



Identification et cartographie des aléas liés aux talus et falaises du littoral de Loire-Atlantique

Présentation du 02/06/2015

Emmanuelle Plat - BRGM, SGR/PAL

Le Brgm en bref

- > Le **BRGM** est l'établissement public spécialiste des applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol

- > Son **statut** : Etablissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle ministérielle
 - Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche
 - Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
 - Ministre du Redressement productif

- > **OBJECTIFS**
 - Comprendre les phénomènes géologiques, développer des méthodologies et des techniques nouvelles, produire et diffuser des données pertinentes et de qualité
 - Mettre à disposition les outils nécessaires à la gestion du sol, du sous-sol et des ressources, à la prévention des risques naturels et des pollutions, aux politiques publiques d'aménagement du territoire

Problématique des falaises côtières

> Principaux types d'action affectant les falaises côtières

- Recul par à coup du pied de falaise sapé par les vagues (falaises vives)
=> origine marine prédominante
- Recul par glissement ou éboulements successifs de falaises instables (toutes les falaises côtières)
=> origine continentale prédominante

> Phénomènes affectant les falaises

- Eboulement
- Glissements
- Ravinement



Recul des falaises

> Aléa mouvements de terrain

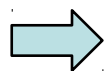
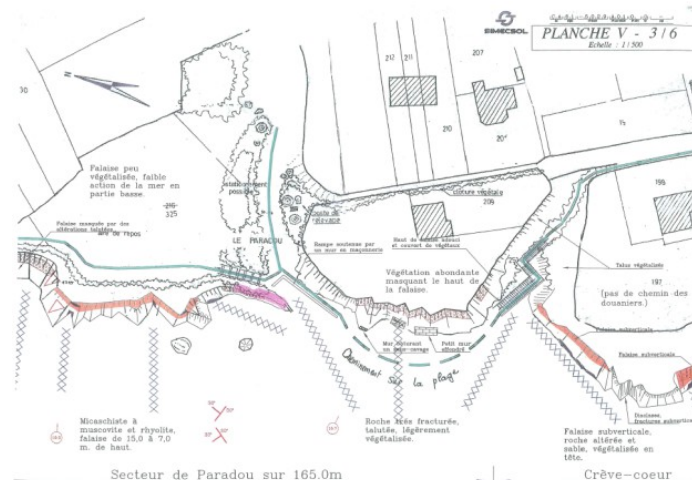
/ aléa recul des falaises



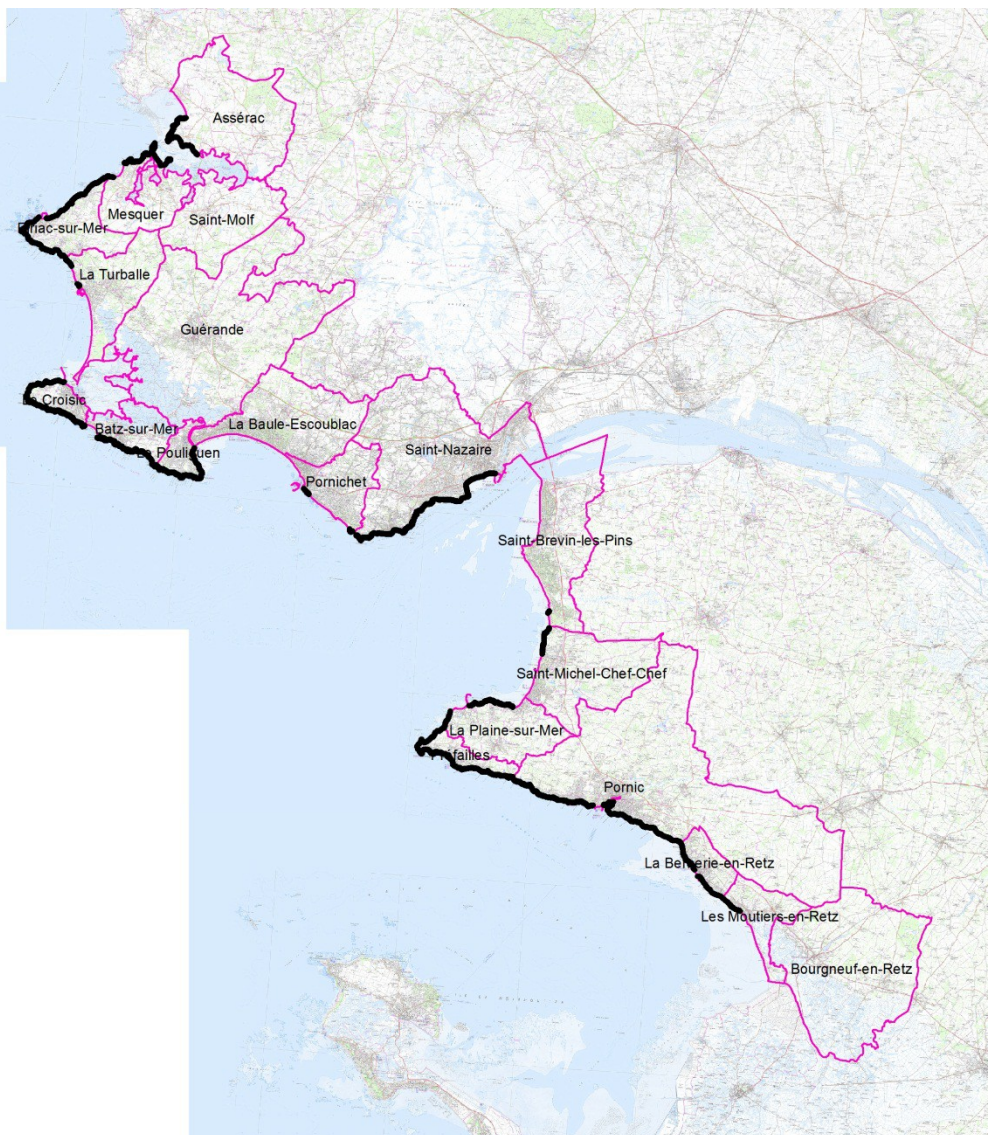
MÉTHODOLOGIE ET EXEMPLE

Bilan des connaissances

- > **Atlas des cotes de Loire-Atlantique (1991) sur support papier (1/50 000)**
- > **Etudes de bureaux d'étude**
 - Etude SOGREAH (2010)
 - Etude SIMECSOL (2000)
- > **BD MVT**
- > **Articles scientifiques**
- > **Rapports BRGM**
- > **Photographies aériennes (1950-1960)**
- > **Orthophotographies (1950-1977-1999-2004-2009)**
- > **LITTO3D**
- > **Informations géologiques (carte géologique, notice...)**
- > **Enquête communale**
 - Connaissance de mouvements de terrain
 - Interventions sur littoral (sentier côtier, constructions, etc.)
- > **Fiche tempête**



Zones cibles de l'étude



> **16 communes concernées**

Secteur 1 : Baie de Pont-Mahé –
Traict de Pen-Bé :

Asserac, Mesquer et Piriac-sur-Mer

Secteur 2 : Presqu'île

Guérandaise-Saint-Nazaire :

La Turballe, Le Croisic, Batz-sur-Mer, Le Pouliguen, Pornichet et Saint-Nazaire

Secteur 3 : Côte de Jade :

Saint-Brévin-les-Pins, Saint-Michel-chef-chef, La Plaine-sur-Mer et Préfaïlles

Secteur 4 : Baie de Bourgneuf
Nord :

Pornic, La Bernerie-en-Retz, Les Moutiers-en-Retz et Bourgneuf-en-Retz

Traitement de la LITTO3D

➤ Développement d'une méthodologie de calcul des hauteurs et des pentes de falaises

LITTO3D → Zones de pentes et altitudes

Hauteurs des falaises (pas de 5 m)

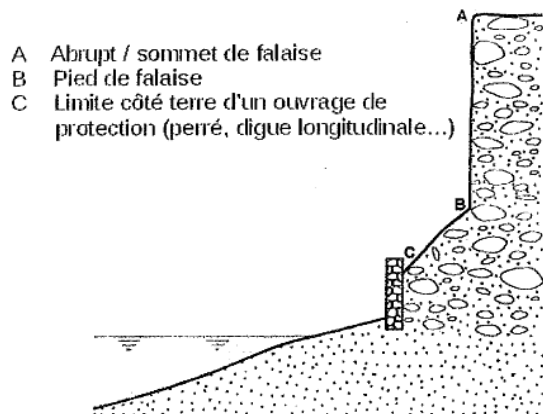


Traitement des orthophotographies

> Détermination du recul de falaise <> recul trait de cote

> Choix d'indicateurs de falaises

- Pied ou nez de falaise → chaque fois que possible
- Limite végétation

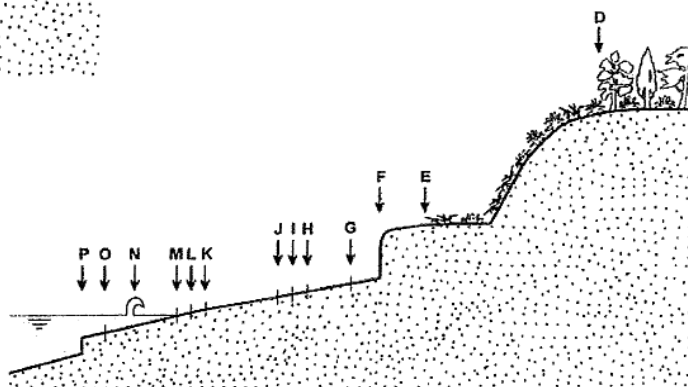


- A Abrupt / sommet de falaise
- B Pied de falaise
- C Limite côté terre d'un ouvrage de protection (perré, digue longitudinale...)

