

Trappes en Yvelines, le 16 novembre 2006

**DIRECTION DÉPARTEMENTALE
DE L'ÉQUIPEMENT DU VAL D'OISE**

COMMUNE DE VETHEUIL

ÉTUDE DES ALEAS « MOUVEMENTS DE TERRAIN »

Rapport

Dossier n° 41360-1

	Établi par les chargés d'études	Vérfié par le Responsable du groupe géotechnique - RPQ
NOM	R. DARBOUX – F. LARRERE	A. DELFAUT
VISA		

DIFFUSION DU RAPPORT	
ORGANISME (S)	NOM DU DONNEUR D'ORDRE
DDE DU VAL D'OISE S.U.A. – B.P.R. Préfecture 95010 CERGY PONTOISE CEDEX	Mme MARTIN

Nombre de pages du rapport: 34

SOMMAIRE

A – PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE	4
1 – CONTEXTE DE L'ÉTUDE	4
2 – PRINCIPES MÉTHODOLOGIQUES	4
2.1 – CADRE DE L'ÉTUDE	4
2.2 – MOYENS MIS EN ŒUVRE	5
2.2.1 – Recherche historique et documentaire	5
2.2.2 – Examen de photographies aériennes	5
2.2.3 – Investigations sur le terrain.....	6
2.2.4 – Travaux de cartographie.....	6
2.3 – CARTES THEMATIQUES - REPRESENTATION GRAPHIQUE.....	6
2.4 - CONTENU DE L'ÉTUDE	6
2.4.1 – Définition des types d'aléas.....	6
2.4.2 – Présentation des documents cartographiques.....	6
B – CARACTÉRISATION DU SITE	8
1 – PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	8
2 – CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE	8
2.1 – LES FALAISES DE CRAIE.....	9
2.2 – LES FALAISES DE CALCAIRE	10
C – CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INSTABILITÉ DE FALAISE	11
1 – CARACTÉRISTIQUES DES FALAISES	11
2 – LES INSTABILITÉS DE FALAISES - FACTEURS AGGRAVANTS	11
2.1 – FISSURATION DU MASSIF	11
2.2 – LES AGENTS METEORORIQUES.....	12
2.3 – LES EXCAVATIONS EN PIED DE FALAISE (BOVES CREUSEES DANS LA CRAIE).....	12
2.4 – LA VEGETATION	12
3 – TYPOLOGIE DES DÉSORDRES	13
4 – MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION DE L'ALÉA	13
4.1 - PRINCIPES GENERAUX	13
4.1.1 - Examens visuels des falaises.....	14
4.1.2 – Qualification de l'aléa	15
4.1.3 - Limites de la méthode.....	16
4.2 - CRITERES ETUDIÉS.....	16
4.3 - DEFINITION DES NIVEAUX D'ALEAS A LA SOURCE	17
4.4 – DETERMINATION DE L'EXTENSION DES ALEAS	17
4.4.1 – Cas des falaises sans talus de pied	18
4.4.2 – Cas des falaises avec talus de pied.....	18
4.5 – CAS DES FALAISES DE CALCAIRE GROSSIER – DEFINITION DE L'ALEA.....	19
4.6 – ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE ALEA INSTABILITE DE FALAISE	19

D - ALÉA INSTABILITÉ DE BOVE.....	20
1 – CARACTÉRISTIQUES DES BOVES	20
1.1 – RAPPEL HISTORIQUE.....	20
1.2 – CARACTERISTIQUES ET MORPHOLOGIE DES BOVES	20
2 – MÉCANISMES D’INSTABILITÉ DES BOVES	21
2.1 – TYPES D’INSTABILITES.....	21
2.4 – LES FACTEURS AGGRAVANTS	22
3 – TYPOLOGIE DES DÉSORDRES	22
4 – MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION DE L’ALÉA.....	23
4.1 - GENERALITES	23
4.2 - CRITERES ETUDIÉS.....	23
4.3 - DEFINITION DES NIVEAUX D’ALEAS A LA SOURCE	24
4.4 – DETERMINATION DE L’EXTENSION DES ALEAS	24
4.5 – ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE ALEA INSTABILITE DE BOVE	27
E – AUTRES PHÉNOMÈNES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN	28
1 – LES GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	28
1.1 – LES ARGILES DU SPARNACIEN	28
1.1.1 – Contexte et caractérisation.....	28
1.1.2 – Délimitation du phénomène.....	28
F –RÈGLES GÉNÉRALES DE PRÉVENTION DES INSTABILITÉS	29
1 – ENTRETIEN DES COTEAUX ET FALAISES	29
1.1 – GESTION DE LA VEGETATION EN BORDURE DE FALAISE.....	29
1.2 – GESTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT.....	30
2 – CONFORTMENT DES FALAISES ET CAVITÉS (BOVES).....	31
3 – TRAITEMENT DES SITES	32
G - SYNTHÈSE.....	33
BIBLIOGRAPHIE	34

