



ministère
de l'Équipement
des Transports
et du Logement



centre d'Études
techniques
de l'Équipement

CETE

Normandie
Centre

laboratoire
régional des
Ponts et Chaussées
de Rouen

Plan de Prévention des Risques "Mouvements de Terrain" intercommunal de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf

Caractérisation des aléas

AFFAIRE n° 9619

Chargé d'étude : Laurent Dubois
Octobre 2007

10, chemin de la Poudrière
BP 245
76121 Le Grand-Quevilly
cedex
téléphone :
02 35 68 81 00
télécopie :
02 35 68 81 72
mél : lrpc-rouen.cete-nc
@equipement.gouv.fr

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION.....	3
2 - CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE.....	4
2.1 - DESCRIPTION DU VERSANT CÔTIER.....	4
2.2 - DESCRIPTION DES VERSANTS À L'INTÉRIEUR DES TERRES.....	5
2.3 - DONNÉES CLIMATIQUES.....	5
3 - CADRE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL ET DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DES TERRAINS DU SUBSTRATUM.....	6
3.1 - LA CRAIE GLAUCONIEUSE DU CÉNOMANIEN (CRÉTACÉ SUPÉRIEUR).....	6
3.2 - LA GLAUCONIE DE BASE DU CÉNOMANIEN (CRÉTACÉ SUPÉRIEUR).....	8
3.3 - LES ASSISES DE L'ALBIEN (CRÉTACÉ INFÉRIEUR).....	8
3.3.1 - LA "GAIZE" (ALBIEN SUPÉRIEUR À TERMINAL).....	8
3.3.2 - LES ARGILES DU GAULT (ALBIEN SUPÉRIEUR).....	8
3.3.3 - LES SABLES FERRUGINEUX (ALBIEN INFÉRIEUR).....	8
3.4 - LES ASSISES DU KIMMÉRIDIEN INFÉRIEUR (JURASSIQUE SUPÉRIEUR).....	9
3.5 - LES ASSISES DE L'OXFORDIEN (JURASSIQUE SUPÉRIEUR).....	9
3.5.1 - FORMATIONS ARGILLO-SABLEUSES (OXFORDIEN SUPÉRIEUR).....	9
3.5.2 - FORMATIONS CALCAIRES (OXFORDIEN SUPÉRIEUR).....	10
3.5.3 - FORMATIONS ARGILEUSES (OXFORDIEN SUPÉRIEUR ET INFÉRIEUR).....	11
4 - FORMATIONS SUPERFICIELLES.....	11
4.1 - LES FORMATIONS RÉSIDUELLES À SILEX.....	11
4.2 - LES LÈSS.....	12
4.3 - LES FORMATIONS SUPERFICIELLES DE PENTE.....	12
4.4 - SITUATION PARTICULIÈRE DU BOURG DE VILLERVILLE.....	13
4.5 - LES ALLUVIONS DE LA BASSE-VALLÉE DE LA TOUQUES.....	13
5 - CADRE HYDROGÉOLOGIQUE GÉNÉRAL.....	14
5.1 - NAPPE DE LA CRAIE.....	14
5.2 - NAPPE DES SABLES ALBIENS.....	14
5.3 - CIRCULATIONS D'EAU DANS LE SUBSTRATUM ARGILEUX (KIMMÉRIDIEN ET OXFORDIEN)	14
5.4 - CIRCULATIONS D'EAU DANS LES FORMATIONS SUPERFICIELLES DE PENTE.....	14
6 - DESCRIPTION DES PHÉNOMÈNES DE GLISSEMENTS DE TERRAIN. 15	
6.1 - MODELÉ PÉRIGLACIAIRE DES VERSANTS NATURELS.....	15
6.2 - COUPES GÉOLOGIQUES SCHÉMATIQUES.....	16
6.2.1 - VERSANT CÔTIER.....	16

6.2.2 - VERSANT À L'INTÉRIEUR DES TERRES.....	17
6.3 - PHÉNOMÈNES D'INSTABILITÉ SANS SURFACE DE RUPTURE NETTE.....	18
6.4 - PHÉNOMÈNES D'INSTABILITÉ AVEC SURFACE DE RUPTURE.....	20
6.4.1 - ÉBOULEMENTS DE TALUS DE LA FALAISE DE DÉBRIS À VILLERVILLE.....	20
6.4.2 - GLISSEMENTS AFFECTANT LE VERSANT CÔTIER.....	21
6.4.3 - GLISSEMENTS AFFECTANT LES VERSANTS À L'INTÉRIEUR DES TERRES.....	28
6.5 - ZONES URBANISÉES.....	28
<u>7 - DESCRIPTION DES PHÉNOMÈNES D'ÉBOULEMENTS ROCHEUX.....</u>	<u>28</u>
7.1 - DESCRIPTION DES FACTEURS D'ÉROSION EXTERNES.....	29
7.2 - DESCRIPTION DES TYPES ET MODES DE RUPTURE.....	30
<u>8 - CARTE DE LOCALISATION DES PHÉNOMÈNES.....</u>	<u>32</u>
<u>9 - CARTE DES ALÉAS.....</u>	<u>37</u>
9.1 - CARACTÉRISATION DE L'ALÉA LIÉ AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN, COULÉES BOUEUSES ET FLUAGE ASSOCIÉS.....	37
9.2 - CARACTÉRISATION DE L'ALÉA LIÉ AUX ÉBOULEMENTS ROCHEUX.....	39
9.3 - PRÉSENTATION DE LA CARTE DES ALÉAS.....	43
9.4 - COMMENTAIRES.....	44
<u>10 - BIBLIOGRAPHIE.....</u>	<u>53</u>

1 - INTRODUCTION

Le présent rapport constitue le rapport de présentation du Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) « mouvements de terrain » intercommunal de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf, communes de la frange littorale du département du Calvados affectées notamment par des glissements de terrain de grande ampleur. Les mouvements de versant sont des phénomènes naturels d'origines diverses, résultant de la déformation, de la rupture et du déplacement du sol et/ou de la roche ; la pesanteur constitue le moteur essentiel des mouvements de terrain gravitaires.

Les aléas¹ « mouvements de terrain » listés ci-après ont été pris en compte dans le cadre de l'établissement de ce PPR :

- les glissements de terrain, coulées boueuses et fluage associés (instabilités caractéristiques de matériaux meubles de type sols, par exemple argile, sable, marne et éboulis de pente) ;
- les éboulements rocheux (instabilités caractéristiques de matériaux rocheux, par exemple calcaire et craie).

Les aléas « mouvements de terrain » listés ci-après n'ont pas été pris en compte dans le cadre de l'établissement de ce PPR :

- les aléas « effondrement » et « affaissement » liés à des cavités souterraines d'origine naturelle ou anthropique ;
- l'aléa « retrait et gonflement des sols argileux » ;
- les aléas « érosion littorale » et « submersion de tempête », notamment au niveau de la côte basse constituée par le cordon littoral de Pennedepie à Cricquebœuf ;
- l'aléa sismique. Les trois communes sont en effet situées dans une zone 0 de sismicité « négligeable mais non-nulle » définie dans le décret n°91-461 du 14 mai 1991, et dans une zone d'aléa très faible de la nouvelle carte d'aléa sismique établie par le BRGM en novembre 2005.

Les trois communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf constituent une portion de la frange littorale du Pays d'Auge, en bordure de la Manche. Les instabilités affectant les versants naturels (glissements de terrain, coulées boueuses et éboulements rocheux) sont liées à la structure géologique régionale et à la morphologie de ceux-ci. En effet, la géologie conditionne la nature et l'agencement des formations géologiques affleurant au niveau des versants.

¹ L'aléa est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité données.

La morphologie (ou modelé) des versants résulte, en très grande partie, de l'érosion externe sous l'action des agents climatiques (pluie, vent, gel, *etc.*) et de la mer au cours de l'ère Quaternaire (c'est-à-dire depuis 1,8 millions d'années environ). Cette évolution, qui s'est déroulée pendant plusieurs périodes glaciaires, a été à l'origine, notamment, du recouvrement des versants par un manteau de formations remaniées, écroulées et/ou glissées (formations superficielles de pente). Les conditions climatiques actuelles, beaucoup moins vigoureuses, ont ralenti considérablement ces phénomènes dynamiques.

Toutefois, l'évolution naturelle de certains versants des trois communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf (en particulier celle du versant côtier) se poursuit et se traduit par de graves désordres affectant les infrastructures et le bâti en surface.

La structure géologique et la morphologie des versants des communes de Trouville-sur-mer, Villerville et Cricquebœuf sont identiques à celles des versants potentiellement instables du Pays d'Auge, situés plus à l'intérieur des terres. Les formations crayeuses, plus résistantes à l'érosion, arment le plateau de Saint-Gatien-des-Bois (encadré par l'embouchure de la Seine, la Manche et les vallées de la Touques et de la Calonne) et constituent des escarpements relativement raides en partie supérieure des versants. Elles surmontent des formations sableuses et argileuses affleurant en partie inférieure des versants. Ces derniers sont recouverts par des formations superficielles de pente, potentiellement instables et en partie déblayées par l'érosion ; elles sont alimentées par les eaux des nappes des formations crayeuses, calcaires et sableuses.

2 - CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

Les trois communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf constituent la frange littorale du Pays d'Auge, en bordure de la Manche, située entre l'estuaire de la Touques au sud et l'estuaire de la Seine au nord.

2.1 - Description du versant côtier

Sur sept kilomètres entre Trouville-sur-Mer et Cricquebœuf, le plateau crayeux de Saint-Gatien-des-Bois (incliné, de la cote IGN69 + 145 au sud-ouest à la cote IGN69 + 100 au nord-est) est bordé par de hautes falaises, d'une hauteur comprise généralement entre 100 et 120 mètres, composites par leur aspect topographique et dans leur structure géologique. Le plateau de Saint-Gatien-des-Bois constitue l'extrémité occidentale du vaste plateau du Lieuvin. L'agriculture est l'activité essentielle au niveau du plateau (largement occupé par la forêt).

Le versant côtier présente une pente moyenne proche de 30 %, relativement forte, et une morphologie très irrégulière (présence de surfaces bosselées, de gradins, d'escarpements, de talus, de sources, *etc.*).

La partie supérieure, constituée par un escarpement relativement raide (voire localement par une falaise rocheuse abrupte), ainsi que le rebord du plateau, sont généralement occupés par des bois, ce qui limite l'action de l'érosion externe.

La partie inférieure est constituée par de vastes glaciis, qui ont favorisé les activités agricoles (bocage à prés complantés) et l'occupation humaine. Certains secteurs sont fortement urbanisés (quartiers de Trouville-sur-Mer, bourgs de Villerville de Cricquebœuf) ; des formes d'habitat plus dispersées (résidences, villas, campings) sont également rencontrées.

Le versant côtier est un ancien versant en rive gauche de la vallée de la Seine. Depuis la fin de la dernière période glaciaire, le Würm (entre - 80 000 et - 10 000 ans), la remontée progressive du niveau marin (de l'ordre de 100 à 130 mètres dans le cadre de la transgression flandrienne) a entraîné le recul du trait de côte, c'est-à-dire le recul du pied du versant côtier. Ce recul est un phénomène naturel résultant principalement de l'action dynamique de la mer (vent, houle, courants littoraux, marées, diminution du stock sédimentaire disponible, *etc.*) et des agents climatiques extérieurs (pluie, vent, gel, *etc.*), pouvant être localement aggravé par des actions anthropiques (épis, digues, *etc.*).

Le recul du trait de côte, dû à l'érosion marine pendant l'Holocène (c'est-à-dire depuis 10 000 ans environ), est estimé à environ 300 mètres par M. MAQUAIRE. Ce phénomène pourrait se poursuivre (voire s'accélérer) avec l'élévation prévisible du niveau moyen de la mer lors des cent prochaines années, accompagné de tempêtes plus fortes et plus fréquentes.

2.2 - Description des versants à l'intérieur des terres

À l'intérieur des terres, le versant nord de la basse-vallée de la Touques à Trouville-sur-mer est entaillé profondément par le vallon du ruisseau de Callenville. À des zones basses en pente douce succèdent des talus plus irréguliers parsemés de zones humides. Dans ce vallon domine un bocage dense, les haies d'arbres entourant des prés complantés de pommiers. Aux abords du plateau domine la forêt ; on y rencontre également des cultures et des haras.

2.3 - Données climatiques

Le climat de la région de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf est de type océanique, humide et tempéré. La hauteur moyenne annuelle des précipitations est comprise entre 800 et 850 mm (données METEO France sur la période 1971 – 2000).

3 - CADRE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL ET DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DES TERRAINS DU SUBSTRATUM

Les formations géologiques en place affleurantes sur les territoires des trois communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf sont des terrains sédimentaires datant de l'ère Secondaire (d'âge Jurassique Supérieur et Crétacé). Les formations d'âge Jurassique Supérieur présentent une structure monoclinale et un faible pendage régulier, de l'ordre de quelques degrés, vers l'est. Les formations d'âge Crétacé reposent, avec une faible discordance angulaire, sur celles d'âge Jurassique Supérieur et présentent un faible pendage régulier vers le centre du Bassin Parisien, c'est-à-dire vers l'est - sud-est. Aucun accident tectonique majeur ne perturbe la succession stratigraphique des terrains décrite ci-après (cf. figure n°1 et paragraphes suivants). La disposition des couches entraîne donc l'affleurement du Jurassique Supérieur et du Crétacé Inférieur dans la région de Trouville-sur-Mer, et du Crétacé Supérieur dans la région de Honfleur.

La succession des terrains est décrite ci-après de haut en bas (des terrains les plus récents aux terrains les plus anciens).

3.1 - La Craie glauconieuse du Cénomanién (Crétacé Supérieur)

La Craie glauconieuse du Cénomanién est une roche essentiellement carbonatée (constituée de petits éléments de calcite peu soudés les uns aux autres), de porosité relativement importante. Elle présente une superposition de bancs de faciès différents : de couleur blanche, jaune à grise, elle est plus ou moins riche en silex noirs (disposés en lits ou dispersés dans la matrice), plus ou moins sableuse (présence de grains de quartz) et argileuse (présence de glauconie²). Quelques variations latérales de faciès peuvent être également rencontrées (présence de lentilles plus argileuses). La Craie du Cénomanién comporte de nombreux niveaux indurés noduleux (recristallisés), plus résistants ; cette formation relativement résistante arme la partie supérieure du versant côtier (notamment l'arrière-falaise des Creuniers) et arme le vaste plateau de Saint-Gatien-des-Bois.

La craie est évolutive (gélive), sensible à la dissolution et à l'altération, engendrées par des cheminements préférentiels des eaux d'infiltration notamment dans les discontinuités naturelles (diaclasses³, failles, etc.). Ainsi, les caractéristiques mécaniques de la matrice crayeuse décroissent :

- dans le temps par altération progressive (vieillessement) du matériau ;
- avec l'augmentation de la teneur en eau du matériau.

² La glauconie est une association de minéraux argileux interstratifiés, très sensibles à l'eau, se présentant généralement sous la forme de petits grains de couleur vert foncé à éclat gras.

³ Une diaclase est une discontinuité naturelle dans le massif rocheux sans déplacement relatif des compartiments séparés.

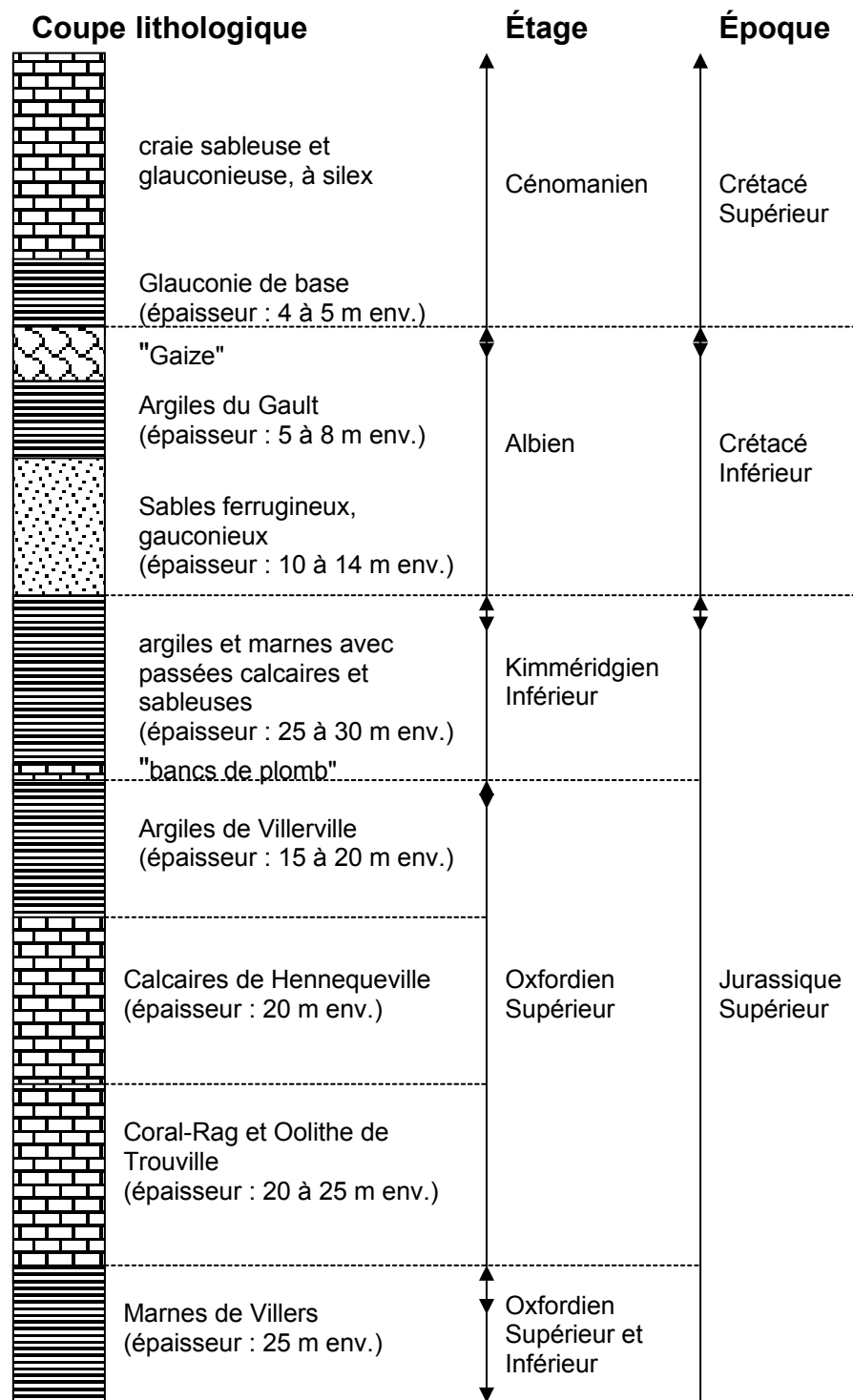


Figure n°1 : coupes lithologique et stratigraphique simplifiées des formations sédimentaires de l'ère Secondaire affleurant sur les communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf.