- D Limite côté mer d'une végétation arbustive établie (stable) sur une dune
- E Limite côté mer de végétation dunaire
- F Talus d'érosion
- G Ligne de débris (trace de tempête passée)
- H Trace d'un ancien très eau niveau de la mer
- I Ligne atteinte par un précédent niveau de pleine mer ou
- J Ligne correspondant à l'altitude d'une pleine mer moyenne (référence aux niveaux de marée)
- K Limite mouillé/sec ou de run-up maximum
- L Résurgence d'eau sur la plage

Source :
Boak and
Tuner, 2005

- M Ligne atteinte par l'eau (mesure instantanée)
- N Ligne du dernier gros déferlement au rivage
- O Ligne correspondante à l'altitude d'une basse mer moyenne (référence aux niveaux de marée)
- P Rupture de pente de la plage sous-marine ou talus pré-littoral



Traitement des orthophotographies

> Différents tests méthodologiques réalisés

- Echelle de lever
- Précision
- Calage des orthophotographies

> Validation sur quelques secteurs tests

- Obligation de vérifier le calage des orthophotographies
- Obligation de confronter aux observations de terrain

> Difficultés rencontrées

- Difficulté de positionnement de l'indicateur sur certaines orthophotographies anciennes (1950 ou 1977)
- Ombrage et végétation (arbres) rendent parfois difficile le positionnement (secteur de Saint Nazaire par exemple)
- Impossibilité d'avoir un indicateur unique
- Recul le plus souvent très localisé (au niveau d'indentation)
- Parfois, recul souterrain non visible sur orthophotographies
- Les actions de l'homme sont parfois très influentes (revégétalisation, etc.)

Investigations de terrain

> Objectif :

- Hauteur et géométrie de la falaise et/ou talus ainsi que des terrains meubles qui peuvent la surmonter
- Description succincte des formations constituant cette falaise (ou talus) et de leurs caractéristiques géo-mécaniques ainsi que de leurs éventuelles propensions à subir des mouvements de terrain ou de l'érosion localisée
- Evénements encore détectables au moment de la visite
- Présence de renforcements, d'ouvrages assurant la stabilité ou une protection contre l'érosion
- Orientation de la falaise, caractère abrité / semi-exposé / exposé

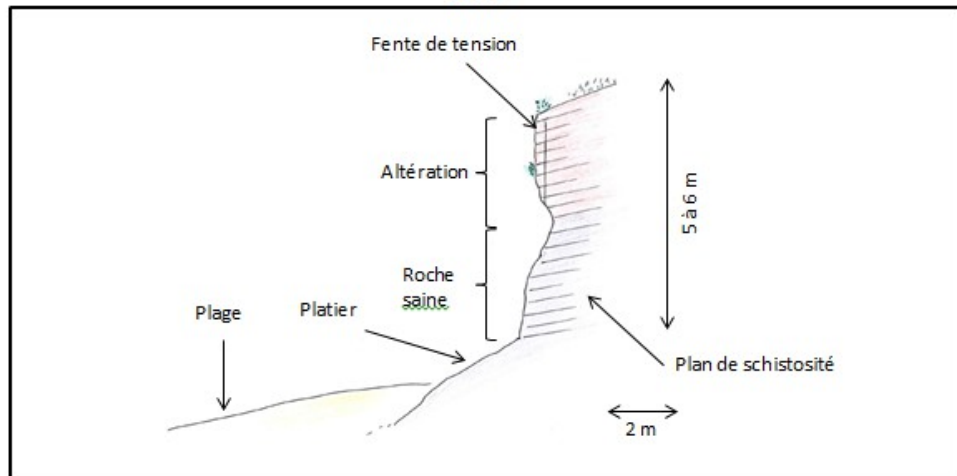
Investigations de terrain (fiches de terrain)

IDENTIFICATION		
NumFiche : 1	Date : 16/05/2012	
Commune : Préfaïlles	Auteur : EP - TD	
Lieu-dit : La Raïse	Longueur : 37 m	
DESCRIPTIONS		
Formation géologique Formation des porphyroïdes de Vendée : métarhyolite et méta-arkose à muscovite (présence de veines de Quartz)	Fracturation (Densité, ouverture, remplissage, familles (orientation), rugosité) Nombreuses fractures dont fractures ouvertes parallèle au plan de la falaise Famille de faille principale (N 5°, 60°W) et (N 70°, 55°S)	
Altération Formation altérée en tête sur 2/3 m. Découpage en petites blocs. Altération en boule par endroit	Végétation Herbe en tête avec quelques herbes grasses aérophalines en milieu de paroi	
Formations Sup Néant	Venue d'eau Néant	
Versant Falaise rocheuse subverticale de 5,5 m à 6 m (certaines parties en surplomb)	Exposition Falaise d'arrière plage	
Structure (Pli, strat, discontinuité) Schistosité horizontale	Confortement actuel Néant	
ENJEUX		
<input type="checkbox"/> - Construction : <input type="checkbox"/> - Sentier : <input type="checkbox"/> - Route : <input checked="" type="checkbox"/> - Plage de baignade :		
EVENEMENTS		
Éléments mobilisés (Taille, forme -arrondi, anguleux-, fraicheur des plans, lichen, litho) Néant	Éléments mobilisables Blocs individualisés en haut de falaise altérée	
Sapement en pied Dimension (sous cavage...), niveaux concernés Léger sapement au niveau des fractures	Indentation de la cote Néant	
	Erosion différentielle Néant	
DIAGNOSTIC		
Catégorie géomorphologique : 1		
Type d'instabilité pouvant affecter la zone et fréquence :		
	Proba départ	Zone impactée
Chutes de pierre (<1dm3)	Fort	Haut de plage sous falaise
Chutes de blocs (1dm3< <1m3)	Fort	
Chutes de gros blocs (>1 m3)	Faible	
Eboulement en masse (> 10 m3)	Moyen	
Glissement		
Coulée		
Erosion de tête		
Niveau d'aléa (en l'état actuel de nos connaissances) : XXXX		
Recul de la falaise : Evolution très lente entre 1950 et 2009		