Annexes → cf. dossier joint

A – PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

1 – CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Annexe 1 : Plan de situation - La Boucle de Moisson

Les communes situées en périphérie de la boucle de Moisson (départements du Val d'Oise et des Yvelines) sont le siège, depuis plusieurs décennies, de phénomènes de mouvements de terrains liés à la présence des coteaux, des falaises et des cavités les sous-minant (chutes de pierres et blocs, éboulements, glissements de terrain, effondrements de cavités, etc.)

En effet, la commune de Vétheuil a connu plusieurs sinistres consécutifs de ces mouvements de terrain ; ce qui l'a contraint à faire des demandes de classement de la commune en zone sinistrée par une catastrophe naturelle (événements de 1985, 1995 et 2001).

Un large programme d'information préventive sur les risques majeurs présents sur la commune est alors lancé.

En 1999, les Services de l'Etat, conjointement avec la Maire, ont élaboré en 1999 un Dossier Communal Synthétique (DCS) sur les Risques Majeurs. Ce document réglementaire définit les risques naturels (notamment les risques de mouvements de terrain liés aux instabilités des falaises et des cavités les sous-minant), et technologiques auxquels la commune est confrontée, et met en évidence les zones où l'information préventive doit être réalisée.

Depuis, la fréquence des mouvements de terrain a connu une accélération en concomitance avec une période de pluviosité exceptionnelle entre septembre 1999 et novembre 2001. En effet, de nombreux glissements de terrain et éboulements (formations superficielles, colluvions) ont engendré plusieurs désordres sur le bâti : ruptures de murs de soutènement, un effondrement de chaussée, etc.

La Direction Départementale de l'Équipement du Val d'Oise a donc sollicité le Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien (LROP) pour mener un zonage précis des risques liés aux « mouvements de terrain » sur la commune de Vétheuil, en s'appuyant sur les études déjà effectuées, et réaliser ainsi une cartographie des aléas liés aux falaises et aux cavités les sous-minant.

2 – PRINCIPES MÉTHODOLOGIQUES

Annexe 1 : Plan de situation – Vétheuil

Annexe 2 : Glossaire

Afin de faciliter la lecture de ce rapport, un glossaire présentant la définition de plusieurs termes techniques est joint en annexe 2.

2.1 – CADRE DE L'ÉTUDE

Le périmètre d'étude, établi en concertation avec la Direction Départementale de l'Équipement du Val d'Oise, est restreint au « bassin de risque » défini par la concentration de linéaires de falaises et des cavités (bove, caves) ; ce périmètre concerne essentiellement le nord de la commune.

Le tableau suivant résume la typologie des mouvements de terrain pris en compte dans cette étude :

Type d'instabilité	Phénomènes
Instabilité de falaise	Chutes de pierres et blocs, éboulements, glissements de terrain (formations superficielles)
Instabilité de bove	Chutes de ciel, développement de fontis, effondrements généralisés

Remarques :

- Les phénomènes de tassement différentiel et de rupture de mur de soutènement n'ont pas été retenus. Ces désordres, se traduisant par la dégradation de structures (déformation, fissuration, rupture), peuvent être liés à des problèmes de conception d'ouvrage dont l'examen sort du cadre de l'étude.
- Les phénomènes de glissement de terrain ne feront pas l'objet proprement dit d'une carte thématique de type aléa, mais seront toutefois caractérisés et cartographiés.