3.2 - La Glauconie de base du Cénomaniens (Crétacé Supérieur)

La Glauconie de base est une formation peu épaisse (en général de 4 à 5 mètres d'épaisseur dans le secteur étudié), située à la base des formations crayeuses et constituée de sables argileux (glauconieux) de couleur vert foncé à noir, entrecoupés de lentilles plus argileuses vertes. Son importante teneur en glauconie (qui diminue vers le sommet de la formation) lui confère une forte sensibilité à l'eau et une forte plasticité ; son comportement mécanique est alors proche de celui d'argiles plastiques.

3.3 - Les assises de l'Albien (Crétacé Inférieur)

3.3.1 - La "Gaize" (Albien Supérieur à Terminal)

La "Gaize"⁴ est une formation susceptible de présenter des variations latérales de faciès relativement brutales (présence de lentilles argileuses et glauconieuses de couleur jaunâtre à verdâtre notamment en partie inférieure). En général, elle se présente sous la forme d'un grès de couleur claire (généralement blanche ou verte), relativement peu cimenté ("sable fin") et riche en carbonates. À la base de la formation, la Gaize passe progressivement aux Argiles du Gault.

3.3.2 - Les Argiles du Gault (Albien Supérieur)

Les Argiles du Gault sont des argiles légèrement marneuses et relativement sableuses, de couleur gris foncé à noir, souvent micacées ; épaisses de 5 à 8 mètres, elles sont sur-consolidées et très peu perméables. Leur importante teneur en montmorillonite, en minéraux argileux interstratifiés (montmorillonite-illite) et en glauconie leur confère une forte sensibilité à l'eau et une forte plasticité. Certains niveaux peuvent être plus sableux, voire contenir quelques éléments grossiers (galets phosphatés, etc.).

3.3.3 - Les Sables ferrugineux (Albien Inférieur)

Les Sables ferrugineux sont des sables quartzeux à granulométrie généralement fine et bien classée, épais de 10 à 15 mètres ; de couleur blanche ou jaunâtre à rousse, ils renferment une quantité décroissante d'éléments grossiers vers le bas de la formation (concrétions ferrugineuses) et quelques lentilles et lits argileux noirs (ligniteux) en partie supérieure. La glauconie y est présente en abondance ; il existe un niveau de glauconite à la base de la formation. Les Sables ferrugineux sont recouverts par le Poudingue ferrugineux (gravier et galets de natures diverses dans une matrice sablo-argileuse, riche en glauconie), présentant une faible épaisseur (2 à 6 m).

⁴ La gaize est une roche sédimentaire détritique, siliceuse, relativement poreuse (grès fin, plus ou moins argileux et calcaire, riche en glauconie, en débris d'organismes végétaux et animaux et en silex).

3.4 - Les assises du Kimméridgien Inférieur (Jurassique Supérieur)

Les assises à dominante marneuse du Kimméridgien sont le plus souvent masquées à l'affleurement par les formations superficielles. Leur épaisseur est comprise entre 25 et 30 mètres. Elles sont constituées de haut en bas par :

- des marnes sur-consolidées fossilifères (huîtres), de couleur bleu à bleu-noir ;
- des alternances marno-calcaires (succession de bancs de calcaires argileux décimétriques, de lits argileux et de niveaux marneux sur-consolidés). Ces dernières ont fait l'objet d'une exploitation au niveau de la plage de Cricquebœuf pour la fabrication de chaux ;
- des bancs de calcaires lithographiques, de couleur gris clair et durs (comprenant le niveau repère des "bancs de plomb"), surmontant des niveaux argileux fossilifères et des bancs calcaires coquilliers.

L'extension latérale de cette formation au sud du lieu-dit "Lieu Godet" est mal connue. Une lacune de cette formation à Trouville-sur-Mer est probable. Les caractéristiques mécaniques de résistance au cisaillement des formations argileuses du Kimméridgien, très sensibles à l'altération, sont généralement très faibles.

3.5 - Les assises de l'Oxfordien (Jurassique Supérieur)

Trois ensembles sont usuellement distingués au sein de l'Oxfordien, avec de haut en bas, des :

3.5.1 - Formations argilo-sableuses (Oxfordien Supérieur)

Elles sont constituées de haut en bas par :

- un sous-ensemble épais de 10 mètres comprenant des bancs de poudingues⁵, de lumachelles⁶, de marnes brunes, de calcaires marneux oolithiques et de grès ferrugineux ;

⁵ Un poudingue est une roche sédimentaire détritique, formée pour 50 % au moins d'éléments arrondis de diamètre supérieur à 2 mm, liés par un ciment.

⁶ Une lumachelle est une roche sédimentaire calcaire, souvent peu cimentée, formée essentiellement de coquilles, entières ou brisées.

- les Argiles de Villerville. Ce sont des argiles silteuses noires, relativement compactes (surconsolidées) et fossilifères. Des intercalations sableuses (voire de poudingues) et quelques bancs calcaires sont connus au sein de cette formation, dont l'épaisseur totale est égale à 16 mètres. Entre la pointe du Heurt et Cricquebœuf, les Argiles de Villerville, puis les argiles et marnes du Kimméridgien Inférieur affleurent en bord de mer, masquées par une épaisse couverture de formations superficielles ;
- les Calcaires de Hennequeville, d'une épaisseur égale à environ 20 mètres. Ce sont des calcaires gréseux durs, fortement diaclasés (présence de nombreuses fissures ouvertes), renfermant quelques nodules ou lits de silex noirs. Dans la partie supérieure de cette formation peuvent être rencontrées des bancs plus sableux et argileux, voire plus grossiers (poudingues). Entre la sortie est de Trouville-sur-Mer et la Pointe du Heurt, cette formation rocheuse massive arme le pied du versant côtier, puis constitue progressivement un platier rocheux au niveau de l'estran en direction du nord-est, du fait du pendage des couches géologiques du Jurassique Supérieur.

En direction du sud-est, les Argiles de Villerville et les Calcaires de Hennequeville passent progressivement latéralement aux Sables de Glos (sables quartzeux, légèrement argileux, de couleur ocre ou parfois blanchâtre).

3.5.2 - Formations calcaires (Oxfordien Supérieur)

Elles sont constituées de haut en bas par :

- le "coral-rag" de Trouville, d'une épaisseur comprise entre 10 et 15 mètres. Il s'agit de calcaires grossiers construits à polypiers constitués de bancs calcaires durs, relativement argileux, sublithographiques ou bioclastiques à litage oblique (lumachelliques), avec quelques intercalations de niveaux marneux ;
- l'Oolithe de Trouville, d'une épaisseur moyenne égale à 10 mètres. Il s'agit d'une formation très hétérogène et fossilifère, comprenant des bancs massifs de calcaires jaunâtres oolithiques et bioclastiques, alternativement tendres et durs, des argiles brunes et des bancs de calcaires argileux oolithiques. Les bancs de calcaires sont généralement entrecoupés de cordons de galets intraformationnels.

Entre l'embouchure de la Touques et la sortie est de Trouville-sur-Mer, ces formations affleurent en bord de mer.

3.5.3 - Formations argileuses (Oxfordien Supérieur et Inférieur)

Elles sont constituées de haut en bas par :

- un sous-ensemble d'une épaisseur approximativement égale à 17 mètres, constitué de nombreux niveaux d'argiles jaunes et grises, comprenant quelques intercalations de calcaires bioclastiques (lumachelliques) et de marnes brunes ;
- les Marnes de Villers, d'une épaisseur comprise entre 25 et 27 mètres, surmontées par trois bancs de calcaire marneux oolithiques ("Oolithe ferrugineuse de Villers"). Les Marnes de Villers regroupent des argiles marneuses homogènes de couleur gris à gris-verdâtre, plastiques et compactes. Elles sont généralement entrecoupées par de petits bancs calcaires. Des éléments de faibles dimensions et de natures diverses sont dispersés dans la matrice argileuses : passées d'oolithes ferrugineuses, débris ligneux noirs (végétaux non entièrement décomposés), ammonites et terriers d'animaux fousisseurs pyritisés, petits cristaux de gypse, débris coquilliers et de Crinoïdes, petits éléments calcaires ou gréseux (≤ 5 mm), inclusions argileuses indurées, *etc.*

Les formations du Callovien Supérieur, représentées par les Marnes de Dives, n'affleurent pas sur les territoires des trois communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf.

4 - FORMATIONS SUPERFICIELLES

Les formations superficielles sur les territoires des trois communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf sont essentiellement : les formations résiduelles à silex et les loess sur le plateau crayeux, les formations superficielles de pente (caractéristiques du modelé des versants naturels du Pays d'Auge) et les alluvions de la basse-vallée de la Touques.

4.1 - Les formations résiduelles à silex

La surface subhorizontale déterminant le plateau actuel de Saint-Gatien-des-Bois s'est constituée au cours de l'ère Tertiaire. Les formations résiduelles à silex, produits de l'altération et de la décalcification de la craie, se sont mises en place dans ce contexte ; elles se présentent généralement sous la forme d'argiles rougeâtres, relativement hétérogènes, parfois sableuses, comportant de nombreux silex et fragments de silex anguleux. Des lentilles de sables propres, déposés pendant l'ère Tertiaire, peuvent être rencontrées au sein des formations résiduelles à silex.

Dans les poches (ou "puits") de dissolution de la craie, la ségrégation de ces matériaux est accentuée : on peut y retrouver ainsi des sables grossiers propres d'âge Tertiaire et/ou des silex totalement dépourvus d'argile. Ces poches, qui peuvent atteindre une profondeur supérieure à 5 mètres, constituent un risque important du fait de la décompaction et de l'effondrement éventuel des matériaux qui les remplissent. Ces poches de dissolution sont en relation avec le développement de réseaux karstiques (chenaux) dans la craie fissurée du Cénomanién.

4.2 - Les loëss

Les limons éoliens (quartz, mica, calcite) occupent de grandes surfaces sur le plateau de Saint-Gatien-des-Bois, où ils constituent une couverture continue surmontant les formations résiduelles à silex. Ils se sont également accumulés sur certains versants naturels orientés généralement vers l'est et dans la zone littorale à la fin de la dernière période glaciaire et forment des placages limités en extension.

4.3 - Les formations superficielles de pente

La très grande majorité des versants naturels est recouverte par un épais manteau de formations superficielles masquant le substratum, mises en place au Quaternaire. Ces colluvions ("éboulis") d'origine périglaciaire (notamment mises en place au cours et immédiatement après la dernière période glaciaire, le Würm) sont constituées de panneaux et de blocs de craie basculés ou effondrés, ainsi que de colluvions de pente, communément désignées sous le terme anglais "head".

Les colluvions de pente sont formées par un mélange hétérogène, issu de l'altération et du remaniement (par gélifraction, gélifluxion et solifluxion) des formations géologiques en place, des formations résiduelles à silex et des limons des plateaux. La disposition lithologique des formations géologiques en place (alternance de niveaux rocheux ou sableux, perméables et sièges de nappes, et de niveaux argileux très peu perméables) est très favorable au développement des actions climatiques périglaciaires.

Ces formations superficielles sont agencées verticalement en strates, correspondant à des dépôts successifs en grandes nappes pouvant avoir pour origine des effondrements, des coulées ou des glissements. Ces dépôts peuvent ainsi atteindre des épaisseurs considérables et rapidement variables, que ne peuvent révéler que des sondages de reconnaissance géologique. L'épaisseur moyenne de ces formations reconnues par des sondages est ainsi comprise entre 10 et 15 mètres, et peut atteindre localement 20 mètres.

Dans ces strates, on peut observer des différences notables de faciès liées aux modes de dépôt des matériaux (lentilles de matériaux limoneux, argileux, etc.). Des minéraux argileux interstratifiés (glauconie, etc.) peuvent y être présents en abondance et confèrent à la matrice une forte sensibilité à l'eau et une forte plasticité. Ainsi ces dépôts tendent à être de plus en plus argileux (et donc présenter des caractéristiques mécaniques de plus en plus faibles) vers le bas des versants.

Ces formations superficielles, mises en place sous des climats très rigoureux, ont partiellement été déblayées par les érosions fluviales liées à l'enfoncement des vallées. Elles subsistent néanmoins de nos jours et recouvrent la majorité des versants naturels des trois communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf.

4.4 - Situation particulière du bourg de Villerville

En octobre 1988, un sondage de reconnaissance géologique à la tarière hélicoïdale de gros diamètre (\varnothing 160 mm) a été réalisé dans l'axe du vallon de Villerville, dans le centre du bourg. Il a mis en évidence une épaisseur de 9,5 mètres d'une formation de type "head", puis une épaisseur de 10,2 mètres de sables albiens certainement remaniés, surmontant les argiles et marnes kimméridgiennes. En particulier, aucun panneau de craie n'a été rencontré, ce qui confirmerait l'hypothèse d'un remplissage d'une paléo-vallée par des formations superficielles quaternaires, à matrice sableuse et perméables. Il n'a cependant jamais été observé de sables albiens remaniés à l'affleurement au niveau de la falaise de débris au droit du bourg.

4.5 - Les alluvions de la basse-vallée de la Touques

La basse-vallée de la Touques à Trouville-sur-Mer présente la succession de terrains surmontant le substratum suivante, avec de haut en bas :

- des dépôts carbonatés à dominante sablo-argileuse, avec quelques intercalations tourbeuses peu épaisses, correspondant au remblaiement fluvio-marin flandrien de la basse-vallée de la Touques, sur une épaisseur d'une dizaine de mètres ;
- des intercalations tourbeuses plus importantes entre les dépôts fluvio-marins du Flandrien et la nappe de fond du Weichsélien, constituée par des alluvions anciennes grossières (sables argileux avec graviers et galets roulés dans une matrice carbonatée), pouvant être discontinues et d'épaisseur assez irrégulière (de l'ordre de quelques mètres).

5 - CADRE HYDROGÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

5.1 - Nappe de la craie

La craie, matériau rocheux perméable (du fait d'une double porosité, de fracture et de pore) et aquifère, est le siège d'une nappe libre importante, dont le mur⁷ est constitué par des formations argileuses très peu perméables, la glauconie de base et les Argiles du Gault. Cette nappe, la principale de la région, est à l'origine de nombreuses sources de déversement à la base des escarpements crayeux.

5.2 - Nappe des Sables albiens

Les Sables albiens, matériaux perméables, sont le siège d'une nappe libre, moins bien alimentée que celle de la craie. Le mur de cette nappe est constitué par les niveaux argileux et marneux du Kimméridgien Inférieur. Cette nappe est plus ou moins en relation avec la nappe de la craie et est à l'origine de sources de déversement dans les versants naturels, généralement difficiles à distinguer de celles issues de la base de la craie.

5.3 - Circulations d'eau dans le substratum argileux (Kimméridgien et Oxfordien)

Au sein des massifs argileux du Kimméridgien et des Argiles de Villerville, les circulations d'eau dans le réseau de fissures sont alimentées par :

- les nappes de la craie et des Sables albiens ;
- l'infiltration à travers les formations superficielles de pente des eaux météoriques ; cette infiltration est favorisée par la présence de nombreuses zones de contre-pente et l'absence de végétation importante.

Les niveaux calcaires de l'Oxfordien sont des niveaux plus ou moins aquifères.

5.4 - Circulations d'eau dans les formations superficielles de pente

Les formations superficielles, généralement peu perméables, sont le siège d'écoulements anarchiques d'eau, qui empruntent des cheminements préférentiels dans les matériaux sableux et dans les fissures des panneaux de craie. Leur mur est constitué par les argiles et marnes du Jurassique Supérieur très peu perméables. Ces circulations d'eau sont alimentées par :

⁷ Le mur désigne les formations imperméables situées immédiatement sous les terrains aquifères.