PHOTOS

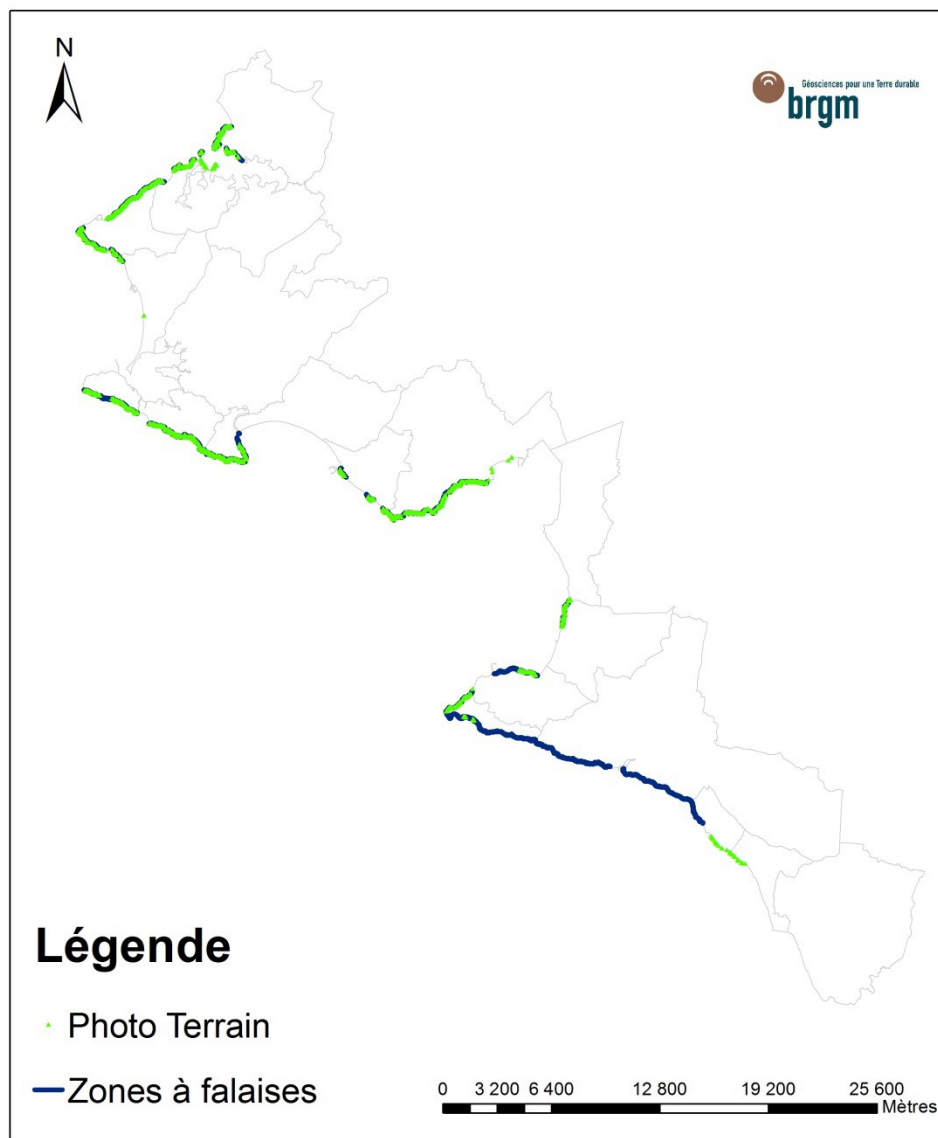


COUPE



Investigations de terrain (synthèse)

- > **Quasi-totalité du littoral investigué hors 3 communes (Préfailles, Pornic et la Bernerie objet d'une étude SIMECSOL détaillée en 2000)**
- > **23 jours de terrain**
- > **Rédaction de 248 fiches issues des observations de terrain**
- > **7029 photographies géoréférencées**
- > **Intégration de l'ensemble des observations au SIG**



Qualification des aléas

> Aléa instabilités

- **Aléa** : probabilité de survenance sur une zone donnée, d'un évènement donné, d'une intensité donnée, sur une période donnée
 - Approche terrain par évènements
 - Approche restitution par intensité
 - Pas de notions d'enjeux
- Guide pour l'élaboration des PPR → transcription pour notre étude

	Définition	Exemple de mesures de prévention
Aléa très faible	Falaise rocheuse de faible hauteur pouvant présenter des instabilités de type chutes de pierres par exemple, mais dont le volume de matériaux reste très limité	Pas de mesure de prévention nécessaire
Aléa faible	Falaise montrant par endroit des traces de petites chutes de pierres, blocs ou de ravinements peu important	Purges de blocs instables en falaise, confortement légers
Aléa moyen	Falaises ou pentes littorales instables, avec des volumes de matériaux déplacés modérés (blocs de quelques m ³)	Drainage d'une zone instable, confortement important
Aléa fort	Mouvements de terrain suffisamment important pour engendrer le déplacement de gros blocs (>1 m ³) ou de masses instables de plusieurs milliers de m ³	Stabilisation d'un glissement de terrain important, confortement d'un plan de falaise instable

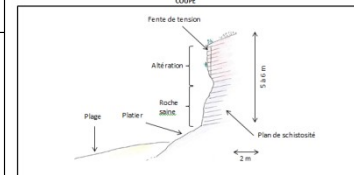
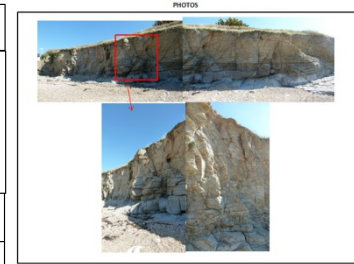
Qualification des aléas

> Aléa Recul

- **Aléa toujours fort dans la zone identifiée**
- **Evaluation du taux de recul**
 - Traitement orthophotographique : le plus souvent sur 50 ans (1950-2004)
 - Comparaison avec les résultats de SOGREAH (souvent cohérents avec nos valeurs)
 - Prise en compte de la probabilité d'occurrence des mouvements de terrain
- **Détermination de l'incertitude associée au taux**
 - Lié au calage des orthophotographies et à la précision de digitalisation
 - Prise en compte des résultats de SOGREAH

ID_Fiche

IDENTIFICATION		
Nom/Fiche : 1	Date : 16/05/2012	
Conteneur : Préfalis	Auteur : EP - TD	
Lieu-dit : La Basse	Longueur : 37 m	
DESCRIPTIONS		
Éléments altération	Éléments Description	
Formations des calcaires de Vendée - micaschistes et micaschistes à muscovite (présence de veines de Quartz)	Élévation (Ouvrir), ouverture, remplissage, fissures orientées, rigoles	
Altération	Nombreuses fractures dont fractures ouvertes parallèles au plan des strates	
Formation altérée en silice sur 2,5 m. Développement en entretrois. Altération en boue par endroits	Forme de l'affleurement (N°S°E°) et (N°O°E°)	
Éléments structure	Altération	
Néant	Altération en micaschistes en micaschistes grossiers	
Niveau	Zone d'affleurement	
Faïence rocheuse subverticale de 5,5 m à 6 m (en tranches jointes en surplomb)	Néant	
Structure (N, S, O, E, direction)	Éléments	
Schistose horizontale	Faïence d'affleurement	
	État/conservation/actuel	
	Néant	
ÉLÉMENTS		
Éléments mobilisés	Éléments mobilisables	
Tronçon des parois, (N°S, N°E)	Dispositif de stabilisation en haut de falaise arrière	
Néant	Stabilisation de la côte	
Sécurité (Légende) (Direction (pas de pente), L, Niveau, Niveau)	Néant	
Léger écartement au niveau des fractures	Éléments différenciés	
	Néant	
DIAGNOSTIC		
Catégorie géomorphologique : 1		
Type d'instabilité possible affectant la zone et fréquence :		
	Périsse observé	Zone impactée
Chutes de pierres (< 10 kg)	Sol	
Chutes de blocs (10 kg - 1 t)	Sol	
Chutes de projectiles (> 1 t)	Plaque	
Éboulement massifs (> 10 kg)	Moyen	
Glissement		
Chutes		
Érosion de falaise		
Niveau d'aléa des États actuels de nos connaissances : Élevé		
Recul de la falaise (évolution très lente entre 1950 et 2009)		



- Niveau d'aléa
- Mouvement de terrain
 - Recul de falaise avec zone impactée

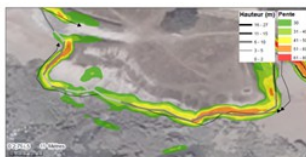
RESULTATS

Présentation des résultats

- > Rapport (présentation méthodologie et résultats)
- > Annexe = fiches secteurs homogènes
- > Base de données

F_002

Commune : Préfailles
Lieu-dit : Ker Eleonie
Longueur : 99,580694 m
Auteur : EP



DESCRIPTIONS

Formation géologique : Formation des porphyroïdes de Vendée : méta-rhyolite et méta-arkose à muscovite

Altération : Fracturé (une zone un peu altérée)

Formations Sup : Environ 50 cm de TV

Versant : Falaise de 5,7 m en moyenne pouvant atteindre 8,2 m avec large platier rocheux

H min : 2,9 m Hmoy : 5,9 m Hmax : 9,2 m

Structure : Foliation subhorizontale

Fracturation : Très fracturé

Végétation : Pelouse en tête en retrait d'environ 1 m par rapport à la tête de falaise

Venue d'eau : Néant

Confortement actuel : Néant (cimentation au niveau de la falaise)

EVENEMENTS

Éléments mobilisés : Très nombreux blocs en pied de taille pluridécimétrique à métrique

Sapement en pied : Un unique sous-cavage au niveau du chemin

Éléments mobilisables : Quelques gros blocs en sommet de falaise

Indentation de la cote : Indentation métrique

DIAGNOSTIC

INSTABILITES :

Chutes de pierres : Faible

Chutes de blocs : Moyen à fort

Chutes de gros blocs : Faible

Eboulements en masse : Très faible

Glissements : Nul

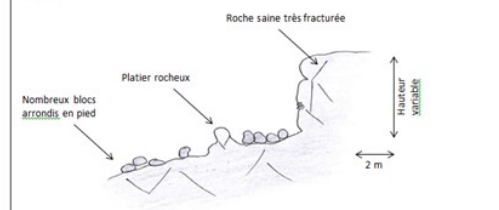
⇒ Alea instabilité : Faible

RECU :