2.2 – MOYENS MIS EN ŒUVRE

Les paragraphes suivants décrivent les grandes étapes de l'étude en précisant les actions mises en oeuvre.

2.2.1 – Recherche historique et documentaire

Cette étape très importante consiste en un recensement des informations liées aux mouvements de terrain auprès de nombreuses sources. Plusieurs organismes ont été contactés notamment, les Directions Départementales de l'Équipement des Yvelines et du Val d'Oise (Service des Risques Naturels de Versailles, Subdivision de Magny en Vexin), la préfecture du Val d'Oise (SIDPC), la Mairie de Vétheuil, et l'Inspection Générale des Carrières de Versailles (IGC).

Ces recherches ont évidemment été prolongées par la rencontre des particuliers au cours d'investigations de terrain.

Ce travail a permis entre autre de définir les types d'aléas et l'intensité des phénomènes mis en jeu.

2.2.2 – Examen de photographies aériennes

L'examen de photographies aériennes par stéréoscopie permet de repérer les linéaires de falaises, d'éventuels glissements de terrain voire des indices de cavités souterraines. Selon les secteurs, plusieurs missions photographiques peuvent avoir été réalisées à différentes époques.

Deux séries de photographies aériennes ont été examinées. Leurs caractéristiques figurent dans le tableau suivant :

Source	Date	Références	Caractéristiques	Echelle
IGN	1945	Mission CDP348 – n° 5040 à 5044	noir et blanc	1/10000 ^e
PPRI Seine	1999/2001	7720 à 7724	noir et blanc	1/8000 ^e

2.2.3 – Investigations sur le terrain

Les investigations de terrain se sont appuyées sur une collaboration étroite entre les équipes de l'IGC, ayant assurées le recensement et les levées topographiques des fronts de falaise de craie et des cavités, et celles du LROP.

Sur la commune de Vétheuil, nous avons effectué, dans la mesure du possible, un examen systématique de l'état général de stabilité des falaises de craie et des cavités les sous-minant qui jalonnent les coteaux, afin de définir, quantifier et procéder au zonage géographique des aléas « mouvements de terrain » sur la commune.

Les fronts de falaise de calcaire ont été dessinés à partir de la carte géologique de Mantes-La-Jolie au 1/50000^e et des photographies aériennes ; celles-ci étant prises à des altitudes limitant la précision du report sur une carte détaillée.

Les falaises de calcaire grossier présentes dans des zones peu accessibles et, où la végétation est parfois dense, n'ont pas fait l'objet d'examens systématiques sur tout le linéaire.

2.2.4 – Travaux de cartographie

Les informations recueillies au cours de l'étude (fonds topographiques, localisation des sinistres, levées des fronts de falaises et cavités, etc.) ont été traduites en données informatiques.

Ainsi l'ensemble des données a été intégré dans un système d'information géographique (SIG) au format informatique Mapinfo, avec la réalisation de cartes thématiques.

2.3 – CARTES THEMATIQUES - REPRESENTATION GRAPHIQUE

A la demande de la DDE, les supports graphiques utilisés pour l'ensemble des cartes correspondent à des plans photogrammétriques.

La représentation des cavités (boves, caves) a été réalisée par exportation informatique des levées topographiques de l'IGC. Par soucis de lisibilité, le contour de ces cavités illustre les limites de l'excavation (masse taillée) sans représenter l'ensemble des aménagements (murs maçonnés, parements, cloisons, etc.).

Les fronts de falaise de craie (et certains fronts de taille de calcaire grossier) correspondent, dans la mesure du possible, à des points relevés par les géomètres de l'IGC. En l'absence de données de l'IGC, ces linéaires ont été reportés par exploitation des photographies aériennes, de la carte géologique et des observations de terrain.

Remarque : les courbes de niveau (isohypse) NGF ne sont pas toujours bien calées ou approximativement, pour des problèmes de report et de proportion d'échelle.

2.4 - CONTENU DE L'ETUDE

2.4.1 – Définition des types d'aléas

Au terme de l'étude historique et documentaire, deux types d'aléas « mouvements de terrain » ont été distingués :

- ❑ **Aléa Instabilité de falaise**
- ❑ **Aléa Instabilité de bove**

Chacun de ces aléas a fait l'objet de méthodologies particulières présentées dans les parties C et D du rapport.