- des sources de déversement de la nappe de la craie, dont le mur est constitué par la glauconie de base ;
- des sources de déversement de la nappe des sables albiens, dont le mur est constitué par les argiles et marnes kimméridgiennes ;
- des sources de déversement des nappes des calcaires de l'Oxfordien ;
- des infiltrations des eaux météoriques ;
- des fuites dans des réseaux enterrés endommagés ou des dispositifs de drainage abandonnés ou en mauvais état.

Le niveau piézométrique de ces circulations est très sensible aux fluctuations climatiques, saisonnières et pluriannuelles. En période hivernale, il est souvent généralement proche de la surface.

6 - DESCRIPTION DES PHÉNOMÈNES DE GLISSEMENTS DE TERRAIN

6.1 - Modelé périglaciaire des versants naturels

Le modelé géomorphologique a été façonné au cours des différents cycles climatiques du Quaternaire, en particulier au cours des périodes "froides". Une altération et une érosion intenses des formations géologiques en place, dans des conditions et sous l'action de facteurs très éloignés des conditions et des facteurs actuels, ont été à l'origine :

- des surcreusements importants de la vallée de la Touques (à un niveau situé environ 20 mètres plus bas que le niveau actuel) et de la vallée de la Seine (à un niveau situé environ 30 à 40 mètres plus bas que le niveau actuel au large de Trouville-sur-Mer et de Honfleur) ;
- du creusement de vallons étroits et encaissés entaillant le plateau crayeux ;
- de la formation des falaises dans les matériaux rocheux ou semi-rocheux "résistants" (craie et calcaires), suite notamment à de nombreux effondrements de pans entiers de craie (le froid favorisant la dissolution du carbonate de calcium) ;
- de la formation des versants à pentes relativement douces dans les sols (argile, gaize non consolidée, marne et sable) au niveau de la basse-vallée de la Touques et du vallon du ruisseau de Callenville notamment ;

- du développement des processus de colluvionnement sur les pentes entraînant le recouvrement des versants par des matériaux divers (mélange hétérogène de limon, d'argile, de sable, de silex et de blocs de craie), et du déclenchement de glissements de grande envergure (qui ont affecté notamment les argiles du Kimméridgien).

Les grands panneaux de craie effondrés en masse ont conservé leur cohésion et se comportent, sur le plan géotechnique, du fait de leur volume sensiblement de la même façon que la craie en place (plate-forme stable de la RD 513, niveaux de fondation d'importantes constructions). Ils peuvent être cependant affectés par des phénomènes de dissolution, qui peuvent être à l'origine d'affaissements et d'effondrements localisés en surface.

Il faut donc faire la distinction entre les phénomènes "fossiles" (dont certaines formes peuvent être retrouvées dans la morphologie actuelle des versants, bien que souvent masquées par un placage de limons éoliens) et la dynamique actuelle. En effet, de nombreux glissements affectant notamment le versant côtier ont très certainement été initiés lors des périodes "froides" du Quaternaire et continuent d'évoluer actuellement.

6.2 - Coupes géologiques schématiques

6.2.1 - Versant côtier

Dans le secteur caractéristique d'Hennequeville, a été établie la coupe géologique schématique présentée à la figure n°2.

La pente générale du versant, du sommet de la falaise supérieure n°13 à l'estran, est égale à 27 %. Elle est sensiblement plus faible entre le pied de la falaise supérieure et le sommet de la falaise inférieure n°17 et est égale à 15 % environ. Elle est cependant très irrégulière, avec des replats, des contre-pentes et des talus atteignant une pente de 50 %.

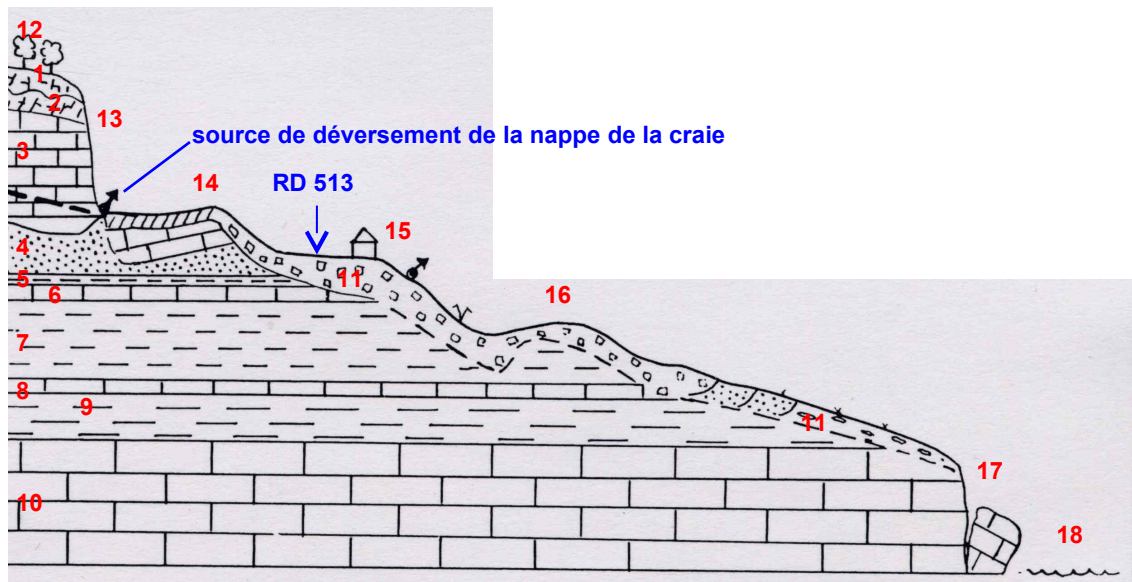


Figure n°2 : coupe géologique schématique du versant côtier à Hennequeville (source : LRPC de Rouen).

Légende :

- géologie :

- 1 : limons des plateaux
- 2 : formations résiduelles à silex
- 3 : craie du Cénomaniens (Crétacé)
- 4 : sable albien (Crétacé)
- 5 : glauconite (Crétacé)
- 6 : marno-calcaires du Kimméridgien (Jurassique)
- 7 : argiles et marnes du Kimméridgien (Jurassique)
- 8 : marno-calcaires du Kimméridgien et de l'Oxfordien (Jurassique)
- 9 : Argiles de Villerville (Jurassique)
- 10 : Calcaires de Hennequeville (Jurassique)
- 11 : formations superficielles de pente (avec prédominance de panneaux de craie effondrés dans la partie supérieure du versant)

- morphologie :

- 12 : plateau
- 13 : falaise supérieure subverticale (ou arrière falaise)
- 14 : talus entre la falaise n°12 et la RD 513, correspondant à une série de buttes bien drainées (présence de grands panneaux de craie effondrés en masse)
- 15 : talus de 15 à 20 m de hauteur, très bien marqué et continu de Hennequeville à Cricquebœuf
- 16 : talus correspondant à des buttes discontinues, bien drainées (blocs de craie effondrés de petites dimensions et érosion différentielle)
- 17 : falaise inférieure subverticale vive, soumise à l'érosion marine
- 18 : estran

6.2.2 - Versant à l'intérieur des terres

À l'intérieur des terres sur le territoire de la commune de Trouville-sur-Mer, le vallon du ruisseau de Callenville est l'un des thalwegs, entaillant le rebord du plateau de Saint-Gatien-des-Bois, au niveau de la basse-vallée de la Touques. La coupe géologique schématique, présentée à la figure n°3, peut y être dressée.

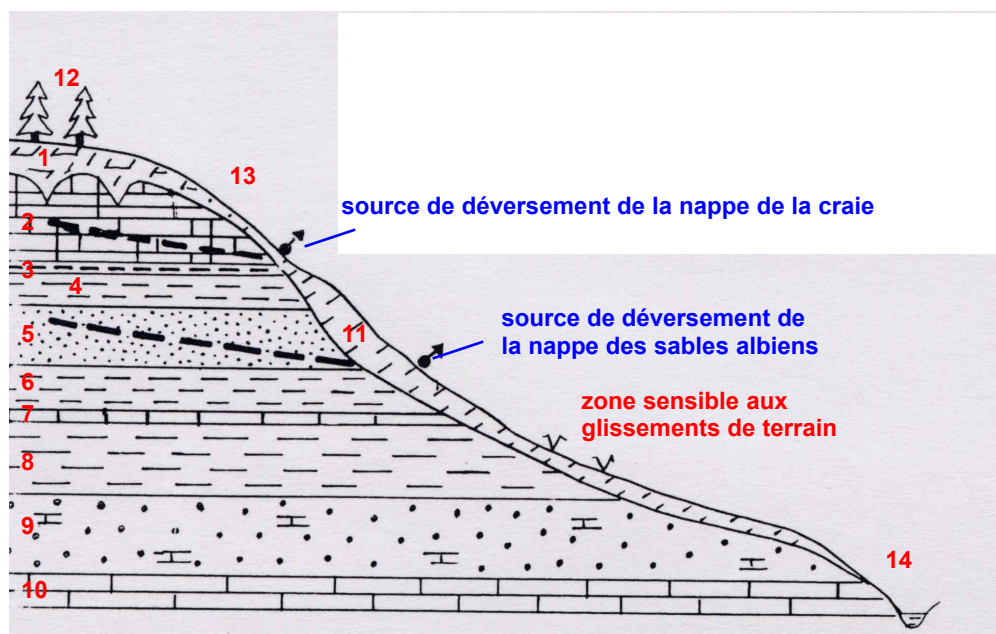


Figure n°3 : coupe géologique schématique d'un versant à l'intérieur des terres.

Légende :

- géologie :

1 : limons des plateaux et formations résiduelles à silex

2 : craie du Cénomane (Crétacé)

3 : glauconie de base (Crétacé)

4 : Argiles du Gault

5 : sables albiens (Crétacé)

6 - 7 - 8 : argiles, marnes et calcaires du Kimméridgien et de l'Oxfordien Supérieur (Jurassique)

9 : Argiles de Villerville et Calcaires de Hennequeville, passant progressivement latéralement aux Sables de Glos (Jurassique)

10 : calcaires de l'Oxfordien Supérieur (Jurassique)

11 : formations superficielles de pente

- morphologie :

12 : bordure du plateau (zone stable ayant atteint un degré d'évolution avancé)

13 : partie supérieure du versant de forme convexe, à pente raide et à surface assez régulière (craie recouverte par des éboulis à silex)

14 : incision fluviale du pied du versant de forme concave (avec un replat à la base), ravinement étroit et profond

6.3 - Phénomènes d'instabilité sans surface de rupture nette

La morphologie de détail de nombreux versants instables sur les communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf se caractérisent très souvent par des formes molles et irrégulières, donnant au couvert végétal des pentes un aspect "moutonné". Ce "moutonnement" est le résultat du développement de petits glissements superficiels et de l'accélération des phénomènes de reptation. La reptation désigne l'ensemble des mouvements de migration vers le bas des particules fines des premiers décimètres des formations superficielles de pente sous l'action du travail des végétaux et des animaux, des infiltrations des eaux météoriques, des cycles gel / dégel, des variations de température, etc.

Ces phénomènes sont très souvent caractéristiques d'un mouvement d'ensemble, de cinématique très lente à lente (vitesse moyenne comprise entre 1 mm/an et 1 cm/an), lié à des déformations plastiques au sein des formations superficielles de pente (comprenant généralement des fractions argileuse et limoneuse non négligeables), suite à leur saturation progressive en eau (infiltration des eaux météoriques, alimentation par les différentes nappes, incisions liées au ruissellement concentré). Ils sont regroupés sous le terme de mouvements de fluage (ou de solifluxion).

Dans le cas où les contraintes à l'intérieur des massifs de sols sont fortes, les mouvements de fluage se poursuivent par une accélération et, éventuellement, une rupture progressive localisée (formation d'une surface de rupture) avec évolution en glissement.

Suite à des conditions climatiques exceptionnelles (très forte pluviosité contrôlant un apport d'eau très important), la teneur en eau des matériaux meubles superficiels peut dépasser une valeur critique, qui les liquéfie. Se déclenchent alors des glissements superficiels ou des coulées boueuses, mouvements de type visco-plastique très rapides (vitesse moyenne comprise entre quelques cm/s et 1 m/s). Ce mécanisme de rupture explique en partie les départs de matériaux et les vidanges de poches d'argile au sommet de la falaise supérieure crayeuse du versant côtier (par exemple au sommet de l'arrière-falaise des Creuniers suite à l'orage du 1^{er} juin 2003).



Figure n°4 : photographie le 4 avril 2001 d'un départ de matériaux au sommet de la falaise supérieure des « Creuniers » à Trouville-sur-Mer (source : DIREN Basse-Normandie - SIDPC du Calvados).

6.4 - Phénomènes d'instabilité avec surface de rupture

6.4.1 - Éboulements de talus de la falaise de débris à Villerville

L'érosion marine au pied du versant côtier a taillé, dans les formations superficielles de pente, faiblement résistantes et peu consolidées, une falaise basse meuble, d'une hauteur de quelques mètres, encore appelée « falaise de débris », notamment au débouché des vallons perchés (en particulier celui de Villerville).

Le recul progressif du trait de côte se produit par à-coups (notamment pendant les tempêtes, évènements majeurs d'érosion, et sous l'effet des autres agents climatiques extérieurs). Lorsque la falaise n'est pas protégée, il est responsable du développement de désordres plus ou moins permanents, du fait du raidissement de la pente moyenne et de l'absence de butée de pied (ravinement, détachement et chute de silex, déclenchement de glissements de talus de faibles volumes, etc.).



Figure n°5 : photographie le 4 avril 2001 de départs de matériaux par ravinement et éboulements au niveau de la falaise de débris à Villerville (source : DIREN Basse-Normandie – SIDPC du Calvados).

Au droit du bourg de Villerville, entre 1829 (date de l'établissement du cadastre napoléonien) et la construction du mur-digue de la rue des Bains (qui remonterait au début du XX^e siècle), le recul de la falaise a été relativement rapide et estimé entre 6 et 25 mètres par M. MAQUAIRE.

6.4.2 - Glissements affectant le versant côtier

Le versant côtier sur les territoires des communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf est affecté par des glissements de terrain actifs, présentant des dimensions importantes. Les surfaces de glissement de ces derniers sont généralement situées au niveau de l'interface entre les formations superficielles de pente et les formations géologiques en place (en particulier argileuses). Ces glissements correspondent aux remises en mouvement le long des versants des épaisses formations solifluées d'âge quaternaire ; leur épaisseur courante est d'environ 20 mètres et leur volume est de l'ordre de plusieurs centaines de milliers de m³. Aucun élément ne permet de présager une stabilisation « naturelle » du site.

Il s'agit de glissements complexes (les surfaces de glissement sont en très grande partie planes), emboîtés et à évolution régressive (le profil d'équilibre du versant n'est actuellement pas atteint). En effet, chaque glissement est en général constitué de plusieurs éléments monolithiques (ou blocs), jouant indépendamment les uns des autres, d'où la formation de « grabens » (ou fossés d'effondrement), d'escarpements secondaires et de zones de contre-pente, qui donnent à la pente du versant une morphologie très irrégulière.

Les zones d'instabilité quasi-permanentes sont limitées, en amont des glissements, par un escarpement principal continu, souligné par un talus généralement d'une hauteur de plusieurs mètres dans les propriétés en aval de la RD513 ou par une fracture traversant la RD513 en plusieurs points.

La régression des glissements, se traduisant par le recul de l'escarpement principal, se produit par petits glissements successifs, affectant en amont des bandes de terrain de plusieurs mètres de largeur initialement stables. Le déclenchement de ces glissements est toujours précédé de signes annonciateurs (développement de fissures et de fractures dans les terrains et dans les bâtiments, puis décrochement). À l'échelle humaine, « l'observation des désordres relativement récents, ajoutée à celles des vestiges de constructions plus anciennes, montre une progression des glissements vers l'amont de l'ordre de 25 à 50 mètres en un siècle » (rapport de présentation du PER, page 34).

Le déclenchement de telles instabilités est le résultat de la combinaison des actions de conditions défavorables permanentes et de facteurs déclenchants.

Les conditions défavorables permanentes sont en général les suivantes :

- valeur de la pente ;
- nature des formations géologiques en place (présence de niveaux argileux, succession de couches perméables aquifères et de couches argileuses très peu perméables) ;

- nature et épaisseur des formations superficielles de pente. La présence de formations superficielles de pente solifluées peut conditionner la préexistence de glissements de terrain « fossiles », correspondant à d'anciens mouvements aujourd'hui stabilisés, mais sensibles à une perturbation d'origine naturelle ou humaine ;
- caractéristiques mécaniques (ainsi que leur endommagement progressif) des formations géologiques en place et des formations superficielles de pente ;
- existence de nappes, de circulations d'eau, de zones humides et de ruissellement concentré (favorisant une saturation progressive des terrains) ;
- existence d'un couvert végétal. Une couverture végétale dense joue en effet un rôle de protection contre l'érosion des versants. *A contrario*, le poids et la prise au vent d'arbres faiblement enracinés sur des versants peuvent augmenter le risque de glissement superficiel.

