements combinant plusieurs facteurs de risque.

4. Croisements météo, marnage et état de la mer

- Run-up vertical :

L'indicateur de run-up vertical en mètres R2% représente la hauteur atteinte par les 2 % des vagues les plus hautes, il est calculé à partir des paramètres de houle significative Hs et de période Tp. Le calcul repose sur la formulation empirique de Stockdon et al. (2006) (voir bibliographie page 586 (14 dans les données) de la thèse):

$$R2\% = 1.1 \times [0.35Bf \times \sqrt{HoLo} + 0.5 \times \sqrt{HoLo \times (0.563)^2 + 0.004}]$$

- βf la pente moyenne de l'avant-plage c'est la tangente de la pente du rivage.
- $Ho=Hs$ représente la hauteur significative moyenne de la houle (en mètres).
- $Tp=t02$ la période moyenne de la houle (en secondes), utilisée comme approximation de la période de pic.
- La longueur d'onde (en mètres) en eau profonde est donnée par : $Lo = \frac{gTp^2}{2\pi}$

- Surcote météorologique :

La surcote représente l'élévation temporaire du niveau de la mer causée par les conditions atmosphériques (vent fort et pression atmosphérique basse) s'ajoutant à la marée astronomique.

Elle correspond à la différence entre le niveau d'eau observé et le niveau de marée prévu.

La surcote peut être estimée empiriquement à partir de la pression et du vent selon une approche simplifiée (Pugh & Woodworth, *Sea-Level Science*, 2014) :

$$surcote = 0.01 \times (1013 - P) + k \times U^2$$

- P = pression atmosphérique (en hPa).
- U = vitesse du vent (en m/s).
- k = coefficient d'amplification lié à la configuration côtière (généralement compris entre 0,0001 et 0,0002 pour les côtes ouvertes). On a choisi k = 0.0002 dans nos calculs pour l'instant.

L'effet de pression traduit que 1 hPa de baisse élève le niveau de la mer d'environ 1 cm ("effet barométrique inverse"), tandis que le vent pousse l'eau vers la côte, créant une accumulation locale.

- TWL signifie Total Water Level

C'est le niveau total d'eau à un instant donné, qui combine toutes les composantes contribuant à l'élévation du niveau marin au rivage :

$$TWL = marnage/2 + surcote + R2$$

- Marnage/2 : variation régulière
- Surcote : élévation temporaire liée à la pression atmosphérique basse et au vent lors de tempêtes.
- Run-up vertical : élévation supplémentaire due à la houle qui déferle et monte sur la plage ou la falaise (setup + swash).

Cet indicateur permet d'estimer la contribution de l'état de mer à l'élévation totale du niveau marin (TWL = marée + surcote + run-up) et donc d'évaluer la capacité des vagues à atteindre ou impacter le pied de falaise.

5. Lithologie

- formation : Le nom de la formation géologique (Cénomanién, Turonien, ...). C'est le type de roche (craie, marne, etc.) qui compose la falaise.
- color : Une couleur assignée pour la cartographie (pas un indicateur analytique).
- length : La longueur du segment de côte (probablement en mètres) couvert par cette formation géologique.
- centroid_x / centroid_y : Coordonnées géographiques du centre de ce segment de côte.

6. Fracturation (*Genter_et_al_2004_fracturation*)

- N°cellule hydrosédimentaire : Numéro d'identification d'un secteur de côte (où les sédiments et l'eau circulent de manière cohérente).
- taille cellule hydrosédimentaire (km) : Longueur totale de cette cellule.
- segment précis (repères géographiques) : Les noms des lieux délimitant le segment étudié (ex: Cap d'Antifer – Le Tilleul).
- longueur du segment (km) : Longueur de ce segment spécifique.
- type de fractures (MFT ou TFT) : Catégorisation des fractures (par exemple, MFT pourrait être Méga-Faille Transversale). Cela indique le type de discontinuité dans la roche.
- espacement petit (m) / Espacement grand (m) : L'intervalle (minimum et maximum) de l'espacement moyen entre les fractures, en mètres. Un espacement plus faible signifie plus de fractures.
- densité (fract/m) : Densité de fractures (nombre de fractures par mètre).
- fracturation (fract/km) : Densité de fractures (nombre de fractures par kilomètre).

7. Géomorphologie (*Letortu_et_al_2025_geomorphologie*)

- Sous-cellule hydro-sédimentaire : Nom du segment de côte (ex: Cap d'Antifer – Fécamp).
- Distance moyenne de recul (1947–2013) : La distance moyenne (en mètres) dont la falaise a reculé entre 1947 et 2013.
- Durée (ans) : La période d'observation (66 ans).
- Taux de recul (m/an) : La vitesse moyenne de l'érosion (Distance / Durée). C'est une mesure de l'aléa érosion sur le long terme.

- Interprétation : Une description qualitative de ce taux