2.4.2 – Présentation des documents cartographiques

Trois cartes thématiques ont été élaborées ; leurs titres et caractéristiques sont présentés dans le tableau suivant :

Titre	Nombre de plan	Echelle
Carte des désordres recensés	1	1/2000 ^e
Cartes Aléa Instabilité de falaise – Vétheuil Nord et Sud	2	1/1000 ^e
Cartes Aléa Instabilité de bove – Vétheuil Nord et Sud	2	1/1000 ^e

B – CARACTÉRISATION DU SITE

1 – PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Annexe 1 : Plan de situation – Vétheuil

La commune de Vétheuil est située dans le Parc Naturel Régional du Vexin français. Elle occupe une position particulière, en partie occidentale de « la boucle de Moisson ». Dans ce secteur, la Seine parcourt un méandre très étroit. En rive droite, l'enfoncement de la Seine dans le plateau crayeux a mis à jour un front de falaises tandis qu'en rive gauche, au cœur de la boucle, la forêt de Moisson s'est développée sur la zone d'épandage des alluvions.

La zone d'étude s'étend en rive droite de la Seine entre le cours du fleuve et le flanc droit de la vallée, en bordure de la route départementale RD 913 (versants nord-ouest de la commune) et le bourg.

2 – CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

Annexe 3 : Extrait de la carte géologique de Mantes-La-Jolie au 1/50000^e

Annexe 4 : Planches photographiques

Annexe 9 : Cartes Aléa l'instabilité de falaise – Vétheuil Nord et Sud

Le développement du vaste méandre de Moisson a été modelé par la Seine lors de son enfoncement quaternaire, au cours des deux millions d'années, pendant lesquels le fleuve a accentué le creusement de la rive concave, abrupte, tandis que les alluvions remblaient la rive convexe.

L'encaissement de la Seine a ainsi mis à l'affleurement, sur le flanc concave de la vallée, les formations sédimentaires tabulaires d'âges crétacé et éocène.

La coupe géologique suivante schématise la position des différentes formations sédimentaires en présence sur les versants nord-ouest de Vétheuil ; elles sont représentées particulièrement par (depuis la base) :

- la craie blanche à bélemnites du Campanien, formant dans le paysage des falaises et quelques pitons de craie périglaciaires (pinacles), truffés d'abris troglodytiques,
- l'argile plastique du Sparnacien (Yprésien inférieur),
- les sables de Cuise (Cuisien-Yprésien supérieur),
- le calcaire grossier du Lutétien moyen formant le soubassement de la plate-forme structurale à l'ouest du Vexin français, ayant fait l'objet de quelques exploitations à ciel ouvert ou en souterrain.