Les facteurs déclenchants susceptibles de rompre l'état d'équilibre initial d'un versant sont :

- soit d'origine naturelle :
 - élévation des niveaux piézométriques des nappes et des circulations d'eau dans les formations superficielles de pente, très souvent en relation avec la pluviométrie. Il a été montré que le temps de réponse piézométrique aux précipitations effectives est de l'ordre de 4 à 5 jours à Villerville et Cricquebœuf ;
 - affouillement en pied de versant par la mer. L'érosion marine est particulièrement intense dans les secteurs non protégés par des enrochements naturels ou artificiels. Le déblaiement progressif des matériaux glissés et/ou éboulés ne permet pas de constituer une butée de pied stabilisatrice. Dans ces conditions, le versant n'atteint jamais son profil d'équilibre ;
 - blocage des émergences des nappes et des écoulements par le gel (hypothèse retenue dans un premier temps pour expliquer en partie la réactivation du glissement du Cirque des Graves en janvier 1982, puis abandonnée) ;
- soit d'origine anthropique :
 - modification de la géométrie de la pente (raidissement) ou suppression de la butée en pied de versant (déblai dans une pente) ;
 - surcharge apportée sur une pente par une construction (remblai, fondation, soutènement) ;
 - modification du régime hydrologique naturel de la pente ;
 - infiltrations d'eau en provenance d'ouvrages et de réseaux enterrés ;

- modification de l'utilisation des sols (élimination de la végétation, destruction des haies, déforestation, abandon des anciens dispositifs de drainage agricole, imperméabilisation de certaines surfaces favorisant le ruissellement, etc.).



Figure n°6 : photographie d'un glissement de talus en pied du versant côtier boulevard Breguet à Trouville-sur-Mer le 30 novembre 2005.

Les importants glissements affectant le versant côtier sont caractérisés par des mouvements permanents présentant une cinématique lente, avec des phases d'accélération brutale, en fonction de l'intensité de l'érosion marine et de l'élévation des niveaux piézométriques des nappes et des circulations d'eau dans les formations superficielles de pente (en relation étroite avec les conditions climatiques). Ces accélérations ont par exemple entraîné la fermeture à la circulation de la RD513 en 2001.

Quatre zones de glissements importants, séparées par des vallons à drainage permanent, peuvent être individualisées. Elles sont chacune caractérisées par un profil géologique de versant particulier. Les formations superficielles de pente recouvrant initialement les versants au droit des vallons ont été déblayées progressivement par l'érosion : ces versants peuvent actuellement être considérés comme stables. L'extension latérale de ces quatre zones correspond très certainement à des axes naturels d'écoulements préférentiels en profondeur (orientés suivant la ligne de plus grande pente). Au cours des dernières années, six grandes phases de réactivation des glissements sont connues : hivers 1966 - 1967, 1974 - 1975, 1981 - 1982, 1987 - 1988, 1994 - 1995 et 2000 - 2001.

a) Les Roches Noires à Trouville-sur-Mer (au droit du lieu-dit « Le Chant des Oiseaux ») entre les protections contre la mer de Trouville-sur-Mer et le vallon d'Hennequeville. Les « Roches Noires » désignent les gros blocs de calcaire gréseux éboulés sur la plage au nord-est de Trouville-sur-Mer.

La pente générale du versant est égale à 25 % environ (ordre de grandeur moyen). En partie haute du versant (arrière-falaise), les formations crayeuses plus résistantes arment un talus raide peu élevé (d'une hauteur de 20 mètres environ). La partie du versant comprise entre ce talus et la RD 513 est caractérisée par la présence de grands panneaux de craie effondrés. La partie inférieure du versant est affectée par des glissements régressifs de grande ampleur, initiés en particulier par le recul progressif d'une falaise inférieure armée par des bancs marno-calcaires (généralement recouverts par des éboulis de pente).

Suite à des conditions climatiques exceptionnelles (très forte pluviosité contrôlant un apport d'eau très important), des glissements superficiels peuvent se déclencher dans la faible épaisseur de terrains recouvrant les formations crayeuses altérées au niveau de l'arrière-falaise du Chemin des Frémonts.

b) Les Creuniers à Trouville-sur-Mer entre le vallon d'Hennequeville et le vallon du Grand Bec.

La pente générale du versant est égale à 31 % environ (ordre de grandeur relativement élevé). En partie haute du versant, les formations crayeuses constituent une falaise supérieure subverticale, d'une hauteur maximale d'une trentaine de mètres (arrière-falaise des Creuniers). La partie du versant comprise entre cette falaise supérieure et la RD 513 est caractérisée par la présence de grands panneaux de craie effondrés.

La partie inférieure du versant (au lieu-dit « Les Graves ») est affectée par des glissements régressifs de grande ampleur, initiés en particulier par le recul progressif d'une falaise inférieure subverticale, armée par des bancs calcaires massifs (Calcaires d'Hennequeville). À l'ouest de la Pointe du Heurt, M. MAQUAIRE a estimé ce recul compris entre 10 et 15 m entre 1829 et 1978 (soit une vitesse moyenne annuelle inférieure à 10 cm).

Suite à des conditions climatiques exceptionnelles (très forte pluviosité contrôlant un apport d'eau très important), des glissements superficiels peuvent se déclencher dans les formations résiduelles à silex et dans la faible épaisseur de terrains recouvrant les formations crayeuses altérées au niveau de l'arrière-falaise des Creuniers (à l'origine d'un accident corporel suite aux orages du 1^{er} juin 2003). En un point, le 1^{er} juin 2003, un arbre de haut jet emporté par un glissement superficiel a atteint la chaussée de la RD 513.

Cette falaise est également le lieu de départ de fréquentes chutes de pierres et de blocs de craie, notamment sur la RD 513 au droit du sémaphore de Villerville (construit en 1910 - 1912).

c) Le Cirque des Graves à Villerville entre le vallon du Grand Bec et l'extrémité sud-ouest du bourg de Villerville.

La pente générale du versant est égale à 20 % environ (ordre de grandeur moyen). Les « falaises » supérieure et inférieure sont des talus présentant des pentes moyennes (25 à 30 %). La partie du versant comprise entre la falaise supérieure et la RD 513 est caractérisée par la présence de grands panneaux de craie effondrés.

La falaise inférieure, au nord-est de la pointe du Heurt, est une falaise basse taillée dans des matériaux meubles de type « head » (avec localement des affleurements de niveaux argileux de couleur sombre en pied, qui sont des extrusions de formations du substratum au niveau du bourrelet de pied du glissement). M. MAQUAIRE a estimé le recul de cette falaise compris entre 60 et 70 m entre 1829 et 1987 (soit une vitesse moyenne annuelle égale à 40 cm environ). À l'extrémité ouest du glissement, la pointe du Heurt bloque partiellement l'érosion marine (vitesse moyenne annuelle de recul inférieure à 10 cm).

Une accélération brutale des mouvements, précédée de signes précurseurs, s'est produite dans la nuit du 13 au 14 janvier 1982, suite à une période particulièrement pluvieuse et un épisode de gel intense. Elle s'est manifestée par l'ouverture d'une fissure de traction continue sur un linéaire de 1400 mètres entre la pointe du Heurt et le bourg de Villerville. En partie inférieure du versant, un soulèvement sur une hauteur de 2 mètres dans les sables littoraux au sommet de la plage (« bourrelet » du glissement) avait été observé, ainsi que des désordres sur les épis en enrochements. La surface du versant concernée par ces mouvements avait été estimée à environ 20 ha ; une dizaine de résidences avaient été détruites ou gravement endommagées.

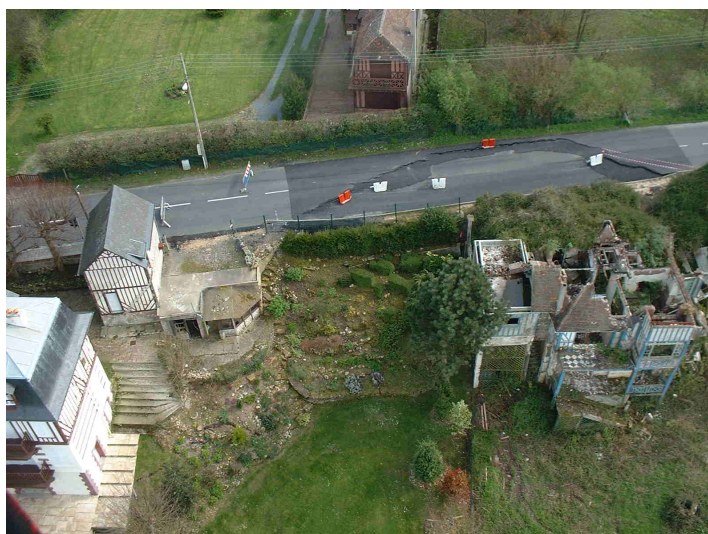


Figure n°7 : photographie le 4 avril 2001 de la partie supérieur du glissement du Cirque des Graves au niveau de l'ancienne villa « Trescartes » à Villerville (source : DIREN Basse-Normandie - SIDPC du Calvados).

d) Le Cirque des Fosses du Macre à Villerville et Cricquebœuf entre l'extrémité nord-est du bourg de Villerville et le cordon littoral de Pennedepie (ancien méandre de la Seine).

Le glissement du Cirque des Fosses du Macre est le symétrique du glissement du Cirque des Graves par rapport au vallon de Villerville (dans l'axe duquel est implanté le bourg de Villerville). La pente générale du versant est égale à 15 % environ (ordre de grandeur faible). De grands panneaux de craie effondrés sont également présents en partie supérieure, en amont de la RD 513, et sont masqués par une couverture de limons éoliens.

La falaise inférieure, entre le bourg de Villerville et le cordon littoral de Pennedepie, est une falaise basse taillée dans des matériaux meubles de type « head » (avec localement des affleurements de niveaux argileux de couleur sombre en pied). M. MAQUAIRE a estimé le recul de cette falaise égal à 70 m entre 1809 et 1978 (soit une vitesse moyenne annuelle égale à 40 cm environ, identique à celle calculée au droit du Cirque des Graves). La vitesse moyenne de recul du cordon littoral de Pennedepie est plus importante (comprise entre 60 et 110 cm par an).

Des accélérations brutales des mouvements sont connues (en général simultanément aux accélérations des mouvements du Cirque des Graves) : 13 - 14 janvier 1982 (de moindre importance que les mouvements du Cirque des Graves), 12 - 13 février 1988, février - mars 1995 et 23 - 24 mars 2001.

Au niveau de la couronne du glissement (*cf.* figure n°9), les villas, ainsi que la RD 513 (ancienne RN 813), ont été installées sur une zone de replat, actuellement stable, qui est armée très certainement par un unique panneau de craie de grandes dimensions glissé/effondré (c'est-à-dire non en place). C'est pourquoi le sondage réalisé en 1965 par le Maire de Cricquebœuf dans la propriété des « Symphorines » a traversé des formations crayeuses fissurées présentant de bonnes caractéristiques mécaniques ; ces dernières, très altérées, affleurent au niveau de l'escarpement principal du glissement. La figure n°8 ci-après présente la coupe géologique schématique du versant, extraite du rapport n°4677 de septembre 1973 du LRPC de Rouen.

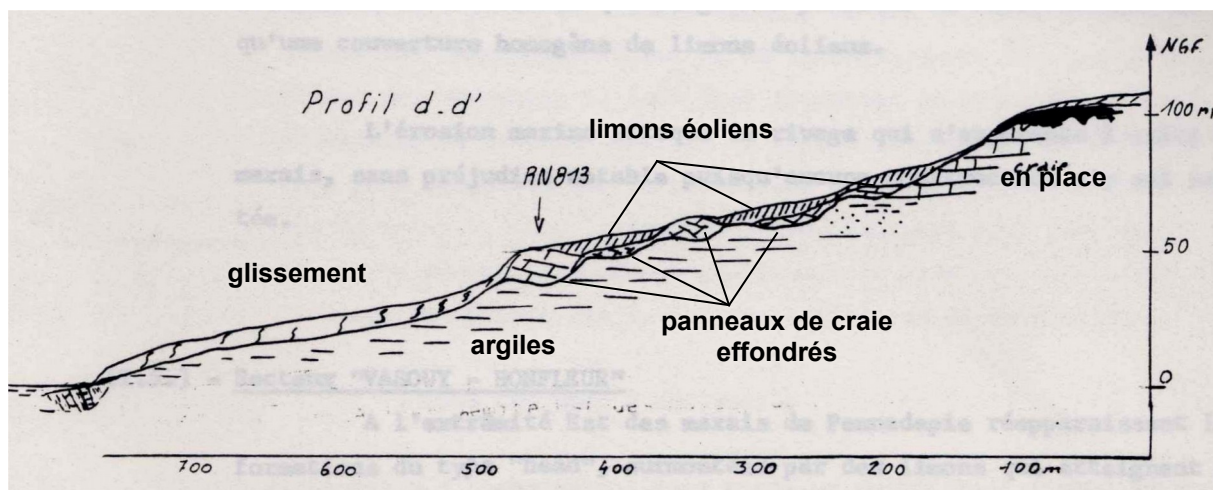


Figure n°8 : coupe géologique schématique du versant côtier au droit du Cirque des Fosses du Macre à Cricquebœuf (source : LRPC de Rouen).



Figure n°9 : photographie le 4 avril 2001 de la partie supérieure du glissement du Cirque des Fosses du Macre à Cricquebœuf (source : DIREN Basse-Normandie - SIDPC du Calvados).

Les glissements du Cirque des Graves et du Cirque des Fosses du Macre font l'objet, depuis novembre 2002, d'un suivi régulier par l'Observatoire des Mouvements de Terrain du Calvados (Université de Caen, pour le compte de la DIREN Basse-Normandie). Le principe de la surveillance est basé sur la détection de mouvements en surface (relevés réguliers de 22 repères topographiques, mesures régulières du basculement de 20 embases métalliques au moyen d'une nivelle à vis micrométrique, mesure en continu du niveau d'eau dans un piézomètre au lieu-dit « la Licorne », analyse de l'évolution de deux profils de plage). La période entre novembre 2002 et septembre 2005 a été caractérisée par un déficit pluviométrique (expliquant un niveau piézométrique des circulations d'eau dans les formations superficielles de pente relativement bas), et donc une cinématique relativement lente des deux grands glissements de terrain.

6.4.3 - Glissements affectant les versants à l'intérieur des terres

Les versants naturels à l'intérieur des terres sont recouverts, d'une manière générale, par une épaisseur de formations superficielles de pente solifluées plus faible que celle recouvrant le versant côtier. Le déclenchement de telles instabilités est également le résultat de la combinaison des actions de conditions défavorables permanentes et de facteurs déclenchants, qui sont sensiblement identiques à ceux présentés au paragraphe 6.4.2. ci-avant.

Les principales différences sont les suivantes :

- l'épaisseur des formations superficielles de pente solifluées est plus faible (de l'ordre de quelques mètres) ;
- l'érosion en pied de versant est plus faible et est principalement le fait de l'érosion des berges des ruisseaux (appelés « douets » dans la région de Trouville-sur-Mer).

6.5 - Zones urbanisées

L'urbanisation complète d'un secteur modifie l'état initial des terrains :

- une grande partie des eaux de ruissellement est captée et évacuée par des réseaux d'assainissement ;
- les fondations des bâtiments et des différentes structures créent des "ancrages" dans le terrain ;
- les murs de soutènement limitent l'évolution des mouvements superficiels des terrains.

Cependant, ces modifications sont très insuffisantes pour stopper les mouvements de terrain de grande ampleur. Ainsi de nombreux bâtiments et structures (en particulier des murs de soutènement) présentent des désordres (fissuration, déformation importante, ruine, etc.).

7 - DESCRIPTION DES PHÉNOMÈNES D'ÉBOULEMENTS ROCHEUX

Les talus rocheux raides, susceptibles d'être affectés par ce type de phénomènes, sont rares sur les territoires des communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf. Par exemple, la falaise inférieure au sud-ouest de la pointe du Heurt, armée par les bancs calcaires jurassiques, est intensément soumise à l'érosion marine, facilitée par la présence de fissures ouvertes et l'éventuelle karstification des calcaires.

Dans le cadre du présent PPR, seuls seront pris en compte les éboulements rocheux détachés de l'arrière-falaise des Creuniers. Cette dernière présente un linéaire d'environ 450 mètres, et est armée par des bancs fissurés de craie jaune à beige et des bancs de silex appartenant à la formation de la Craie glauconieuse du Cénomaniens. La craie est très altérée superficiellement. La hauteur des escarpements subverticaux est généralement comprise entre 15 et 30 mètres ; ils sont localement recouverts par une végétation très dense. Au niveau du sémaphore, la falaise subverticale est déportée d'une quinzaine de mètres environ par rapport à l'accotement de la RD513, dont l'aménagement de la plate-forme a nécessité la création d'un déblai dans le talus d'éboulis anciens.

Les éboulements rocheux sont les résultats de la dégradation progressive, notamment sous l'action des agents climatiques extérieurs, de la falaise. Certains volumes rocheux, prédécoupés par des systèmes de discontinuités naturelles, sont ainsi amenés dans un état d'équilibre limite. Ces discontinuités constituent des surfaces de faiblesse préexistantes, soumises à des processus de vieillissement (induisant des pertes de cohésion), et guident les éventuelles ruptures. Au niveau de l'arrière-falaise des Creuniers, les éboulements rocheux sont ainsi dus à la conjonction de conditions défavorables permanentes (nature pétrographique et forte sensibilité à l'eau de la craie et des calcaires, structure géologique et tectonique, facteurs morphologiques, ensoleillement) et de facteurs d'érosion déclenchants externes.