Taux : $0,035 \pm 0,04$ m/an



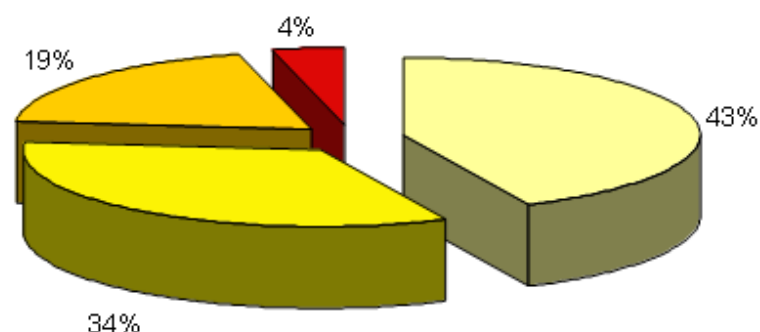
Schéma :



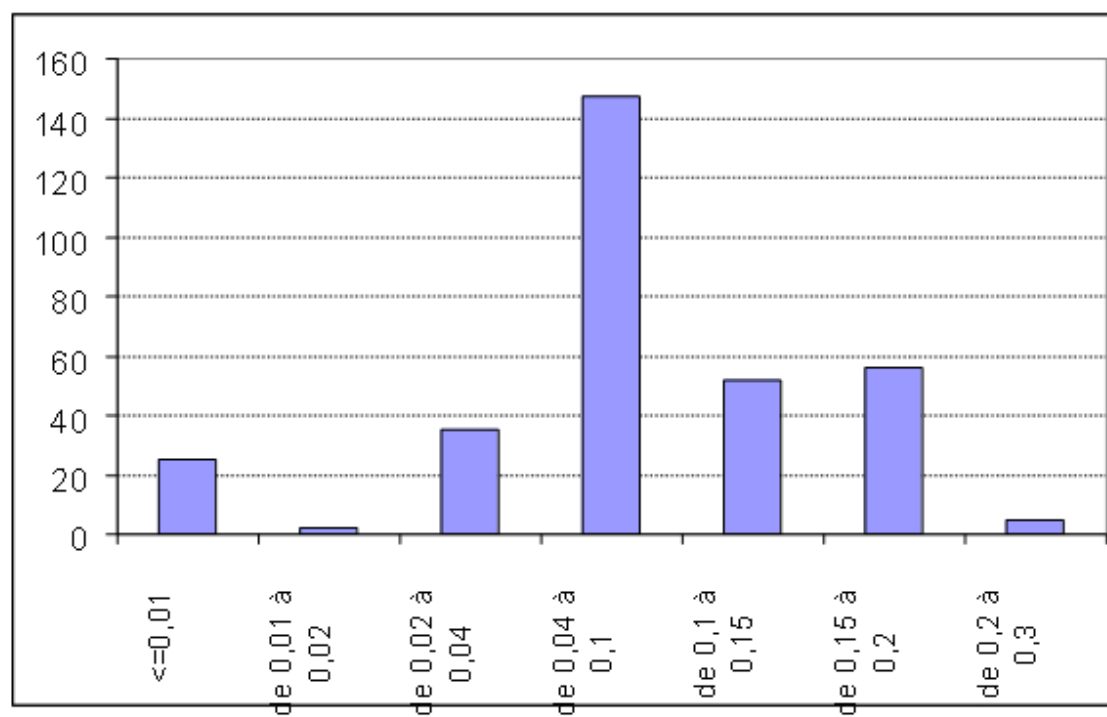
Présentation générale des résultats

> Répartition de l'aléa instabilité

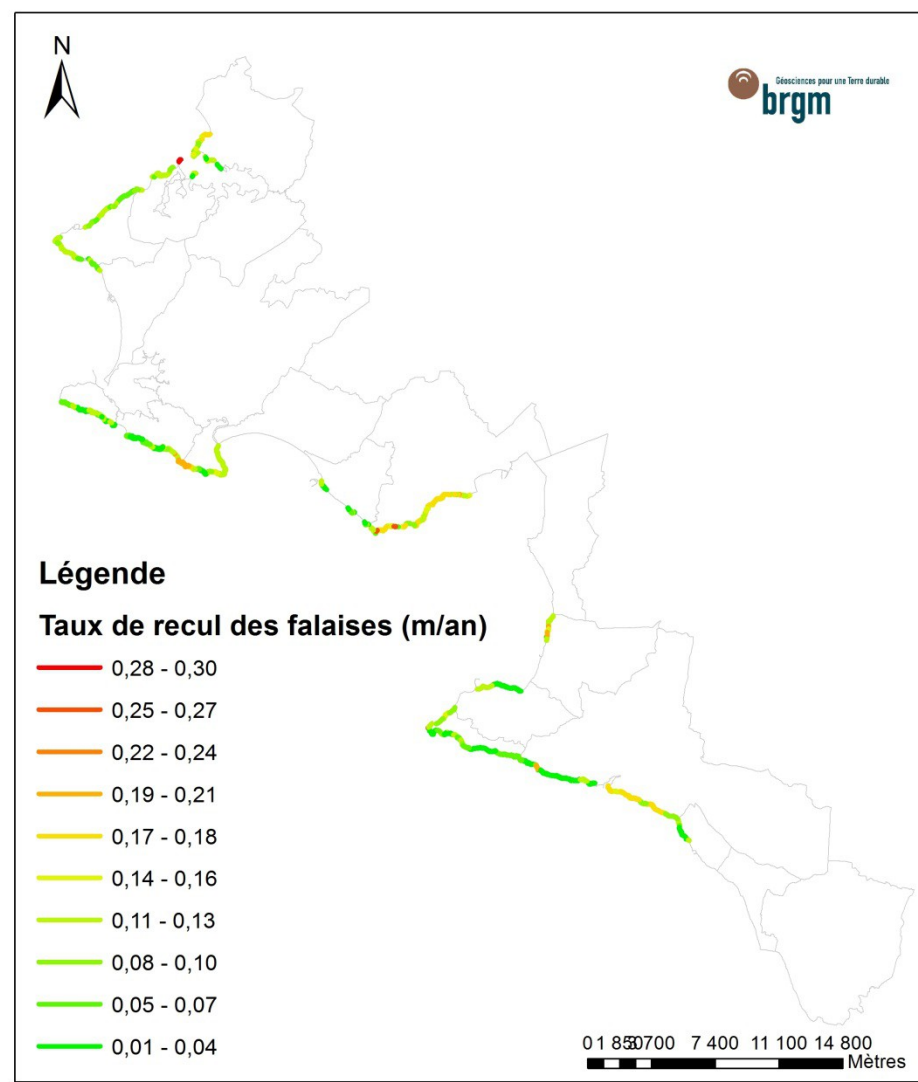
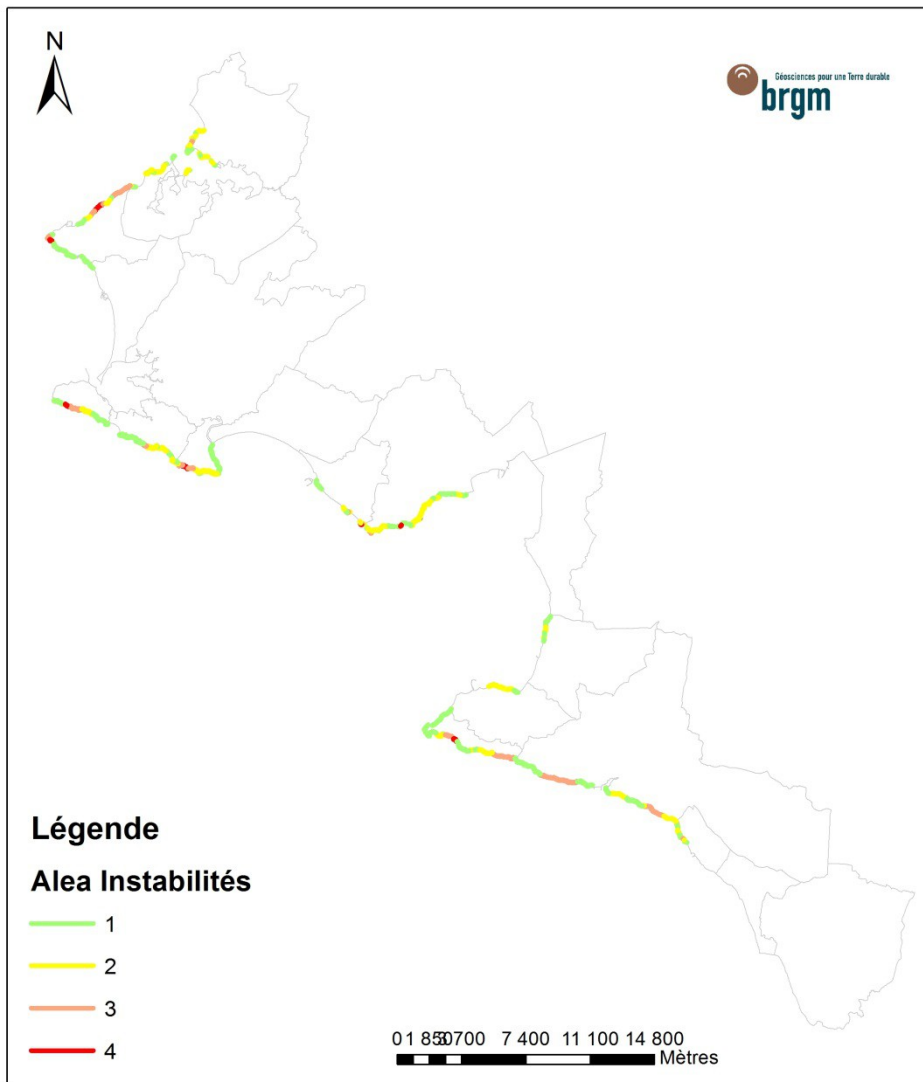
Aléa très faible
Aléa faible
Aléa moyen
Aléa fort