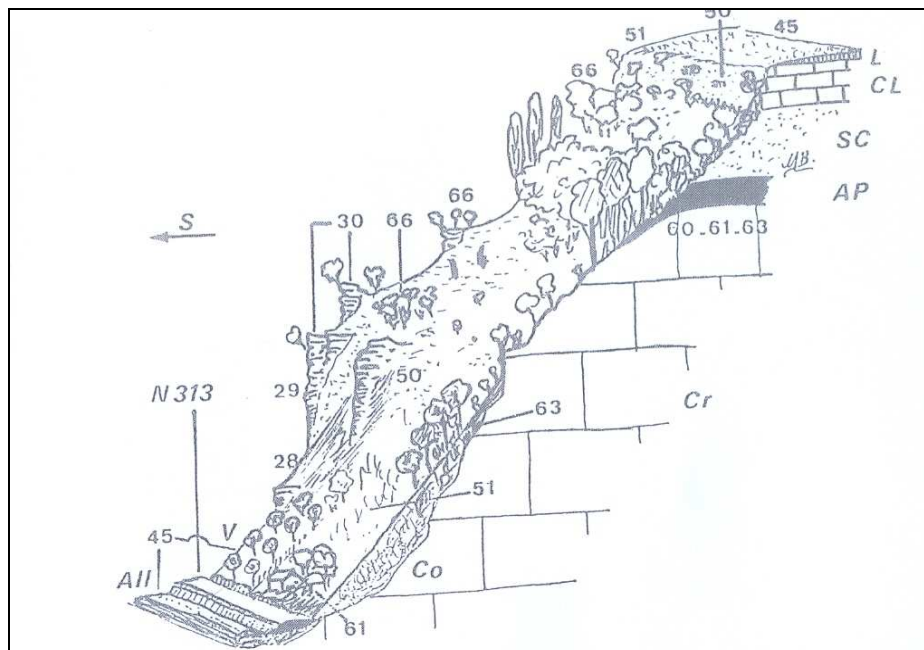


Fig. 59. – Le célèbre site des falaises d'Haute-Isle. Détail de la fig. 58.

De bas en haut :

All. Alluvions anciennes et éboulis supportant la route D 913 ; Arrhénathéraie (45) et groupements anthropiques évoluant vers l'Ormaie (61) notamment près des habitations. – Cr. Craie blanche, formant des pinacles rocheux séparés par des pentes d'éboulis périglaciaires ou de colluvions (Co). Quand la craie rocheuse affleure, *Xerobromion* paraclimacique (50) et végétation des parois (29) et des corniches (30), ces dernières susceptibles de boisement local (66) ; sur éboulis et colluvions, stades pionniers (28) puis *Mesobromion* (51) se boisant en chênaie pubescente (66) ou même en chênaie-frênaie (63) dans les vallons. Anciennes vignes et vergers (V) colonisables par 45 puis 61. – AP. Argile plastique humide mais drainée ; tache de chênaie-charmaie (60) mais plus souvent 61 et 63. – SC. Sables de Cuise (cf. fig. 55). – CL. Calcaire grossier lutétien : *Xerobromion* non paraclimacique sur pentes (évolution, ver 66) ; *Mesobromion* sur replat. – L. Limons (cultures, arrhénathéraie (45) (d'après Bournérias). – NB. Les N^{os} de groupements sont ceux du Guide des Groupements végétaux de la Région parisienne, par M. Bournérias (Masson édit.) dont cette fig. est extraite.

2.1 – LES FALAISES DE CRAIE

Les conditions d'érosion mises en place par le creusement de la Seine qui s'est développé préférentiellement sur les zones fragiles de la masse crayeuse, ont engendré une morphologie de versant sous forme de falaises, développées essentiellement dans le nord-ouest de Vétheuil.

Les fronts de falaise sont constitués par une alternance de bancs de craie blanche assez tendre à débit prismatique renfermant de très gros silex sombres très durs en bancs horizontaux souvent très rapprochés, mis en relief par l'érosion différentielle provoquée essentiellement par les intempéries (pluie et gel) Ils sont généralement sub-verticaux, avec des profils en surplomb hérités d'anciens effondrements, d'excavations en pied (boves) ou dus à l'érosion (phénomènes de dissolution en pied de front) (cf. photos 1, 10 et 11).

A l'extrémité nord-ouest de la commune, le versant supérieur présente une falaise déportée, couronnée par un piton de craie périglaciaire (éperon rocheux) à parois subverticales légèrement en surplomb (cf. photos 2, 10 et 11).

Les fronts sont compris entre 2 et 10 mètres de hauteur.

D'une façon générale, en dehors des zones de falaise, les vallons plus ou moins abrupts sont recouverts d'une craie altérée en subsurface, formée d'une gangue plus marneuse et donc moins résistante (colluvions, éboulis de gélifraction) Cette altération est d'autant plus marquée que l'on se situe en pied de versant.

Au cours de son histoire géologique, le massif crayeux a été soumis à des contraintes qui se traduisent aujourd'hui par plusieurs familles de fractures. Cette fracturation est orientée selon des directions précises et leur fréquence, leur espacement et leur ouverture ont largement influencé la géomorphologie locale.

Le positionnement de ces discontinuités a une influence directe sur la stabilité des falaises ou des cavités (boves) En effet, en contexte de versant, une fracture sera d'autant plus préjudiciable que son orientation se rapprochera de celle de la falaise ; les fractures dites de « décompression » se sont développées suite à la décompression du massif par phénomène « d'appel au vide » (cf. photo 26) Entre ces fractures anciennes d'origine tectonique, les bancs de craie sont affectés d'une micro-fissuration (diaclasage inter-banc) qui détermine des prismes instables dont le volume est de l'ordre du dm³.