7.1 - Description des facteurs d'érosion externes

Parmi les facteurs d'érosion externes, peuvent être distingués :

a) les actions continentales :

- le gel est l'agent d'érosion prépondérant. Lors d'une période de froid relativement longue et rigoureuse, la zone concernée par le gel peut atteindre et dépasser le mètre. Des phénomènes de fissuration (gélifraction) peuvent se développer et s'accroître compte tenu de l'anisotropie de dilatation de la matrice poreuse (influence des variations thermiques à l'origine d'une micro-fissuration) et du gel de l'eau piégée dans les discontinuités et les pores. Cela conduit au sous-cavage des bancs crayeux les plus sensibles par écaillages et donc à la création de surplombs (correspondant généralement aux bancs de craie noduleux recristallisés et aux bancs de silex) ;
- le lessivage de la paroi de la falaise par les eaux pluviales (phénomènes de pulvérulence, de desquamation et de désagrégation granulaire hétérogène avec formation d'alvéoles, observées sur les fronts de l'arrière-falaise des Creuniers) ;
- la mise en pression des circulations des eaux d'infiltration dans les discontinuités de la craie et dans le réseau karstique, lors de fortes alimentations. Les éboulements en crête de falaise peuvent être portés à saturation en cas de fortes précipitations et s'ébouler ;

- le vent peut entraîner le déchaussement de pierres et de petits blocs en état de stabilité précaire au niveau de la paroi, le basculement d'arbres en sommet de falaise (dont la chute peut être également accompagnée du déchaussement de blocs).

b) les actions chimiques (notamment la dissolution du carbonate de calcium par les eaux d'infiltration, y compris due à la présence de dépôts secs et humides de composés soufrés, voire par les végétaux).

c) les actions biologiques (végétaux et oiseaux). En particulier, les racines des végétaux pénètrent dans les fissures de la craie et les écartent, favorisant ainsi l'infiltration des eaux de ruissellement et la désolidarisation des compartiments crayeux. Les racines des arbres atteignent souvent l'équivalent d'une fois et demi leur hauteur.

d) les actions physiques, souvent d'origine anthropique (excavations, vibrations, absence de maîtrise des eaux de ruissellement, *etc.*).

7.2 - Description des types et modes de rupture

Usuellement, les phénomènes suivants sont distingués :

- les chutes de pierres (volumes élémentaires inférieurs à 1 dm³) ;
- les chutes de blocs (volumes élémentaires compris entre 1 dm³ et 1 m³) ;
- les chutes de gros blocs (volumes élémentaires supérieurs à 1 m³) ;
- les éboulements en masse de volumes rocheux plus importants (supérieurs à 100 m³), dont :
 - les éboulements de pied liés à des sous-cavages, qui correspondent aux décollements d'écailles, de plaques en forme de coin ou de panneaux (volumes délimités en arrière par une fracture subparallèle à la falaise) atteignant rarement la moitié de la hauteur de la falaise ;
 - les écroulements de panneaux ou de colonnes concernant toute la hauteur de la falaise.

Aucun éboulement en masse n'est connu dans le passé sur les territoires des communes de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf.

Les modes de rupture les plus courants des éboulements de volumes rocheux importants sont :

- la rupture de pied, y compris la rupture d'un pilier d'une cavité souterraine sous-cavant la falaise (*cf.* figure n°10) ;

- la rupture par basculement, par appel au vide (cf. figure n°11) ;
- la rupture en traction, par décollement d'un surplomb ou d'une dalle au toit d'une cavité souterraine (cf. figure n°12).

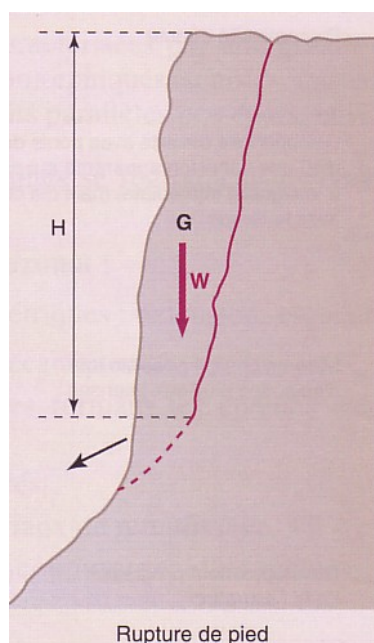


Figure n°10 : schéma de principe d'une rupture de pied (LCPC)

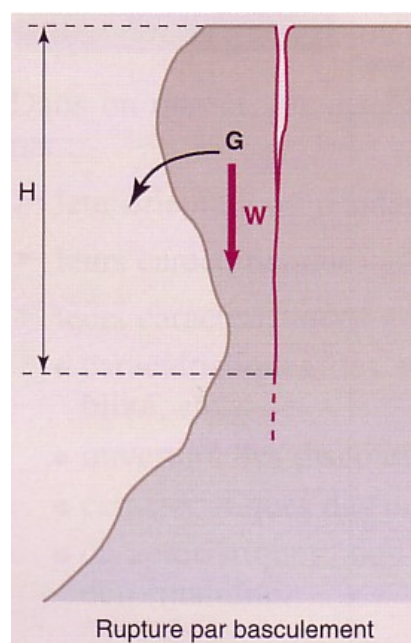


Figure n°11 : schéma de principe d'une rupture par basculement (LCPC)

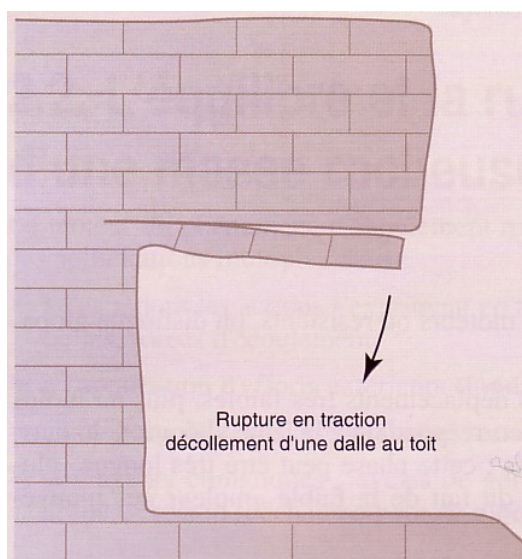


Figure n°12 : schéma de principe d'une rupture en traction (LCPC)

Il est impossible de prédire la date de déclenchement de ces instabilités. En l'absence d'une connaissance exhaustive des événements passés et compte-tenu du linéaire peu important de falaise concernés, il est impossible d'estimer globalement une probabilité d'occurrence au cours d'une certaine période (ou un temps de retour), à l'échelle de l'ensemble du secteur.

8 - CARTE DE LOCALISATION DES PHÉNOMÈNES

La carte de localisation des phénomènes présente les informations issues du recueil et de l'analyse d'informations, à partir de la collecte de documents existants et archives, d'enquêtes orales, de la photo-interprétation (examen de photographies aériennes verticales de l'IGN) et d'observations sur le terrain.

La liste des documents consultés dans le cadre de l'établissement de cette carte informative (carte géologique, carte ZERMOS, PER, thèse, articles, rapports d'expertise et d'étude, *etc.*) est jointe en annexe.

La méthode de levé de terrain, mise en point par le LRPC de Rouen et adoptée pour l'établissement des cartes ZERMOS et du PER, a été reprise. Elle repose sur l'identification et le recensement des formes résultant de trois dynamiques principales d'évolution, en plus de l'analyse des grandes lignes du relief (valeur de pente, présence de talus, de ruptures de pente, *etc.*) :

- l'incision liée au ruissellement concentré. Le réseau hydrographique a en effet été à l'origine de tous les vallons, qui ont entaillé profondément les niveaux argileux faiblement résistants de l'Albien, du Kimméridien et de l'Oxfordien ;
- l'action des écoulements d'eau en profondeur (zones d'émergence ou de stagnation d'eau : imprégnation, sources, marécages, *etc.*), à l'origine de la poursuite des phénomènes de solifluxion ;
- les reptations superficielles de faible ampleur sous les conditions climatiques générales (moutonnements de la couverture superficielle, bourrelets de solifluxion et cicatrices d'arrachements anciens).

La carte de localisation des phénomènes est jointe au présent rapport.

Les principaux mouvements de terrain identifiés (avec les dommages aux personnes et aux biens) sont récapitulés, par secteur, dans les tableaux ci-après.

Secteur	Évènements connus
<p>Arrière-falaise du Chemin des Frémonts (Trouville-sur- Mer)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2 novembre 1974 : éboulement / glissement de terrain de plusieurs dizaines de m³ de matériaux dans les propriétés « Le Clos des Ormeaux » et « Le Manoir de la Cour Brûlée » (sans dommage pour les bâtiments) et déviation du Chemin des Frémonts au droit des réservoirs d'eau (fiche BDMvt n°61401495) ; ▪ 1978 : éboulement / glissement de terrain non localisé (mentionné dans un article de presse) ; ▪ 21 février 1999 : éboulement / glissement de terrain de plusieurs dizaines de m³ de matériaux dans la propriété « Le Clos des Mûriers » (sans dommage pour les bâtiments) et interdiction d'accès au Chemin des Frémonts (fiches BDMvt n°61401112 et n°61401499) ; ▪ 1^{er} juin 2003 : deux éboulements / glissements de terrain superficiels de part et d'autre de la villa « Le Manoir de la Cour Brûlée (« plusieurs dizaines de m³ »), sans dommage pour l'habitation (avec arrêté de péril) (fiches BDMvt n°61401505 et n°61401506) ; un éboulement / glissement de terrain superficiel ayant atteint la villa « Les Merisiers », sans dommage pour l'habitation (avec arrêté de péril) (fiche BDMvt n°61401507) ; un éboulement / glissement de terrain superficiel de quelques dizaines de m³ dans la résidence « Les Flots Bleus », sans dommage pour les bâtiments (sans arrêté de péril) (fiche BDMvt n°61400001) ; ▪ les fiches BDMvt n°61401261 et n°61401262 correspondent également à des instabilités de l'arrière-falaise ;
<p>Glissements des Roches Noires et de la Route de la Corniche (Trouville-sur- Mer)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1975 : « affaissements » affectant la RD 513 (ancienne RN 813) (fiche BDMvt n°61401088) ; ▪ 1981 et hiver 1982 - 1983 : affaissement de la Route de la Corniche en amont du calvaire (fiche BDMvt n°61401496) ; ▪ 16 - 17 décembre 1998 : glissement de terrain au droit de la villa « Le Chalet de la Côte » (avec arrêté de péril), ayant entraîné une partie du Chemin de la Source (fiches BDMvt n°61401100 et n°61401498) ; ▪ 1^{er} semestre 1999 : glissement de terrain au droit des propriétés 1 et 3 boulevard Aristide Briand, approximativement au PR12+600 de la RD 513 (fiche BDMvt n°61401119, réparation en 2002 - 2003 par la réalisation d'une paroi micro-berlinoise tirantée) ; ▪ 28 janvier 1999 : glissement de terrain Chemin de la Source, en amont de la villa « Le Chalet de la Côte » ; ▪ décembre 1999 : affaissement de la Route de la Corniche en amont du calvaire (fiche BDMvt n°61401501) ; ▪ avril 2001 : fissuration généralisée de la villa « Les Vikings » (arrêté de péril le 30 avril 2001 et démolition le 27 juin 2001) (fiches BDMvt n°61401126 et n°61401493) ; ▪ 2002 : constatation de désordres affectant la villa « Le Prémanoir » par M. FLAGEOLLET, Professeur à l'Université de Strasbourg ; ▪ 1^{er} juin 2003 : glissement de terrain d'un volume maximal de 50 m³ Route de la Corniche à proximité du calvaire (fiche BDMvt n°61401053, réparation par un voile en béton armé et un clouage passif en 2005 - 2006) et glissement de terrain superficiel Chemin de la Source dans la propriété « Les Roches », 13 boulevard Aristide Briand (sans arrêté de péril) (fiche BDMvt n°61401510) ; ▪ 30 novembre 2005 : glissement de terrain de plusieurs dizaines de m³ dans la propriété GARCIA (parcelle au nord de la villa « La Brise », 6 boulevard Breguet) lors des travaux de construction d'un mur de soutènement ; ▪ les fiches BDMvt n°61401092, n°61401098 et n°61401257 à n°61401260 correspondent également au glissement des Roches Noires ;

Secteur	Évènements connus
<p>Glissement des Creuniers (Trouville-sur-Mer)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ années 1960 - 1970 : « plusieurs maisons dangereusement lézardées » et « tassement continu de la route » (LRPC de Rouen) ; ▪ vers 1975 : arrêté de péril et démolition de la villa « L'Abri Côtier » (fiche BDMvt n°61401491) ; ▪ mars - avril 2001 : fissuration généralisée de la villa « Le Manoir des Fauvettes » (propriété CAMBRESY), sans arrêté de péril (fiche BDMvt n°61401122) ; ▪ 1^{er} juin 2003 : arrêté de péril concernant l'habitation de la propriété ALBUQUERQUE (63 route de Honfleur) (fiche BDMvt n°61401494) ; ▪ les fiches BDMvt n°61401096, n°61401248 à n°61401256 correspondent également au glissement des Creuniers ;
<p>Falaise des Creuniers (Trouville-sur-Mer)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1938 : constatation de vidanges de poches d'argile à silex, d'importance très limitée, par M. DANGEARD, Professeur à la Faculté de Caen ; ▪ 19 septembre 1999 : chute d'un gros bloc crayeux d'une tonne environ, ayant franchi la RD 513 et atteint la cour de la villa « Le Week-End » (fiche BDMvt n°61401500) ; ▪ 31 mars 2001 : éboulement important dans la propriété HAUTOT (n'ayant pas atteint l'habitation) (fiche BDMvt n°61401502) ; connaissance de précédentes chutes de pierres et de blocs au sud-ouest de cette propriété ; ▪ 21 mars 2001 : éboulement d'un volume de craie et de matériaux meubles en bordure de la RD 513 au droit de la villa « Le Manoir des Fauvettes », ayant entraîné la fermeture de la route départementale (fiche BDMvt n°61401134) ; ▪ 2003 : glissement superficiel dans la propriété « Le Manoir de la Huchette » (fiche BDMvt n°61401504) ; ▪ 4 janvier 2003 : éboulement d'une dizaine de m³ au droit de la maison principale de la propriété BOUBERT, ayant entraîné des dommages sur l'habitation (fiche BDMvt n°61401503) ; ▪ 1^{er} juin 2003 : trois éboulements (d'un volume individuel compris entre 50 et 300 m³) : un dans la propriété LEROUX (ayant atteint l'habitation et entraîné des dommages sur cette dernière) (fiche BDMvt n°61401087), un dans la propriété HAUTOT (fiche BDMvt n°61401071) et un dans la propriété BOUBERT (ayant atteint l'habitation principale, sans dommage majeur pour cette dernière, et ayant détruit en très grande partie l'habitation secondaire en provoquant un blessé grave) (fiche BDMvt n°61401077) ; un arbre entraîné par un éboulement a également atteint la chaussée de la RD513 ;

Secteur	Évènements connus
Autres secteurs de Trouville-sur-Mer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vers 1975 : arrêté de péril et démolition d'une villa dans le Parc de Hennequeville ; ▪ janvier 1982 : glissement de terrain rotationnel ayant concerné l'Avenue Cordier au droit de la résidence « Le Calme » (fiche BDMvt n°61401492) ; ▪ 17 décembre 1987 : arrêté de péril concernant la villa « La Trirème » dans le Parc d'Hennequeville ; ▪ 1990 (approx.) : glissement du talus de la propriété « Le Clos Pentu » (ancienne route de Villerville) sur la chaussée du Chemin de la Forge) ; ▪ 1^{er} juin 2003 : glissement superficiel d'un talus de déblai de la résidence « La Vallée d'Auge », ayant concerné 5 à 10 m³ de matériaux, sans dommage pour les bâtiments (fiche BDMvt n°61401063) ; un glissement de talus rue du Nouveau Monde (fiche BDMvt n°61401509) ; trois glissement de talus Chemin de Callenville (dont les volumes individuels sont approximativement égaux à 6 m³, 25 m³ et 15 m³) (fiche BDMvt n°61401508) ; ▪ les fiches BDMvt n°61401263 à n°61401268, et n°61401279 à n°61401283 correspondent à des instabilités de pente (solifluxion) affectant les versants du vallon de Callenville ;
Glissement du Cirque des Graves (Villerville)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1973 : constatation du développement « récent » de deux fissures affectant la chaussée de la RD 513 au droit de la villa « La Licorne » (projet de construction d'un lotissement non réalisé) ; ▪ 1976 : développement de la fissuration affectant la villa « Chanteclair » ; ▪ 13 - 14 janvier 1982 : réactivation du grand glissement (destruction des villas « Le Cheval de Brique », « La Détente » et « Chanteclair », fissuration généralisée de la villa « Trescartes », arrêté de péril concernant la villa « Les Ramiers » gravement endommagée (ex-propriété LEDOUX), fissuration de la maison du gardien de la villa « Le Pré de l'Aumône », dégâts très importants sur les infrastructures du camping du Cirque des Graves et sur les constructions légères du Groupement d'Habitations Spontanées, installées sans autorisation depuis 1945). Au total, une trentaine de maisons ont été concernées par des désordres plus ou moins importants (fiche BDMvt n°61401152) ; ▪ 12 - 13 février 1988 : réactivation du grand glissement ; ▪ janvier - février 1995 : réactivation du grand glissement ; ▪ 23 - 24 mars 2001 : réactivation du grand glissement (fissuration de la villa de la propriété SIDOIS, 30 rue du Littoral) ; ▪ depuis avril 2001 : destruction totale de la villa « Trescartes » ; ▪ 1^{er} juin 2003 : réactivation du grand glissement (fiche BDMvt n°61401603) ; ▪ les fiches BDMvt n°61401236 à n°61401247 correspondent également au glissement du Cirque des Graves ;