> Vitesse de recul des falaises

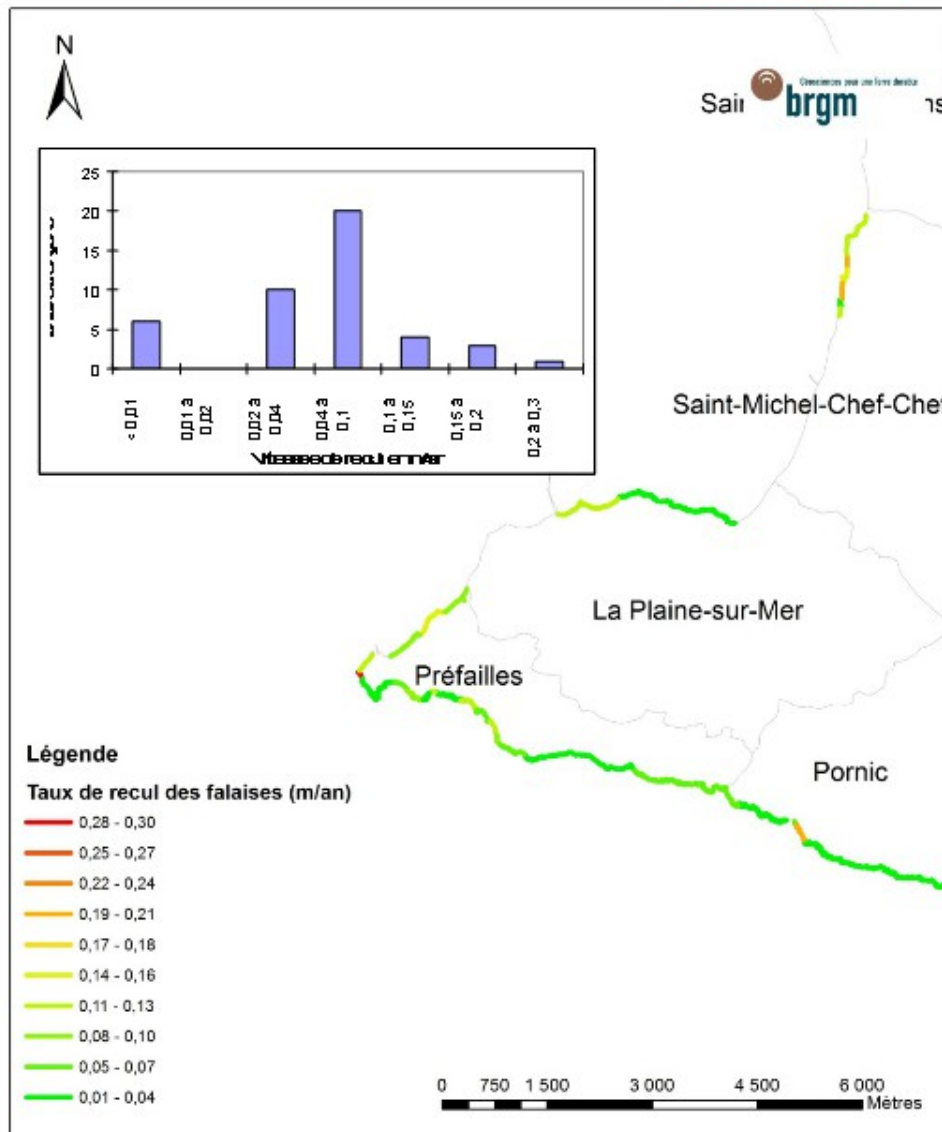
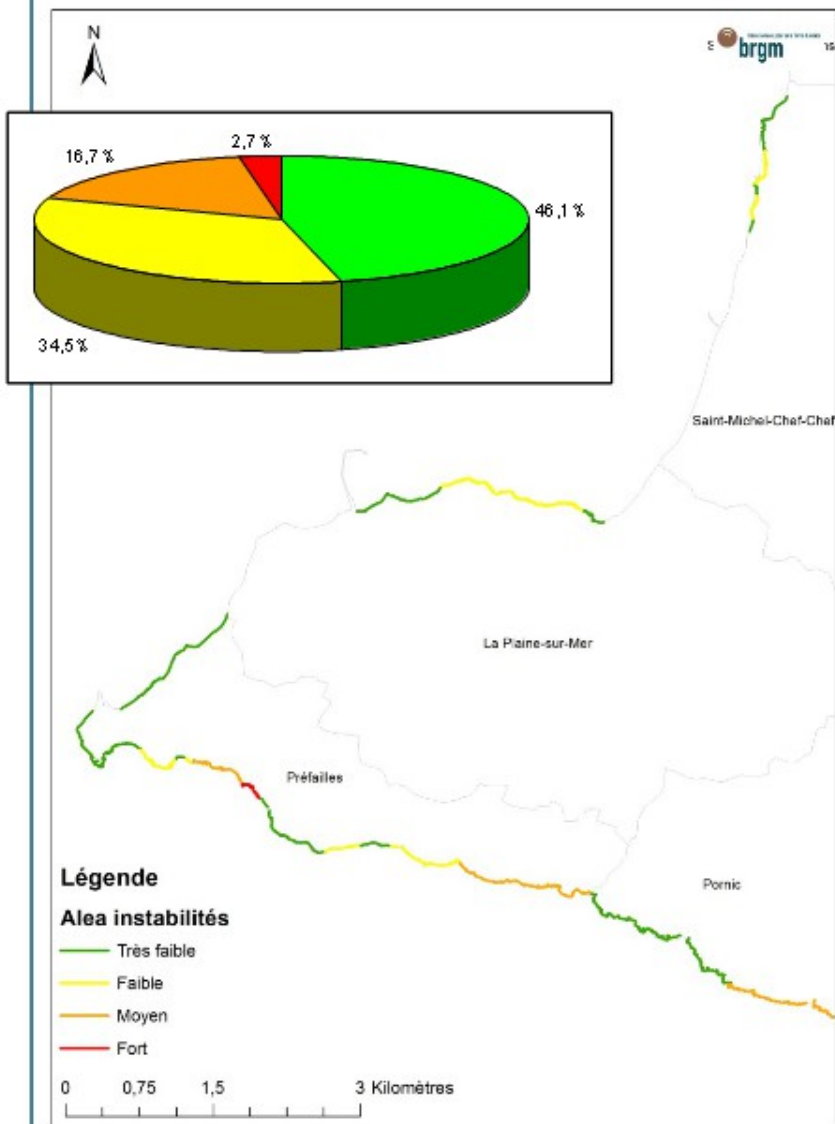