Les excavations en pied de versant ont parfois nécessité la création d'une petite falaise artificielle dans la craie altérée superficielle. En fin d'aménagement souterrain, les fronts ont été souvent revêtus de dispositifs de soutènement de type perré, permettant également la création d'une terrasse ou d'un jardin au-dessus (cf. photos 9 et 16).

Les limites des fronts de falaise de craie figurent sur les « Cartes Instabilité de falaise », données en annexe 9.

2.2 – LES FALAISES DE CALCAIRE

Puissante de 20 à 30 mètres, cette formation de calcaire grossier du Lutétien moyen forme le soubassement de la plate-forme structurale à l'ouest du Vexin français, et affleure en limite de plateau et haut de versant.

Ce calcaire a été largement exploité pour pierre à bâtir, généralement en carrières souterraines aujourd'hui abandonnées.

Le massif est fréquemment perforé par des puisards et des galeries karstiques (exemple du trou des Maquisards – chemin de Chérence à Vétheuil).

Le versant nord-ouest de la commune est constitué d'anciennes exploitations à ciel ouvert ou petites découvertes, et quelques entrées en cavage.

Les fronts de taille, généralement de hauteur inférieure à 8 mètres, sont constitués de gros bancs massifs, bien que fortement diaclasés (diaclases de décollement de rebord de plateau), fracturés voire démantelés localement, séparés par des lits de marnes sableuses plus ou moins épais. C'est un calcaire bioclastique jaune ou rosé légèrement quartzeux et glauconieux (cf. photos 3 et 4)

En sommet du front de taille, nous retrouvons localement des limons marno-calcaireux sujets à des coulées de terre (cf. sinistre de mars 2001 au n° 14 chemin de Chérence).

Les falaises sont envahies d'une végétation arborescente ou arbustive dense.

Sur l'ensemble du linéaire de falaise, le versant est jalonné d'éboulis de calcaire grossier, d'anciens gros blocs épars (masses pouvant atteindre plusieurs mètres cube).

Le linéaire de front de falaise de calcaire grossier est dessiné schématiquement sur les "Cartes Aléa Instabilité de falaise", données en annexe 9.

C – CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA INSTABILITÉ DE FALAISE

Dans ce paragraphe, nous nous intéresserons essentiellement aux **falaises crayeuses** du Crétacé supérieur.

Le linéaire de fronts de falaise de calcaire grossier fera l'objet d'une cartographie d'aléa généraliste et simplifiée, mais basée sur le même principe.

1 – CARACTÉRISTIQUES DES FALAISES

Cf. paragraphe 2 de la partie B.

2 – LES INSTABILITÉS DE FALAISES - FACTEURS AGGRAVANTS

Annexe 4 : Planches photographiques

Si la géologie du site exclut l'instabilité générale du versant, elle contribue en revanche directement ou indirectement à celle de la falaise, en s'associant à plusieurs facteurs externes.

2.1 – FISSURATION DU MASSIF

L'examen détaillé des fronts de falaise de craie et des excavations situées le plus souvent en pied (boves), a révélé deux types de discontinuités : (cf. photos 5, 6 et 12):

- une désorganisation superficielle du massif crayeux, entretenue par les agents d'érosion, se manifestant par le débit en blocs parallélépipédiques de quelques décimètres à quelques dizaines de centimètres de côté.
- Plusieurs types de fractures se propagent dans le massif, au-delà de la frange superficielle altérée dont :
 - les fissures d'origine tectonique, liées à des contraintes régionales ou locales, qui recoupent la totalité des bancs rocheux,
 - les fissures dites de décompression consécutives au léger basculement par « appel au vide » du massif vers la vallée,
 - les fissures d'origine mécanique qui se développent au ciel (toit) des cavités (boves) dont la largeur peut engendrer des sollicitations dépassant les compétences de la craie.

La densité de la fissuration tend globalement à diminuer à mesure que l'on progresse dans le massif, surtout dans le cas des fractures de décompression.