Secteur	Évènements connus
Falaise du bourg de Villerville	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hiver 1973 - 1974 : effondrement du « mur » de soutènement de la villa « Aigue Marine » lors d'une tempête ; ▪ mars 2001 : effondrement partiel du « mur » de soutènement de la villa « Le Bouloir » ; ▪ 1^{er} juin 2003 : ravinement et glissements de terrain superficiels sur un linéaire de 80 m environ entre les rues du Douet et de la Cabine (avec arrêté municipal interdisant la circulation sur le chemin en sommet de digue) : aux extrémités des rues du Douet et de la Cabine, au droit des propriétés DOBRA, HOUX et LASSERAY (fiche BDMvt n°61401131) ;
Glissement du Cirque des Fosses du Macre (Villerville et Cricquebœuf)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ années 1950 : destruction de l'extrémité ouest de la villa « La Colline » à Cricquebœuf ; ▪ 1975 : proposition d'étude du LRPC de Rouen ; ▪ automne 1981 : déplacements du Club House des terrains de tennis de Villerville ; ▪ 13 - 14 janvier 1982 : réactivation du grand glissement (fiche BDMvt n°22300288) ; ▪ 12 - 13 février 1988 : réactivation du grand glissement, accompagné de la destruction d'une villa et de la partie nord de la villa « Les Préfailles » à Cricquebœuf, avec un arrêté de péril concernant la villa « Les Étincelles » à Cricquebœuf (fiches BDMvt n°22300289, n°61400444 et n°61401129) ; ▪ novembre 1989 : réactivation du grand glissement à proximité de la villa « Le Courtil » à proximité des terrains de tennis de Villerville (fiche BDMvt n°11100227) ; ▪ janvier - février 1995 : réactivation du grand glissement (fiches BDMvt n°61401451 et n°61401453) ; ▪ 23 - 24 mars 2001 : réactivation du grand glissement (fissuration et arrêtés de péril concernant les villas « la Colline » et « Le Clos des Renards », poursuite des désordres affectant la villa « Les Préfailles », désordres dans la villa « Les Troènes », effondrement de l'angle du Chemin des Fossés Vieux à Cricquebœuf, basculement d'une construction en bois au niveau des terrains de tennis de Villerville, fissuration de la villa « La Falaise », 19 allée du jardin Madame à Villerville) (fiches BDMvt n°61400447, n°61401452, n°61401454 et n°61401455) ; ▪ les fiches BDMvt n°61401231, n°61401232, n°61401233 et n°61401235 correspondent également au glissement du Cirque des Fosses du Macre.

9 - CARTE DES ALÉAS

La démarche consiste à caractériser et à cartographier, en chaque point des trois communes étudiées, les aléas à prendre en compte, en vue d'établir les conditions réglementaires applicables au titre du présent Plan de Prévention des Risques.

Dans un premier temps, la démarche se base sur la détermination des aléas de référence.

En terme d'aménagement, le mouvement prévisible de référence à prendre en compte est conventionnellement le plus fort événement historique connu sur chaque secteur géologiquement homogène du site.

La difficulté présentée par le site est l'absence d'évènements clairement identifiés :

- d'une part, dans la partie inférieure du versant côtier, où les mouvements sont quasi-permanents (en particulier, les quatre grandes zones de glissement de terrain) ;
- d'autre part, dans les vallons à l'intérieur des terres, où seront pris en compte des évènements potentiels.

9.1 - Caractérisation de l'aléa lié aux glissements de terrain, coulées boueuses et fluage associés

La caractérisation complète de cet aléa, désigné par la lettre G, fait référence à quatre éléments :

a) l'intensité :

Trois niveaux d'intensité, basés sur des critères géométriques, ont été retenus et sont décrits dans le tableau ci-après.

niveau d'intensité	volume mobilisé
faible	volume total < 10 m ³
moyen	10 m ³ < volume total < 100 m ³
fort	volume total > 100 m ³

b) l'extension spatiale :

Les principes de cartographie pour les glissements de terrain de grande ampleur affectant le versant côtier sont détaillés au paragraphe 9.4 ci-après.

c) la probabilité d'occurrence en un site et au cours d'une période de référence donnés :

Pour les grands glissements de terrain déclarés affectant le versant côtier, la probabilité est très élevée.

Pour les glissements de terrain potentiels, trois niveaux ont été retenus et sont décrits dans le tableau ci-après. L'évaluation quantitative de l'occurrence d'un mouvement de terrain de type glissement repose sur la notion de prédisposition du site à produire un événement donné dans un délai retenu, qui peut être estimée à partir d'une démarche d'expert (connaissance d'évènements passés, présence de signes précurseurs d'instabilités, identification des conditions défavorables permanentes comme l'histoire géomorphologique, la présence d'une nappe à faible profondeur et la présence de terrains présentant des caractéristiques mécaniques médiocres, etc.).

probabilité d'occurrence	occurrence probable dans un délai :
peu probable	supérieur au siècle
probable	de quelques décennies
très probable	de quelques années (y compris phénomènes actifs)

d) la gravité au plan humain :

Compte-tenu de la dangerosité des éboulements / glissements superficiels affectant l'arrière-falaise des Creuniers et l'arrière-falaise du Chemin des Frémonts (caractère soudain et imprévisible de leur déclenchement et effets dynamiques associés notables), il convient également d'appréhender l'aléa en terme de gravité au plan humain. En effet, ces éboulements / glissements superficiels de talus peuvent occasionner des accidents corporels ou mortels concernant un nombre limité de victimes directes, d'où un niveau de gravité fort en terme de préjudices humains (cf. tableaux du chapitre 8 ci-avant).

e) synthèse :

Le degré de l'aléa lié aux glissements de terrain, coulées boueuses et fluage associés, en un site et au cours d'une période de référence donnés, résulte d'une combinaison de la probabilité d'occurrence et de l'intensité. Trois degrés d'aléa ont été retenus (faible : 1, moyen : 2 et fort : 3) et sont décrits dans le tableau ci-après.

intensité occurrence	faible	moyen	fort
peu probable	« aléa faible » G1	« aléa faible » G1	« aléa moyen » G2
probable	« aléa faible » G1	« aléa moyen » G2	« aléa fort » G3
très probable	« aléa moyen » G2	« aléa fort » G3	« aléa fort » G3

9.2 - Caractérisation de l'aléa lié aux éboulements rocheux

La caractérisation complète de cet aléa, désigné par la lettre P, fait référence à quatre éléments :

a) l'intensité :

Trois niveaux d'intensité, basés sur des critères géométriques, ont été retenus et sont décrits dans le tableau ci-après.

niveau d'intensité	volume mobilisé
faible	« chute de pierres » volume individuel < 1 dm ³ volume total < 1 m ³
moyen	« chute de blocs » 1 dm ³ < volume individuel < 1 m ³ volume total < 10 m ³
fort	« chute de blocs » (y compris chute de gros blocs) volume total < quelques dizaines de m ³

b) l'extension spatiale :

L'aléa de propagation correspond à la probabilité qu'ont les masses glissées et/ou éboulées d'atteindre un point donné ou une infrastructure.

Les trajectoires des volumes rocheux se détachant de l'arrière-falaise des Creuniers sont très variables et dépendent du mécanisme de rupture, de la morphologie de la paroi, de la dimension et de l'élancement des blocs détachés, de la présence de végétation et de la présence d'un talus en pied (correspondant généralement à un cône d'éboulis). Elles sont très difficiles à appréhender : aucun calcul trajectographique fiable ne peut être réalisé compte-tenu de l'influence prépondérante du micro-relief dans le cas de falaises déportées subverticales (de pente de l'ordre de 80° à 90° par rapport à l'horizontale) de hauteur relativement faible.

Les limites de propagation des éboulements rocheux sont très délicates à déterminer avec précision (notamment pour les projections de pierres et de petits blocs suite à des éclatements) :

- pour les chutes de pierres et de blocs isolés détachés de la falaise subverticale (notamment de la frange superficielle intensément fracturée) ou se propageant sur un talus d'éboulis par une succession de phases de roulement et de rebonds, la limite de propagation a été déterminée en se basant sur l'abaque de RITCHIE (1963), modifié par BUDETTA (2004)⁸, utilisé pour le dimensionnement de piège à cailloux en pied de talus routiers. Compte-tenu de la morphologie de la falaise, la probabilité que l'éboulement atteigne la zone d'épandage en pied de falaise (zones d'impact et de propagation), dont la largeur par rapport au pied de falaise est indiquée dans le tableau ci-après (à laquelle il faut ajouter une marge de sécurité supplémentaire), peut être considérée comme très élevée ;

Hauteur de la falaise H_f (m)	$H_f \leq 10$ m	$10 < H_f \leq 20$ m	$H_f > 20$ m
Largeur de la zone d'épandage L (m)	$H_f / 2 \leq L \leq 2 \times H_f / 3$	$H_f / 3 \leq L \leq H_f / 2$	$L \leq H_f / 3$

- pour les éboulements en masse, la limite de propagation a été estimée "à dire d'expert" en déterminant le mécanisme de rupture probable et sur la base d'observations de terrain réalisées sur de précédents éboulements en Normandie : pente minimale des talus d'éboulis égale à 1 (H) pour 2 (V) environ et épaisseur moyenne du cône d'éboulis comprise entre 1,5 et 2 mètres. Compte-tenu de la morphologie de la falaise des Creuniers, la probabilité que l'éboulement atteigne la zone d'épandage en pied de falaise ainsi délimitée peut être considérée comme très élevée.

Conformément à la doctrine préconisée pour la réalisation des Plans de Prévention des Risques naturels (cf. le guide méthodologique *Plans de prévention des risques naturels (PPR) - Risques de mouvements de terrain*, édité par La Documentation Française en 1999) :

- la présence des bâtiments et des diverses structures en pied de falaise n'a pas été prise en compte dans la détermination de l'aléa de propagation ;
- de même les espaces protégés par des ouvrages construits (digues, merlons pare-blocs, murs et filets de protection, grillages plaqués, etc.) sont toujours considérés comme restant soumis aux éboulements rocheux, c'est-à-dire vulnérables : problèmes de conception, de dimensionnement et de réalisation, absence de garantie d'efficacité et de maintenance à long terme (c'est-à-dire absence de mise en place de procédures d'entretien, d'auscultation, voire de surveillance, bien définies avec un maître d'ouvrage pérenne). Il n'existe pas de dispositif de protection contre les éboulements rocheux au niveau de l'arrière-falaise des Creuniers.

⁸ BUDETTA P., *Assesment of rockfall risk along roads.*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 2004, n°4, pages 71 - 81.

c) la probabilité d'occurrence en un site et au cours d'une période de référence donnés (aléa de rupture) :

Les aléas permanents correspondent à des éléments généralement de petite taille (pierres et petits blocs de volume inférieur à 5 dm³), qui se mobilisent sous l'action de l'érosion, de l'altération ou des cycles gel / dégel, et qui se renouvellent de manière continue.

Concernant les aléas potentiels, pour les notions de probabilité d'occurrence de l'aléa et de délai, il est fait référence aux définitions suivantes, utilisées dans le réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées et récapitulées dans les tableaux ci-après. Nous rappelons là qu'il s'agit de probabilité et non de certitude. De la même manière que pour les glissements de terrain, l'évaluation quantitative de l'occurrence d'un mouvement de terrain de type éboulement rocheux est réalisée à partir d'une démarche d'expert (*cf.* figures n°13 et n°14).

Probabilité d'occurrence (notion qualitative)	
très élevée (te) :	la non-réalisation de l'événement serait considérée comme exceptionnelle
élevée (e) :	la probabilité de réalisation de l'événement est plus élevée que la probabilité de non-réalisation
modérée (m) :	la probabilité de réalisation de l'événement est équivalente à la probabilité de non-réalisation
faible (f) :	la probabilité de non-réalisation de l'événement est plus élevée que la probabilité de réalisation
très faible (tf) :	la réalisation de l'événement serait considérée comme exceptionnelle

Délai d'occurrence	
court terme (ct) :	dans les 10 ans
moyen terme (mt) :	dans les 30 ans
long terme (lt) :	au-delà des 30 ans

d) la gravité au plan humain :

Compte-tenu de la dangerosité des mouvements de terrain affectant l'arrière-falaise des Creuniers (caractère soudain et imprévisible de leur déclenchement et effets dynamiques associés notables), il convient également d'appréhender les aléas en terme de gravité au plan humain. En effet, les éboulements rocheux peuvent occasionner des accidents corporels ou mortels concernant un nombre limité de victimes directes, d'où un niveau de gravité fort en terme de préjudices humains (*cf.* tableaux du chapitre 8 ci-avant).

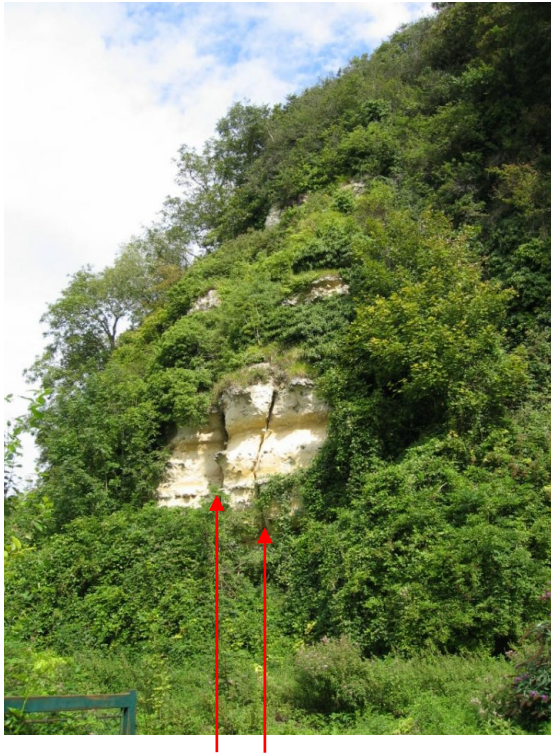


Figure n°13 : vue du massif crayeux, fissuré et sensible à la karstification (élargissement des discontinuités naturelles par la dissolution du carbonate de calcium favorisée par les circulations d'eau), armant l'arrière-falaise des Creuniers (fractures ouvertes délimitant des panneaux verticaux de grandes dimensions).

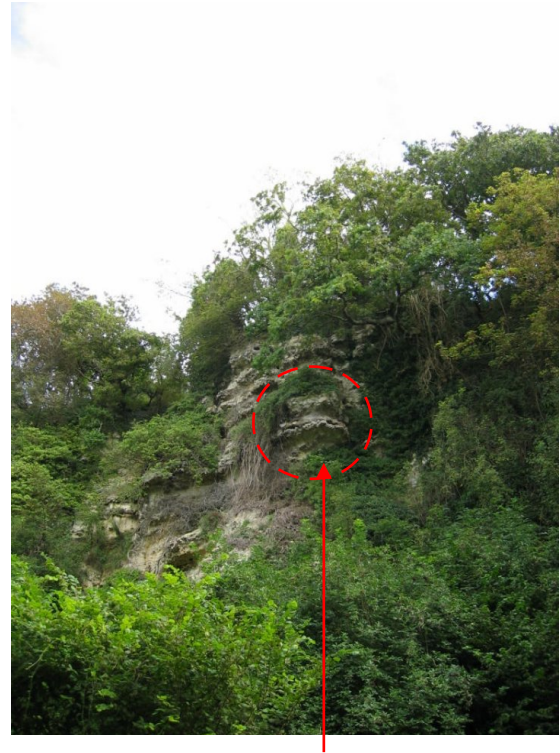


Figure n°14 : vue d'un compartiment potentiellement instable, d'un volume estimé visuellement compris entre 1 et 1,5 m³, à environ 16 m de hauteur en contre-haut de la RD513 (aléa de rupture : probabilité modérée à moyen terme, mécanisme : rupture de pied).

e) synthèse :

Le degré de l'aléa lié aux éboulements rocheux, en un site et au cours d'une période de référence donnés, résulte d'une combinaison de la probabilité d'occurrence et de l'intensité. Deux degrés d'aléa ont été retenus dans la suite de l'étude (faible : 1, moyen à fort : 2) et sont décrits dans le tableau ci-après.

intensité	faible	moyen	fort
occurrence à long terme			
très faible à faible	"aléa faible" P1	"aléa moyen à fort" P2	"aléa moyen à fort" P2
modérée	"aléa moyen à fort" P2	"aléa moyen à fort" P2	"aléa moyen à fort" P2
élevée à très élevée	"aléa moyen à fort" P2	"aléa moyen à fort" P2	"aléa moyen à fort" P2

9.3 - Présentation de la carte des aléas

La carte des aléas est jointe en annexe.