Vue d'ensemble

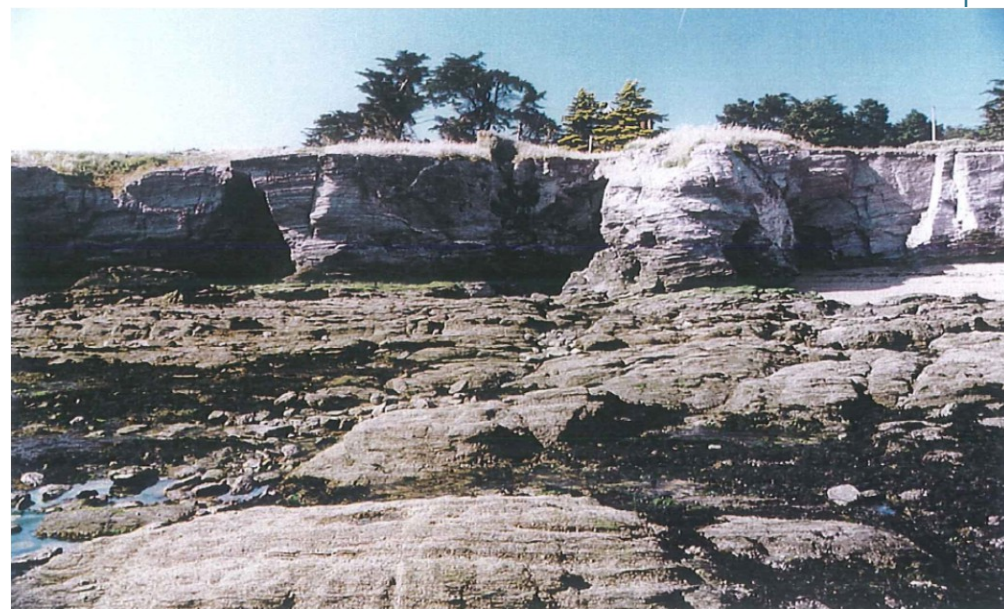
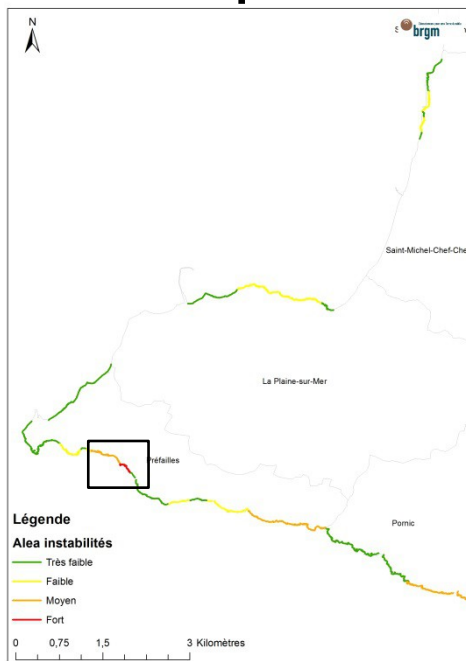


Résultats secteur 3

> 16,3 km
> 44 tronçons



Exemples d'aléa instabilités



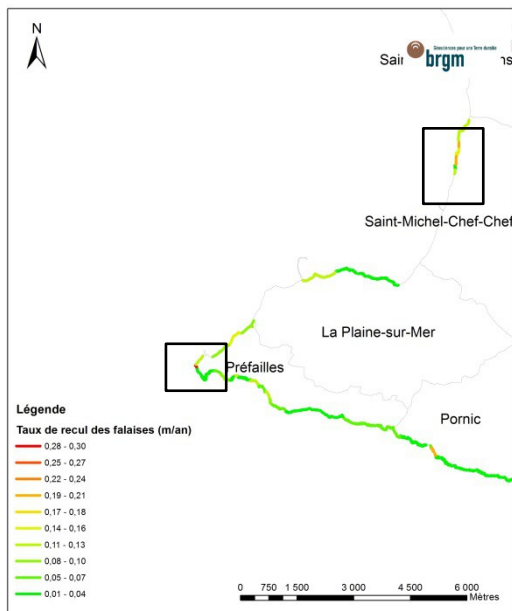
➤ Plage de la Roche percée

➤ **Description :** Falaise de 7 m de hauteur moyenne pouvant atteindre 9 m, subverticale avec surplomb. Elle présente un large platier rocheux et une petite plage adossée

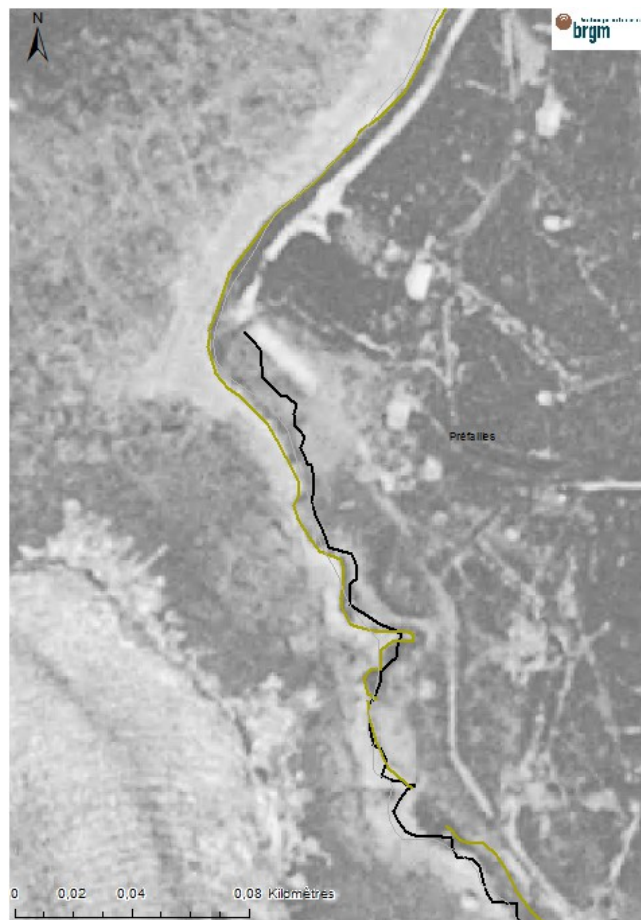
➤ **Très important sapement en pied.** Formations de plusieurs grottes dans les grands réseaux de failles (2 grottes sont de grande dimension à l'ouest du site)

➤ **Éléments mobilisables :** Toit des grottes instables, dièdres en surplomb

Exemples d'aléa recul



BD_ORTHO 1950



BD_ORTHO 2009



- > Localement, recul de 16 m entre 1950 et 2009
- > Recul : 0,27 m/an

ANNEXE

Contexte/Objectif

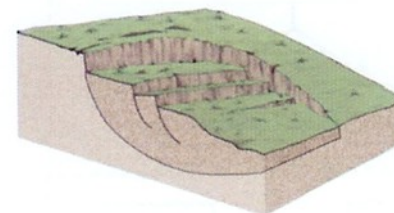
> Rôle du BRGM

- Objectif : évaluation de l'évolution des talus et falaises côtiers de Loire Atlantique et caractérisation des aléas correspondants
- Convention signée le 9 décembre 2011 pour une durée de 12 mois
- Démarche proposée
 - Bilan des connaissances sur les falaises côtières en Pays de la Loire et analyse de l'évolution des côtes rocheuses sur des bases historiques
 - Analyse géologique et expertise naturaliste du linéaire, découpage typologique
 - Définition de l'aléa par secteur typologique, synthèse de l'évolution des falaises / talus et évaluation du recul à 100 ans
 - Zonage d'aléa et restitution cartographique

Problématique des falaises côtières

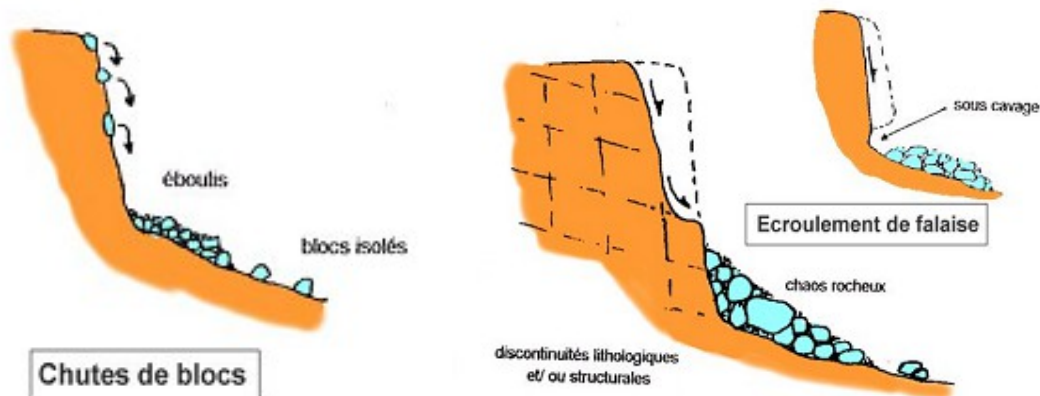
> Glissements de terrain

- Déplacement de terrains le plus souvent meubles le long d'une surface de rupture
- **Facteurs de prédisposition** : pente, altération, hauteur de versant, nappe
- **Facteurs déclenchant** : pluie (remontée de nappe), actions anthropiques (déblais, remblais)



> Eboulements

- Phénomènes rapides ou événementiels mobilisant des éléments rocheux avec peu de déformation préalable d'une pente abrupte jusqu'à une zone de dépôt
- **Facteurs de prédisposition** : fracturation, pente, altération, sous-cavage, présence de vides, hauteur de paroi
- **Facteurs déclenchant** : pluie (infiltration et mise en pression dans les fissures), gel/degel, séismes, actions anthropiques (surcharge, travaux, vibration...)