Les zones classées en zones d'aléa fort G3 concernent :

- les grands glissements actifs des Roches Noires, des Creuniers, du Cirque des Graves et du Cirque des Fosses du Macre ;
- les zones au niveau des couronnes des grands glissements actifs des Roches Noires, des Creuniers, du Cirque des Graves et du Cirque des Fosses du Macre, susceptibles d'être progressivement déstabilisées par les phénomènes de régression et marquant l'extension probable des glissements au cours de la période de référence considérée (100 ans) ;
- les versants affectés par des glissements superficiels et des vidanges de poches d'argiles, ainsi que les zones de réception de ces mouvements, au niveau des Creuniers et du Chemin des Frémonts ;
- le versant en contrebas de la RD513 (boulevard Aristide Briand) à Trouville-sur-Mer, présentant une très forte pente, des indices d'instabilité et ayant été affecté de glissements localisés (glissements superficiels et rotationnels).

Les zones classées en zones d'aléa moyen G2 concernent :

- les zones en amont des zones d'aléa fort G3 correspondant à l'extension probable des grands glissements actifs des Roches Noires, des Creuniers, du Cirque des Graves et du Cirque des Fosses du Macre ;
- les escarpements armés par les formations crayeuses, actuellement stabilisés par la végétation, dans les parties supérieures du versant côtier et des versants du vallon du ruisseau de Callenville ;
- les versants du vallon du ruisseau de Callenville présentant des signes d'instabilités d'anciennes et de solifluxion.

Les zones classées en zones d'aléa faible G1 concernent :

- les zones en rebord du plateau crayeux, marquant une transition progressive entre une vaste zone d'aléa quasi-nul (plateau crayeux) et des zones d'aléa moyen (escarpements crayeux) ;
- les vallons à drainage permanent au niveau du versant côtier et du vallon du ruisseau de Callenville ;

- les zones urbanisées des versants urbanisés de Trouville-sur-Mer, hors zones d'aléa fort et moyen.

La zone classée en zone d'aléa moyen à fort P2 s'étend dans la partie du versant côtier au pied de l'arrière-falaise des Creuniers, également concernée, d'une part, par le grand glissement actif des Creuniers et, d'autre part, par les glissements superficiels et les vidanges de poches d'argiles au sommet de l'arrière-falaise. Le replat sur lequel a été construite la RD513 se situe en zone d'aléa moyen à fort P2, en raison de :

- la connaissance dans le passé de nombreux événements de type « chutes de pierres et de blocs ». Le danger est d'ailleurs signalé aux usagers de la RD513 par deux panneaux placés aux extrémités du versant dominant la route au droit du sémaphore ;
- la connaissance de la chute d'un bloc de craie ayant atteint la cour de la villa « Le Week-End » (n°97 route de Honfleur) en septembre 1999 ;
- la connaissance du « détachement d'un bloc de terre et de rocher sous le sémaphore le long de la falaise en mars 2001 » au droit de la propriété « Le Manoir des Fauvettes » (n°101 route de Honfleur), décrit dans le procès-verbal établi par M^e SICAMOIS en 2001 ;
- la présence d'un bloc de craie, d'un volume de plusieurs m³, dans le jardin de la propriété LAHIANI (n°107 route de Honfleur) à une distance d'une trentaine de mètres du pied du talus de la RD513.

La zone d'aléa faible P1 se situe en aval de la zones d'aléa moyen à fort P3, et correspond à la zone d'extension maximale supposée des chutes de blocs et de pierres de volume inférieur à 5 dm³ (partie terminale des trajectoires caractérisée par une faible énergie cinétique).

9.4 - Commentaires

a) Commentaires relatifs à la cartographie des aléas dans les secteurs des Cirques des Graves (Villerville) et des Fosses du Macre (Villerville et Cricquebœuf).

M. CHAMPETIER de RIBES a écrit en 1987 : « Le problème qui se pose pour la carte d'aléas de ce PER [du PER de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf] est la délimitation d'une extension probable du grand glissement. La solution actuellement retenue tient compte des possibilités de révision des POS et également des PER lorsque de nouvelles données apparaîtront. Elle consiste à déterminer autour du glissement une double garde :

- une première zone d'extension de même niveau d'aléas que le grand glissement actif [G3] ;
- une deuxième zone au niveau juste inférieur [G2] qui pourra, selon l'évolution du phénomène, faire l'objet d'une révision du PER et repasser au niveau supérieur. »

Ce principe de cartographie a également été retenu pour l'établissement de la carte d'aléas du PPR « mouvements de terrain » de Bénerville-sur-Mer, Blonville-sur-Mer, Deauville, Saint-Arnoult et Tourgeville (Mont Canisy) : « une zone d'aléa fort G3 constituée par le secteur littoral comprend la zone de glissement actif matérialisée par la fracture arrière qui se dessine sur le terrain et également l'extension probable estimée à une centaine de mètres pour la durée d'occurrence retenue, soit un siècle environ ». Cette distance de 100 mètres a été estimée à partir de plusieurs données : profil géologique interprété du versant côtier, recul du trait de côte (estimé compris entre 40 et 50 m par siècle par l'université de Caen), interprétation des observations concernant le recul de l'escarpement principal, *etc.*

La prévision de la régression des deux grands glissements de terrain à l'échéance de 100 ans est très délicate, notamment en raison :

- des relations étroites entre pluviosité (augmentation prévisible au cours des cent prochaines années), piézométrie et déclenchement des mouvements. Au cours des vingt-cinq dernières années, quatre grandes phases de réactivation des glissements sont connues, toutes en relation avec une pluviosité importante (1982, 1988, 1995 et 2001) : elles ont entraîné un recul notable des escarpements principaux, notamment celui du glissement du Cirque des Fosses du Macre. Ainsi, au niveau de la villa « Le Clos des Renards », des fissures se développent en amont de l'escarpement principal au sein de la zone G2 (soit un recul du glissement supérieur à 30 m par rapport à la carte d'aléas établie au milieu des années 1980). En plusieurs points, l'escarpement principal est proche de la limite entre les zones G3 et G2 de la carte d'aléas du PER (villa « Les Étincelles », entre les villas « Les Préfailles » et « Les Écores », terrains de tennis de Villerville) ;
- de l'incertitude concernant le recul du trait de côte sur cette portion du littoral : influence des modifications des fonds de l'estuaire liés aux travaux de PORT 2000 (ayant un impact sur la houle et les courants), équilibre entre périodes d'accrétion (alimentation des sommets de plage par des matériaux glissés et/ou éboulés) et d'érosion, colmatage naturel de l'estuaire de la Seine, élévation du niveau moyen de la mer au cours des cent prochaines années, fréquence et intensité plus fortes des tempêtes et des phénomènes climatiques exceptionnels, *etc.*

- de l'incertitude concernant la géométrie, l'état de fracturation et la compétence des grands panneaux de craie effondrés, au niveau du replat sur lequel a été construite la RD513. La compétence d'une roche désigne sa capacité à se déformer sans se rompre.

C'est pourquoi M. MAQUAIRE écrit :

- dans sa thèse en 1990 :

- « En l'état actuel des choses et sans aménagements, les désordres se poursuivront et le risque d'extension régressive et latérale des zones en mouvement, est à craindre dans un avenir plus ou moins lointain. Il pourra entraîner de graves dégâts à la route et aux maisons situées à l'amont de celle-ci. »

- « Les risques d'extension, par glissements régressifs, de la zone instable ont été mis en avant dès les premières études. L'extension probable des glissements à des zones jusqu'à là épargnées est une évidence, celle-ci est attestée par de nombreux exemples [...]. Cette extension se produit à l'occasion d'accélération subites faisant suite à des périodes plus ou moins longues de mouvements précurseurs de plus faible amplitude. »

- « Il est possible de limiter les zones à risque fort ou moyen, selon une bande de terrain de quelques dizaines à une centaine de mètres. »

- « Ce zonage peut faire apparaître à long terme une sous-estimation du risque, puisque la stabilisation du versant est loin d'être certaine, bien au contraire dans la mesure où on assiste à une activité quasi-permanente depuis plusieurs dizaines d'années. En l'absence de confortements, la poursuite des désordres entraînera avec certitude la rupture de la route, et à très long terme le risque d'une déstabilisation de la corniche elle-même. »

- dans un rapport en 2001 :

« En l'absence de confortement, le renouvellement de telles conditions climatiques [celles de l'hiver 2001] entraînera inexorablement un recul de la couronne de glissement, pouvant à terme affecter le CD 513, selon un rythme et une intensité qu'il nous est actuellement impossible de prévoir ». Les villas « Les Troènes », « Les Préfailles » et « Les Étincelles » sont « directement menacées à très court terme », les villas « Les Écores » et « Les Symphorines » « potentiellement menacées à plus long terme ».

La carte d'aléas du présent PPR a été établie en conservant le principe de cartographie retenu pour le PER :

- le maintien de la succession de zones G3 et G2 au niveau de la couronne des glissements, en amont de l'escarpement principal et des fissures de traction repérées à l'automne 2005 ;

- la prise en compte de zones en « saillie » au niveau de la couronne des glissements, dont l'état de stabilité actuel pourrait être précaire. Par exemple, pour le glissement du Cirque des Fosses du Macre, la stabilité du « promontoire » sur lequel est construite la villa « Les Étincelles », entre les villas « Les Troènes » et « Le Clos des Renards », est très certainement dans un état de stabilité précaire et sera progressivement remise en cause. Le développement de fissures au niveau des villas au « Clos des Renards » en amont de l'escarpement principal, ainsi que le creusement du glissement au « Lieu Brisse » depuis le milieu des années 1980, confortent cette hypothèse. L'extension latérale du glissement du Cirque des Fosses du Macre en direction de l'est reste limitée ;
- une largeur totale des deux zones G3 et G2, permettant de prendre en compte l'extension probable des glissements à l'échéance de 100 ans, supérieure à 60 m (valeur retenue pour l'établissement de la carte d'aléas du PER, qui s'est révélée localement sous-estimée) ;
- une largeur de la zone G3 en amont de l'escarpement principal et des fissures actuels environ égale à 60 m ; la largeur de cette zone a été estimée environ égale à 40 m en amont des glissements des Roches Noires et des Creuniers. Cette distance de 60 mètres a été estimée à partir de plusieurs données :
 - analyse du profil géologique interprété du versant côtier, qui se traduit par la prise en compte d'indices géomorphologiques (pied de l'escarpement crayeux, petits escarpements marquant des replats armés par des blocs de craie, *etc.*), des probables alimentations en eau directement en provenance de la nappe de la craie, de l'hypothèse que l'arrière falaise crayeuse « pourrait être issue d'un ancien mouvement ayant intéressé des couches plus profondes, ce qui signifierait qu'elle ferait elle-même partie d'une ancienne surface de glissement » (rapport de présentation du PER, page 38), *etc.* ;
 - prise en compte du recul du trait de côte ;
 - prise en compte d'une vitesse de recul de l'escarpement principal, intégrant celle estimée lors de l'établissement de la carte d'aléas du PER (*cf.* paragraphe 6.3.3 ci-avant) et le recul effectif résultant des phases d'accélération brutale des glissements des hivers 1988, 1995 et 2001, postérieures à l'établissement de la carte des aléas du précédent PPR. Dans le secteur du Cirque des Fosses du Macre, ces trois réactivations, au cours d'une période de 13 ans, ont entraîné des reculs supérieurs à 17 m au droit de la villa « Les Troènes », à 15 m au droit de la villa « Les Symphorines », à 17 m au droit de la villa « Les Préfailles » et à 18 m au droit de la villa « Les Écores ».

En certains points, l'escarpement principal a ainsi atteint la limite de la zone rouge de l'actuelle PPR (ce qui traduit une vitesse de recul de l'ordre de 25 à 30 m en une vingtaine d'années environ, entre le milieu des années 1980 et 2005) ;

- une largeur de la zone G2 en amont de la zone G3 comprise entre 40 et 50 m. « À plus ou moins long terme, après la mise en mouvement de la zone A2 [G3], cette zone B2 [G2] deviendra contiguë aux zones de mouvements actifs et sera aussi directement menacée » (rapport de présentation du PER, page 39).

Dans le secteur du Cirque des Fosses du Macre, aucun élément ne permet d'affirmer actuellement que la RD 513 constituera la limite maximale d'extension vers l'amont du glissement de terrain à l'échéance de 100 ans.

b) Les autres modifications notables du zonage de l'aléa prennent en considération :

- les mouvements de terrain, qui se sont déclenchés le 1^{er} juin 2003 à la suite d'un événement pluviométrique de type centennal (hauteurs des précipitations égale à 50 mm en 2 h 30 le matin et à 81 mm en 1 h 30 l'après-midi, d'après la Mairie de Trouville-sur-Mer) ;
- les connaissances acquises suite à des études géotechniques concernant la stabilité du versant en contrebas de la RD513 (boulevard Aristide Briand) à Trouville-sur-Mer :

- le CEBTP en 1998 exprime un « doute vis à vis de la possibilité de glissements profonds » affectant le versant côtier au niveau du chemin de la Source ;

- HYDRO-GEOTECHNIQUE note dans un rapport en 2001 que « la présence d'un glissement en grand concernant l'ensemble du versant [en contrebas du boulevard Aristide Briand] est probable étant donné les indices : fissurations sur d'autres bâtiments proches du site, moutonnements des talus à l'aval ... ».

c) Prise en compte de talus d'origine naturelle ou anthropique, de faible hauteur, dans la cartographie de l'aléa.

Au niveau de certains versants (pouvant également exister au sein des zones G2 et G1), peuvent être rencontrés d'anciens fronts de taille de carrières à ciel ouvert (*cf.* figure n°15) et des talus de déblai, présentant des pentes très raides. Généralement, ils ne constituent qu'un risque faible pour les personnes (« chutes de pierres et de blocs » notamment). La présence de ces talus doit être cependant prise en compte en cas de projet d'aménagement (construction, remblai, *etc.*) dans leur zone d'influence :

- apportant une surcharge en tête (en première approche, sur une bande d'une largeur égale à 3 fois la hauteur des talus à partir de leur crête) ;
- se situant dans la zone d'épandage de mouvements de terrains potentiels, de type chutes de pierres et de blocs ou glissements superficiels (en première approche, sur une bande d'une largeur égale à 3 fois la hauteur des talus à partir de leur pied).



Figure n°15 : photographie d'un ancien front de taille de carrière à ciel ouvert (exploitation de calcaire), affecté par des instabilités superficielles, rue Berthier à Trouville-sur-Mer.

Il en est de même pour la falaise de débris au droit du bourg de Villerville, éventuellement protégée par un parement maçonné.

En raison de leurs dimensions relativement faibles vis à vis de l'échelle de la carte des aléas, ces talus n'ont pas été cartographiés.

d) Comparaison entre les cartographies des aléas de l'ancien PPR et du présent PPR.

Les histogrammes exposés à la figure n°16 ci-après présentent les superficies des différentes zones d'aléa G1, G2 et G3, ainsi que leur pourcentage respectif par rapport à la superficie totale des trois communes.

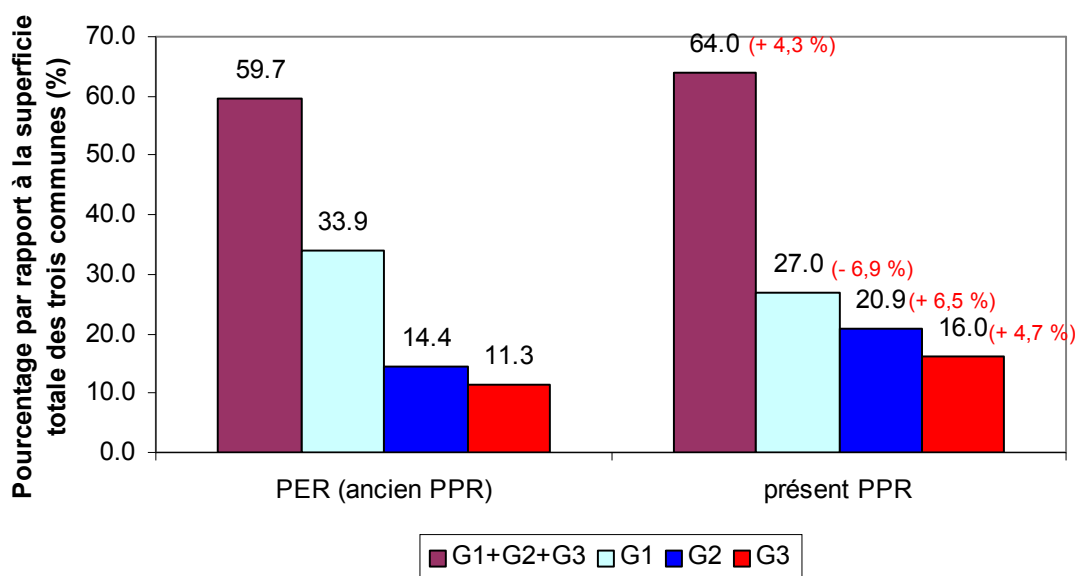
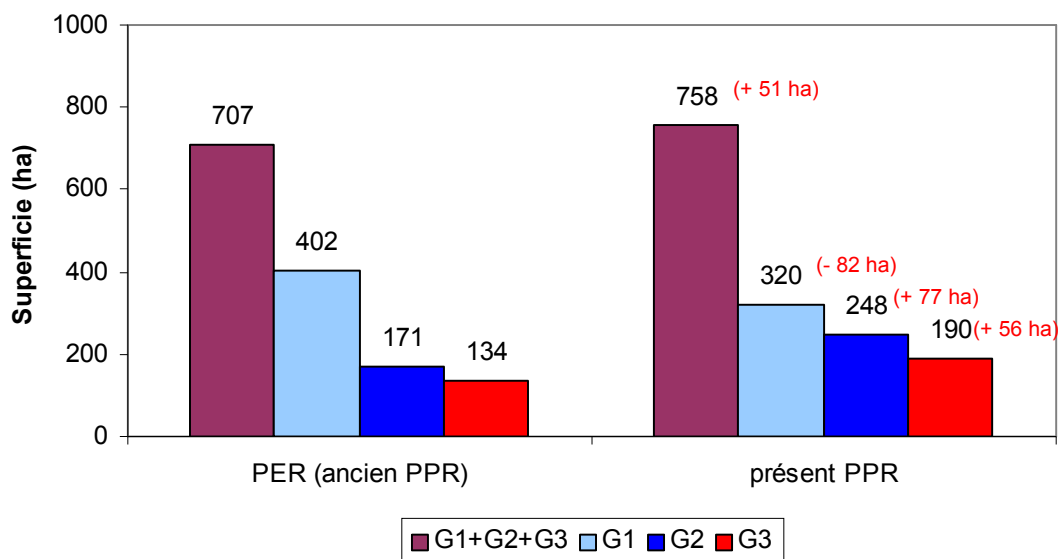


Figure n°16 : comparaison entre les cartographies de l'ancien PPR et de l'actuel PPR.