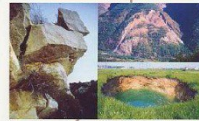
Type d'évènement	Volume unitaire	Volume impliqué
Chute de pierre	Vol. unitaire inférieur à 1 dm ³	Volume global faible
Chute de bloc	Vol. unitaire inférieur à 1 m ³	Volume global variable
Chute de gros bloc	Vol. unitaire supérieur à 1 m ³	Vol. global supérieur à 1 m ³
Eboulement en masse	Variable	Vol. global supérieur à 10 m ³
Glissement meuble de talus		Volume global variable
Coulées		Vol. global supérieur à 1 m ³

Principaux documents méthodologiques utilisés



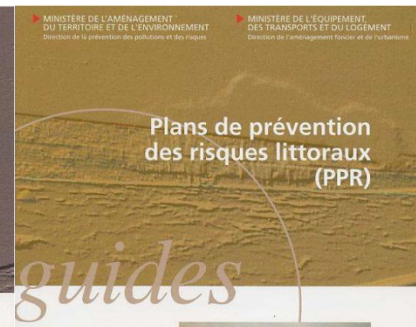
CAHIER DE RECOMMANDATIONS SUR LE CONTENU DES PPR

risques naturels majeurs



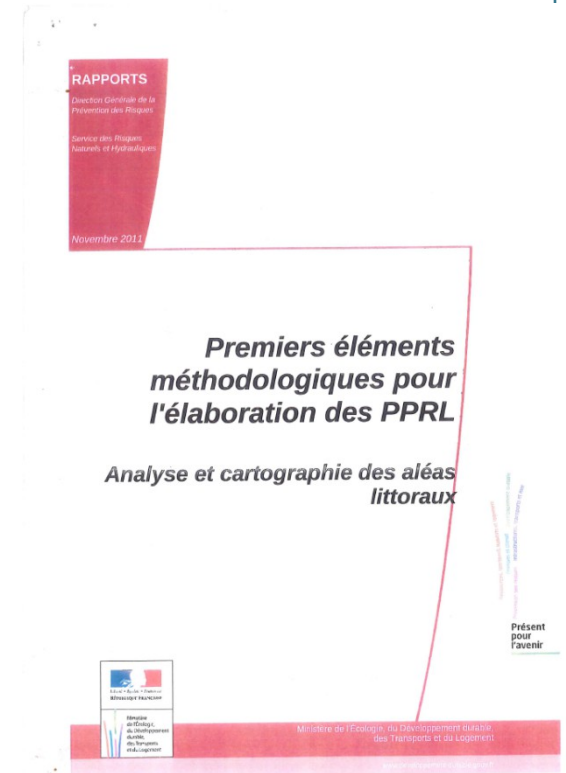
GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

La documentation Française



GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

La documentation Française



Zones cibles de l'étude

> Définition de falaises littorales communément admise, proposée par Guilcher (1954)

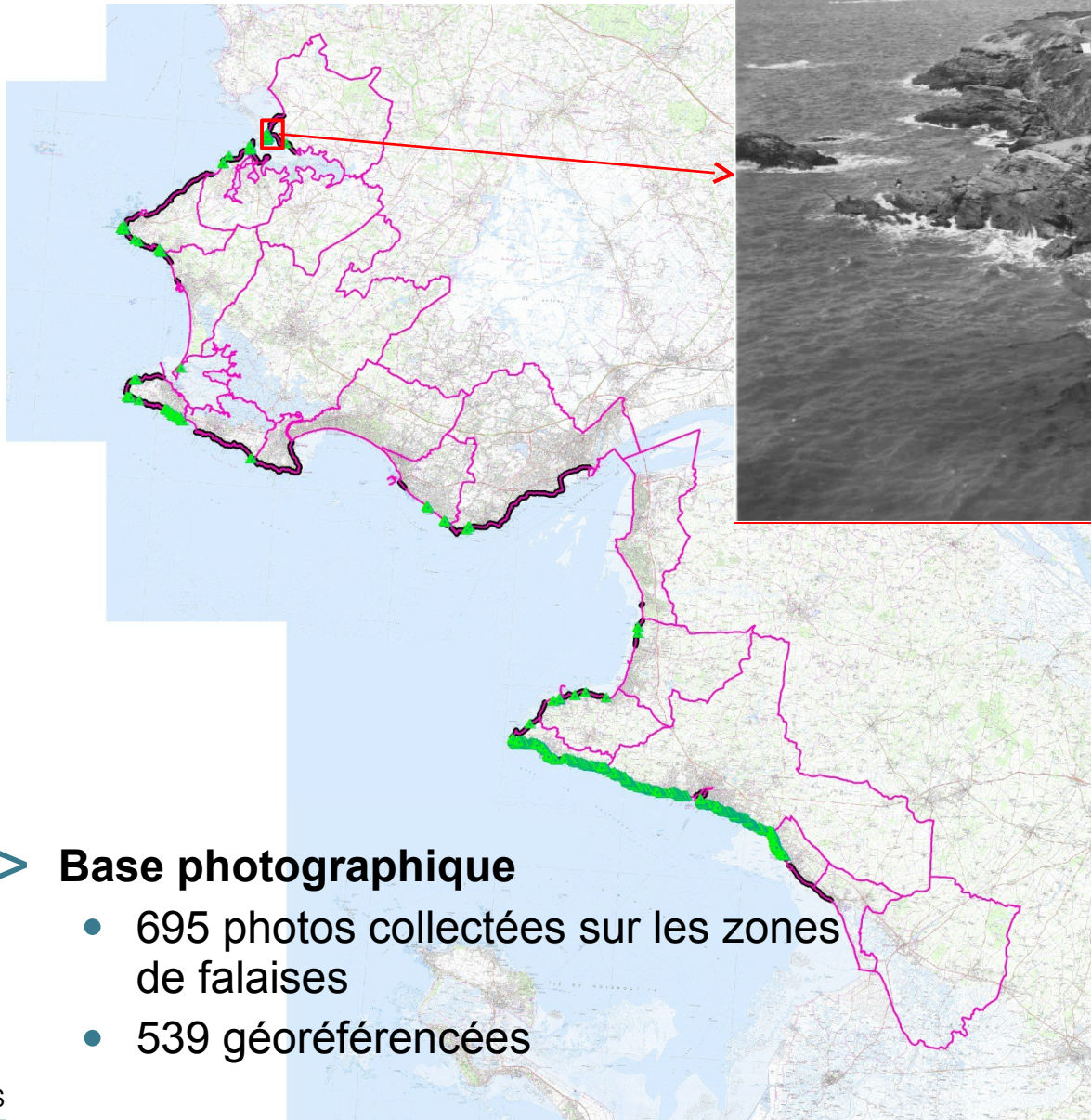
« Un ressaut non couvert de végétation, en forte pente (entre 15° et le surplomb), de hauteur très variable, au contact de la mer et de la terre et qui est dû à l'action ou à la présence marine. »

> Quelques remarques :

- Regroupe les microfalaises (décimétriques), hautes falaises (entre 100 et 500 m) et mégafalaises (> 500 m)
- Côtes rocheuses \neq Falaises côtières
- Falaises côtières \neq Côte rocheuse
- Falaises vives/falaises mortes

=> Croisement des zones identifiées par SOGREAH et par l'atlas des côtes de Loire Atlantique + validation terrain