La cartographie des aléas établie dans le cadre du présent PPR est ainsi caractérisée par :

- une augmentation sensible de la superficie totale des zones G3 (+ 56 ha), au détriment de zones d'aléa moyen et faible de l'ancien PPR conformément aux préconisations de M. CHAMPETIER DE RIBES en 1987 (cf. paragraphe a) ci-avant). Elle s'explique notamment par la création de nouvelles zones comprenant l'arrière falaise crayeuse du Chemin des Frémonts, la falaise des Creuniers et le versant en aval du boulevard Aristide Briand et par l'extension des zones G3 au niveau des couronnes des grands glissements ;

- une augmentation sensible de la superficie totale des zones G2 (+ 77 ha), au détriment de zones d'aléa faible de l'ancien PPR. Elle s'explique notamment par la cartographie systématique en aléa moyen de l'arrière falaise crayeuse stabilisée par le couvert forestier et par l'extension des zones G2 au niveau des couronnes des grands glissements (conformément aux préconisations de M. CHAMPETIER DE RIBES en 1987, cf. paragraphe a) ci-avant) ;
- une diminution sensible de la superficie totale des zones G1 (- 82 ha), les extensions des zones G3 et G2 présentées ci-avant ayant notamment concerné des zones d'aléa faible de l'ancien PPR, sans extension notable de ces dernières (l'ensemble du versant côtier était cartographié dans l'ancien PPR en différentes zones d'aléa).

10 - BIBLIOGRAPHIE

Les documents suivants ont été consultés dans le cadre de cette étude :

a) Documents généraux :

1. *Carte géologique du Havre au 1/50000^e établie par MM. PAREYN et VIALLEFOND et éditée par le BRGM en 1968 ;*
2. *La transgression crétacée sur la bordure occidentale du Massif Armoricaïn. Aption, Albien, Cénomaniën de Normandie et du Maine. Le stratotype du Cénomaniën, thèse d'État de M. JUIGNET, Université de Caen, 1974, tome 1 ;*
3. *Carte ZERMOS et notice explicative de la carte des zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol au 1/25000^e de la région de Trouville - Pont-l'Évêque (Calvados), établies par M. MAHIEU et GUILOPPE du LRPC de Rouen et éditées par le BRGM en 1976 ;*
4. *Étude des substrats et des formations superficielles du canton de Honfleur, rapport rédigé par l'ASFORMASUP (Association pour l'étude appliquée des Formations Superficielles dans les domaines de la Géomorphologie, de la Géologie et de l'Hydrologie), Centre de Géomorphologie du CNRS - Université de Caen, en mai 1979 ;*
5. *Formations quaternaires et zonage des risques de glissements de terrain à Villerville et Cricquebœuf (Calvados), article rédigé par M. FLAGEOLLET et M^{me} HELLUIN, paru dans les communications du colloque "Mouvements de terrain" (22-23-24 mars 1984 à Caen), document du BRGM n°83 édité en 1984 ;*
6. *Stabilisation d'un glissement de terrain par renforcement tout textile route de la Corniche à Trouville, article rédigé par MM. BLIVET, DOUILLOT et PERRIER, paru dans la Revue Générale des Routes et Aérodrômes n°617 en mars 1985 ;*
7. *La cartographie des mouvements de terrain – Des ZERMOS aux PER, CHAMPETIER de RIBES G., Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n°150/151, Éditions LCPC, juil. - août. / sept. - oct 1987, pages 9 - 19 ;*
8. *Glissement de Villerville - Étude de la cinématique en vue de la prévision et de la prévention, rapport rédigé par M. MAQUAIRE (Université de Caen) en février 1989 ;*

9. *Plan d'Exposition aux Risques (PER) « mouvements de terrain » intercommunal de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf, prescrit le 14 octobre 1985 et approuvé le 4 mai 1990 par arrêtés préfectoraux. Depuis 1995, ce PER constitue l'actuel PPR « mouvements de terrain » intercommunal de Trouville-sur-Mer, Villerville et Cricquebœuf ;*
10. *Les mouvements de terrain de la côte du Calvados - Recherche et prévention, thèse de doctorat de M. MAQUAIRE, document du BRGM n°197 édité en 1990 ;*
11. *Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) – Guide général, document MATE – MELT, La Documentation Française, 1997 ;*
12. *Plans de prévention des risques naturels (PPR) – Risques de mouvements de terrain – Guide méthodologique, document MATE – MELT, La Documentation Française, 1999 ;*
13. *rapport de présentation et carte d'aléas du PPR « mouvements de terrain » de Bénerville-sur-Mer, Blonville-sur-Mer, Deauville, Saint-Arnoult et Tourgeville, Préfecture du Calvados (approuvé le 20 décembre 2002) ;*
14. *Glissement de terrain exceptionnel de mars 2001 - Les Fosses du Macre - Commune de Cricquebœuf - Calvados - Avis géotechnique, rapport de M. MAQUAIRE (Université Louis Pasteur de Strasbourg) en date du 28 juin 2001 ;*
15. *Glissements de terrain sur les secteurs de Trouville/Villerville/Cricquebœuf, rapport rédigé par M. FLAGEOLLET (Université Louis Pasteur de Strasbourg) en mai 2002 ;*
16. *Observatoire des mouvements de terrain du Calvados - Communes de Cricquebœuf, Villerville et Bénerville - Compte rendu de l'implantation du réseau de bornes et présentation des résultats des mesures de référence, rapport du Groupe de Recherche sur les Environnements Sédimentaires Aménagés et les Risques Côtiers (GRESARC) de l'Université de Caen rédigé en décembre 2002 ;*
17. *Observatoire des mouvements de terrain du Calvados - Communes de Cricquebœuf, Villerville et Bénerville – Présentation des résultats des mesures effectuées en 2003, rapport du GRESARC de l'Université de Caen rédigé en octobre 2003 ;*
18. *Observatoire des mouvements de terrain du Calvados - Communes de Cricquebœuf, Villerville et Bénerville – Rapport de synthèse, rapport du GRESARC de l'Université de Caen rédigé en octobre 2005 ;*

b) Rapports d'expertise judiciaire et procès-verbaux de constat :

19. *procès-verbal de constat en date du 5 janvier 1999, établi par M^e Jean-Louis PERRISIN-FABERT, Huissier de Justice à Trouville-sur-Mer, suite à des désordres survenus sur la RD 513 au droit de la propriété DORNES (1 boulevard Aristide Briand) ;*
20. *procès-verbal de constat en date du 29 janvier 1999, établi par M^e Jean-Louis PERRISIN-FABERT, Huissier de Justice à Trouville-sur-Mer, suite à des désordres survenus dans la propriété LE CHALET DE LA CÔTE ;*
21. *procès-verbal de constat en date du 13 avril 2001, établi par M^e Laure SICAMOIS, Huissier de Justice à Trouville-sur-Mer, suite à des désordres survenus dans la propriété LE MANOIR DES FAUVETTES (propriété ROBERT-CAMBRESY) ;*
22. *note n°1 établi par M. PRUNET le 30 mai 2001 dans le cadre d'une mission d'expertise (en collaboration avec M. GRESS)*
23. *rapports d'expertise judiciaire établis par MM. PRUNET et GRESS en date du 22 octobre 2001 relatifs aux désordres survenus sur les sites n°8 (propriété BAKONYI), n°9 (propriété DOBRA), n°10 (résidence LE CONTINENTAL), n°11 (propriété LASSERAY) et n°12 (propriété DEREM-JOHNSON, villa AIGUE MARINE) à Villerville ;*
24. *rapports d'expertise judiciaire établi par le cabinet LEBERTRE en date du 20 avril 2001 relatif aux désordres survenus dans la propriété LES VIKINGS (propriété BRETON et DABLEMONT) et en date du 24 juin 2003 relatif aux désordres survenus dans la propriété LES MERISIERS (propriété GHILARDI) à Trouville-sur-Mer ;*
25. *rapports d'expertise judiciaire établis par M. GOURIN en date des 10 et 11 juin 2003 relatifs aux désordres survenus sur les propriétés LE MANOIR DE LA COUR BRÛLÉE et BOUBERT à Trouville-sur-Mer ;*
26. *pré-rapport d'expertise judiciaire établi par M. GRESS en date du 3 mai 2007 (référéncé n°G/C/127/C/028) relatif aux désordres survenus sur la propriété LE MANOIR DE LA COUR BRÛLÉE ;*

c) Articles et rapports du LRPC de Rouen :

27. *Glissements de falaises de Trouville - Hennequeville - Étude géologique préliminaire, rapport référencé n°4677/0 ;*
28. *Apport de la géomorphologie à l'étude d'un tracé d'autoroute, LARGILIER J.F., Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n°51, Éditions LCPC, mars-avril 1971, pages 137 - 146 ;*

29. *Utilisation de la géomorphologie dans les études géotechniques de sites à urbaniser*, MASSON M., *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n°62, Éditions LCPC, nov. - déc. 1972, pages 59 - 69 ;
30. *Zone côtière entre Trouville et Honfleur - Étude des glissements de terrain*, rapport référencé n°4677 en date du 27 septembre 1973 ;
31. *Tassements de la RN 813 à Trouville*, rapport référencé n°7700 en date du 8 août 1975 ;
32. *Influence des héritages périglaciaires sur l'instabilité des pentes naturelles – Application à la Normandie*, MASSON M., *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, numéro spécial II, Éditions LCPC, mars 1976, pages 77 - 89 ;
33. *Localisation de zones instables pour l'établissement d'une carte ZERMOS – Une méthode de levé « géodynamique » dans le Calvados*, MAHIEU J.L. & al., *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n°88, Éditions LCPC, mars-avril 1977, pages 61 - 66 ;
34. *Villerville - Stabilité de la digue en enrochement*, rapport référencé n°9129/1 en date du 5 janvier 1979 ;
35. *Cartographie des risques ZERMOS appliquée à des plans d'occupation des sols en Normandie*, PORCHER M. & GUILLOPE P., *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n°99, Éditions LCPC, janv. - fév. 1979, pages 43 - 54 ;
36. *Annexe au Plan d'Occupation des Sols - District de Deauville - Trouville – Stabilité des terrains*, rapport référencé n°1276/0 en date du 25 septembre 1981 ;
37. *Le glissement de Villerville (Calvados) de janvier 1982 - Modalités, causes probables, perspectives d'évolution*, rapport préliminaire en date du 10 février 1982 rédigé par MM. PAREYN, VOIMENT (LRPC de Rouen) et DASSIBAT (BRGM) ;
38. *Trouville - Route de la Corniche - Compte-rendu de la visite sur place du 10/02/1982*, compte-rendu en date du 22 février 1982 ;
39. *Trouville-sur-Mer - Prédimensionnement de solutions économiques*, rapport référencé n°2093/1 en date du 2 mars 1984 ;
40. *Trouville-sur-Mer - Rue du Chalet Cordier - Maison individuelle - Étude de fondations*, rapport référencé n°8816/0 en date du 23 octobre 1991 ;

d) Rapports d'autres bureaux d'études géotechniques :

41. *Mairie de Trouville - Chemin de la Corniche - Glissement – Étude géotechnique, rapport du bureau d'études géotechniques CEBTP référencé n°D612.8.3098 en date de décembre 1998 ;*
42. *Conseil Général du Calvados - Direction de l'Aménagement et de l'Environnement - Trouville (14) - Boulevard Aristide Briand - RD 513 - Instabilités de la plate-forme ≈ PK 12.600, rapport du bureau d'études géotechniques HYDROGÉOTECHNIQUE référencé n°C/R/00/f/136/ 009-D en date du 13 février 2001 ;*
43. *Propriété au 17 - 19 rue du Douet à Villerville (14) - Étude de la stabilisation du massif qui supporte la construction, rapport du bureau d'études géotechniques ANTEA référencé n°A24428/A d'août 2001 ;*
44. *Commune de Trouville (14) – Parcelle localisée 101, route de Honfleur – Analyse de l'état de catastrophe naturelle, rapport du bureau d'études géotechniques ANTEA référencé n°A24697/A de septembre 2001 ;*
45. *Conseil Général du Calvados - Direction de l'Aménagement et de l'Environnement - Trouville - Boulevard Aristide Briand - RD 513 - Instabilités de la plate-forme PK 12.60, note de calcul du bureau d'études géotechniques HYDROGÉOTECHNIQUE référencée n°C/R/01/E/131/G/113 en date du 19 novembre 2001 ;*
46. *Mouvements de terrain (4 sites différents), Commune de Trouville-sur-Mer (Calvados) – Avis du BRGM, rapport du BRGM référencé n°BRGM/RP-52404-FR de juin 2003 ;*
47. *Éboulement de falaise littorale, Parcelle AB863, Commune de Villerville (Calvados), rapport du BRGM référencé n°BRGM/RP-52395-FR de juin 2003 ;*
48. *Propriété à Villerville (Calvados) - Travaux de protection et de confortement de la falaise - Études d'avant-projet, rapport du bureau d'études géotechniques ANTEA référencé n°A30865/A de juillet 2003 ;*
49. *Chemin des Frémonts à Trouville - Analyse de la stabilité du talus - Diagnostic et recommandations, rapport du bureau d'études géotechniques ANTEA référencé n°A31951/A de décembre 2003 ;*
50. *RJ Conseil - Affaissement de terrain route de la Corniche à Trouville-sur-Mer - Expertise géotechnique - Analyse du mode de confortement - Étude de sols, rapport du bureau d'études géotechniques TECHNOSOL référencé n°TN04.089 en date du 30 juillet 2004 ;*

51. *Étude géotechnique G0-G11 - Création d'une station d'épuration sur la commune de Cricquebœuf, rapport du bureau d'études géotechniques IMSRN en date de mai 2005 ;*
52. *Société d'assurance MATMUT - Maison individuelle de M^{me} GOLDBLUM - Rue du Général Leclerc - Trouville-sur-Mer - Étude de sols et de fondations, rapport du bureau d'études géotechniques TECHNOSOL référencé n°TN 05.057 indice B du 15 décembre 2005 ;*
53. *Villerville (14) – Hameau du Grand Bec – Rue des Mouillères – Construction de quatre maisons individuelles – Étude de faisabilité géotechnique – Rapport, rapport du bureau d'études géotechniques ARCADIS référencé n°01/13863/001/NT/01/A en date du 18 janvier 2006 ;*
54. *Communauté de Communes Cœur Côte Fleurie – Calvados (14) – Villerville – Objet : lutte contre les mouvements de terrain – RD 513 – Licorne – Trescartes – Rapport d'étude géotechnique – Mission G11, rapport du bureau d'études géotechniques HYDROGÉOTECHNIQUE référencé n°C/ME/05/E/074/F/039 indice B en date du 13 février 2006 ;*
55. *Communauté de Communes Cœur Côte Fleurie – Calvados (14) – Villerville – Objet : lutte contre les mouvements de terrain – RD 513 – Site du Chant des Oiseaux – Rapport d'étude géotechnique – Mission G11, rapport du bureau d'études géotechniques HYDROGÉOTECHNIQUE référencé n°C/ME/05/E/074/F/039 indice B en date du 9 février 2006 ;*
56. *M. et M^{me} KALF - E BOISBOURDAIN Architecte - Trouville (14) - Extension d'une maison existante - Étude géotechnique - Rapport d'étude, rapport du bureau d'études géotechniques FONDASOL référencé n°IC 07 0212 indice A du 12 septembre 2007 ;*