Constitution d'un SIG

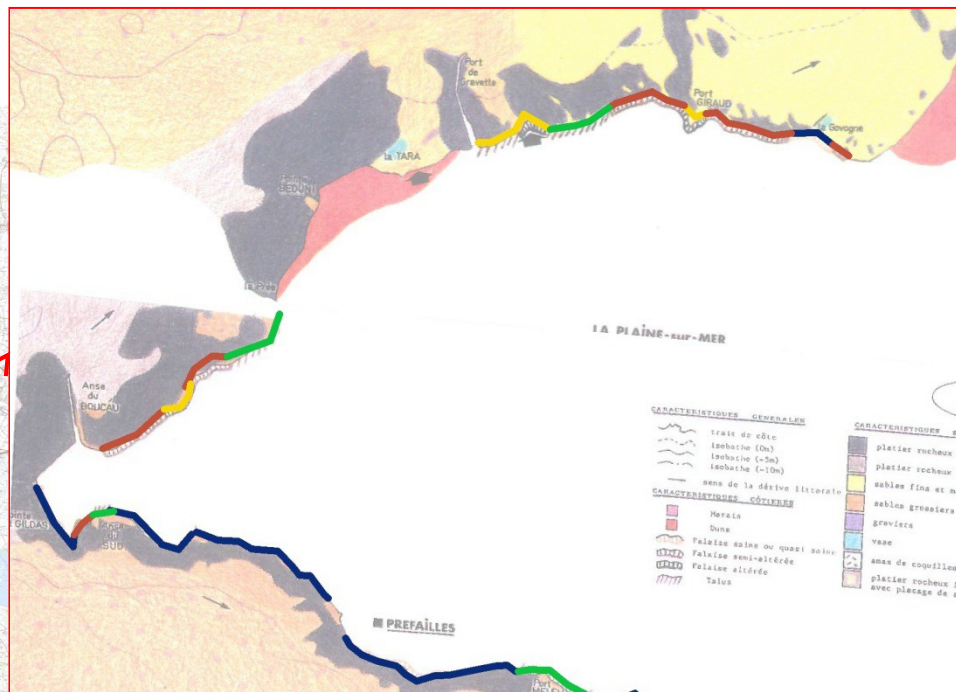
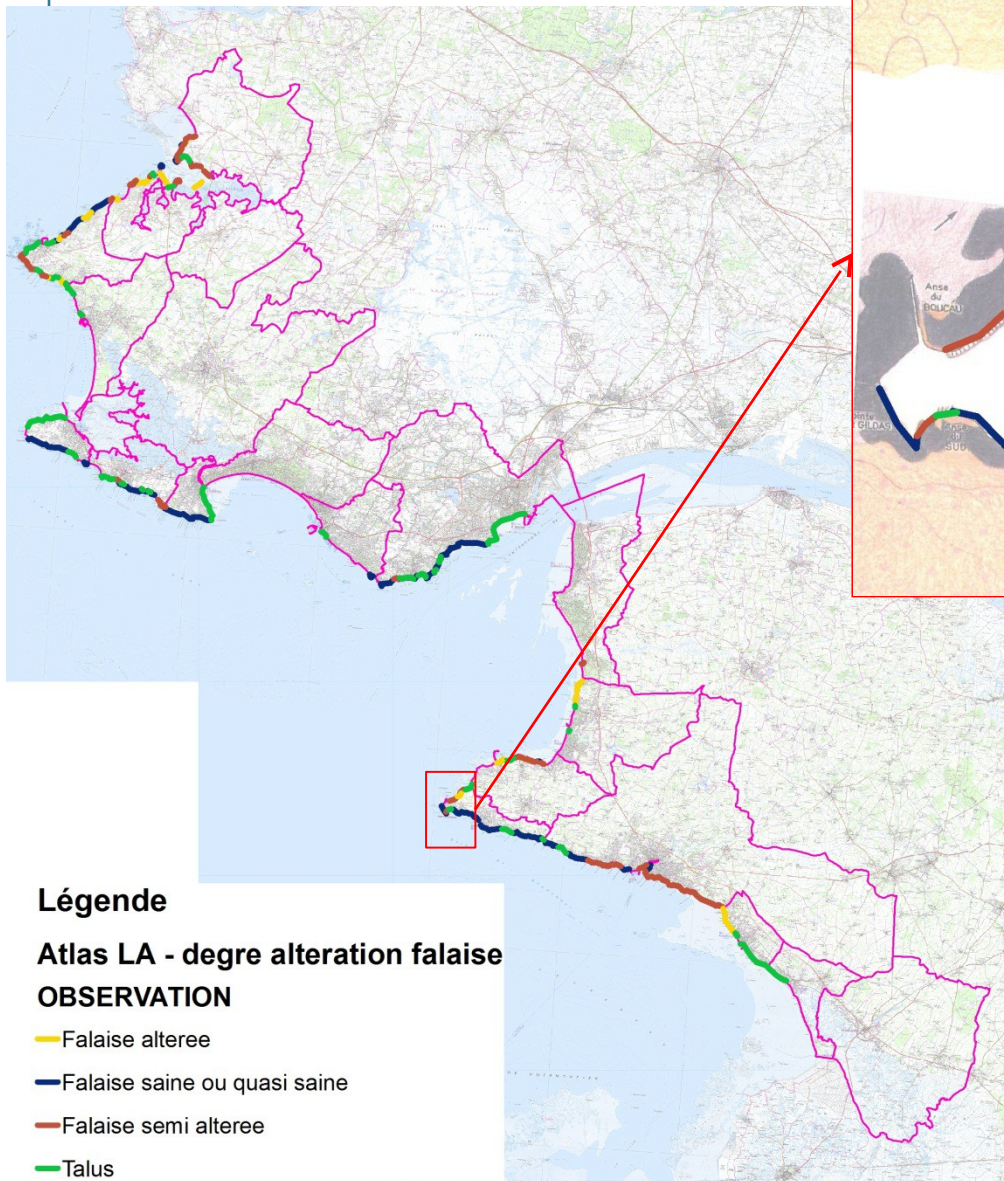


> Base photographique

- 695 photos collectées sur les zones de falaises
- 539 géoréférencées

- > Vues aériennes (1950-1960)
- > Comparaison avec les observations terrain...
- > Quelquefois non datées

Constitution d'un SIG



> Atlas des côtes de Loire Atlantique

- 1/50 000
- Géoréférencement → Digitalisation
- 122 entités selon degré d'altération

Traitement de la LITTO3D

- > **Les hauteurs calculées sur les différents secteurs**

1 100

Traitement des orthophotographies

> Avantages et inconvénients des différents indicateurs

Indicateur	Avantage	Inconvénient
Pied de falaise (limite sable/rocher par exemple)	Recul du fait d'agents marins	<ul style="list-style-type: none">- pas toujours visible (indentations, zones de surplomb ou ombre)- position parfois difficile à choisir par exemple dans le cas des falaises à dénudations- Non prise en compte des secteurs du littoral qui reculent à cause d'agents continentaux
Abrupt/sommet de falaise	Recul du fait des agents continentaux mais aussi des agents marins	<ul style="list-style-type: none">- souvent masqué par la végétation et notamment la présence d'arbres en tête de falaise- localisation précise est parfois délicate
Limite de végétation	Le recul de la végétation est souvent un bon indicateur du décapage de la tête de falaise du fait d'agent continentaux. Ce décapage initie souvent l'érosion progressive de la roche.	<ul style="list-style-type: none">- végétation avance et recul au gré des opérations de revégétalisation et peuvent induire des erreurs d'interprétation
Sentier côtier	<ul style="list-style-type: none">- Nettement identifiable sur les différentes photographies aériennes- recul stratégique (pour cause de dangerosité pour les piétons). Mise- Mise en évidence des travaux de comblement réalisés au niveau des indentations.	<ul style="list-style-type: none">- sur-estime vraisemblablement le recul car lors de son déplacement, il est souvent positionné en net retrait par rapport à la falaise

Présentation générale des résultats

> 296 zones homogènes identifiées et décrites de tailles variables

Données	Longueur (m)
Longueur totale (m)	81 017
Longueur min (m)	3
Longueur moy (m)	252
Longueur max (m)	2 075

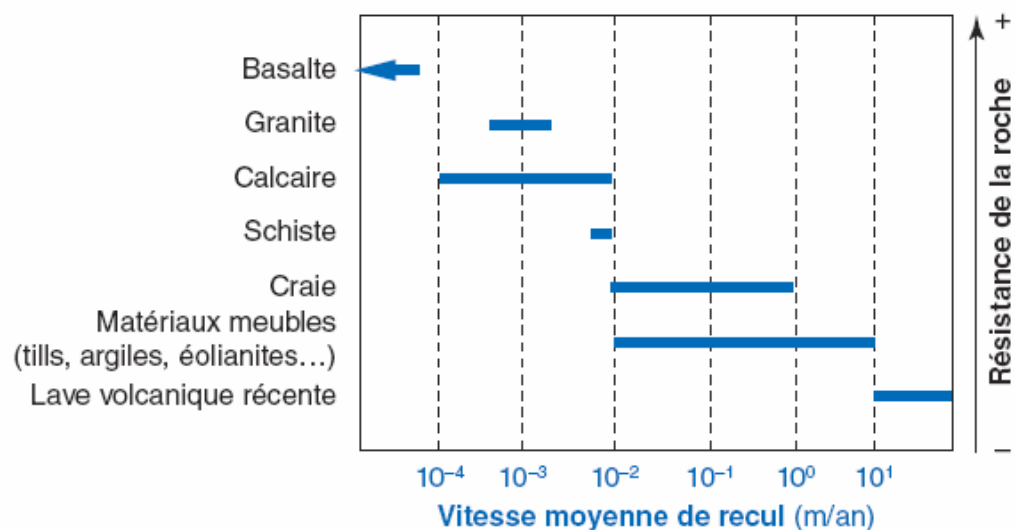
SGR/PAL **> Pour chaque zone :**

- Aléa instabilité

90

80

Ordre de grandeur de recul



*Recul moyen des falaises en fonction des matériaux constituants
(Woodroffe, 2002)*

Exemple de recul estimé sur d'autres côtes rocheuses :

D'après Aubié et al. (2005), la côte Basque présente un recul moyen du pied de falaise estimé à 0,3 m/an et 0,8 m/an au maximum. Par ailleurs, Dewez et al. (2008) ont instrumenté une falaise de craie sur la côte normande. Celle-ci présente un recul moyen mesuré compris entre 0,13 et 0,94 m/an (en prenant en compte les chutes de très gros blocs très peu fréquentes).