2.2 – LES AGENTS METEORIQUES

Leurs rôles peuvent être jugés accessoires compte tenu des conditions climatiques relativement peu rigoureuses (climat tempéré) Toutefois, les actions conjuguées du gel, du vent et de la pluie (ruissellement, infiltration, dissolution) et de la dessiccation peuvent concourir à :

- déstabiliser la couverture superficielle de matériaux altérés par diminution de la cohésion des sols fins (argileux) qu'elle comporte.
- accentuer la désorganisation de la craie. En effet, en raison du caractère thixotropique du matériau, les variations de la teneur en eau se traduisent par des variations de forte amplitude de sa résistance. Le phénomène est d'autant plus intense que la craie est altérée superficiellement.
- créer une érosion différentielle liée à la lithologie et à la résistance variable des bancs du massif crayeux sain, qui aboutit à créer des surplombs. Les silex disposés en lits horizontaux sont mis en relief par l'érosion différentielle provoquée essentiellement par le gel ; la craie tendre et gélive s'effrite, tandis que les rognons de silex durs se déchaussent peu à peu.

2.3 – LES EXCAVATIONS EN PIED DE FALAISE (BOVES CREUSEES DANS LA CRAIE)

En plus des agents naturels, les aménagements réalisés par l'Homme à travers l'histoire ont largement contribué à accentuer voire provoquer des éboulements de falaises et le recul progressif de celles-ci.

Les premières installations se sont faites au-delà des zones de crues en dégagant le pied de falaise pour aménager une plate-forme et creuser les habitats troglodytes.

Au cours des divers aménagements, les ouvrages souterrains trop proches les uns des autres (juxtaposition systématique) ont provoqué la ruine de la falaise par sous-minage général du pied de l'abrupt.

Les effondrements successifs ont provoqué le recul du front de falaise dans le versant et donc l'augmentation de la hauteur des parties verticales.

2.4 – LA VEGETATION

Le rôle de la végétation dans la désorganisation de la falaise est notamment lié à la présence d'arbres et de fourrés (lierre, etc.) au droit ou à proximité du front rocheux.

Les racines pénètrent dans le sous-sol à la faveur des fissures et cela jusqu'à une profondeur pouvant atteindre une dizaine de mètres.

Par accroissement de leur diamètre, les racines se comportent comme des « coins » qui tendent à propager et à élargir les fissures et à favoriser ainsi l'infiltration des eaux de pluie (cf. photos 7, 12 et 27).

Eboulements liés aux « surplombs rocheux » (cf. photos)

Quelque que soit l'homogénéité et la compacité naturelles d'un banc rocheux, l'action du seul poids propre génère un moment de « basculement au vide », lequel crée des contraintes de traction dans la partie supérieure du massif, c'est-à-dire dans la roche, dont la résistance en traction est un point faible (cf. photos 10 et 11).

Ce phénomène favorise l'ouverture des discontinuités du milieu et notamment des diaclases verticales ; ce qui permet alors l'action des agents atmosphériques tels que le gel et l'eau, et facilite en conséquence la désorganisation progressive de la roche.

C'est ainsi que s'effectue, par ruptures successives, le recul des falaises.

3 – TYPOLOGIE DES DÉSORDRES

Annexe 4 : Planches photographiques

Annexe 5 : Tableau de recensement des désordres

Annexe 6 : Carte des désordres recensés

Le recensement des désordres a conduit à relever deux événements majeurs liés à une instabilité de falaise sur la commune. Ces phénomènes, dont la description est précisée en annexe 5, sont liés essentiellement aux éboulements et glissements de formations superficielles présentes en sommet des fronts.

Ces glissements se sont produits suite à de fortes précipitations, entraînant les matériaux qui forment la couverture superficielle altérée et meuble des fronts de falaise (colluvions, éboulis de nature calcaro-limoneuse, les argiles à silex, etc.).

Des sinistres sont à déplorer sur le bâti, notamment la rupture de murs de soutènements (cf. photos 31, 32 et 33).

Les photos 7 et 13, données en annexe 4, illustrent des exemples de désordres liés à des instabilités de falaise (éboulements).

La « Carte des désordres recensés » localise ces phénomènes sur l'ensemble de la commune de Vétheuil.

4 – MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION DE L'ALÉA

Annexe 7 : Fiche de terrain

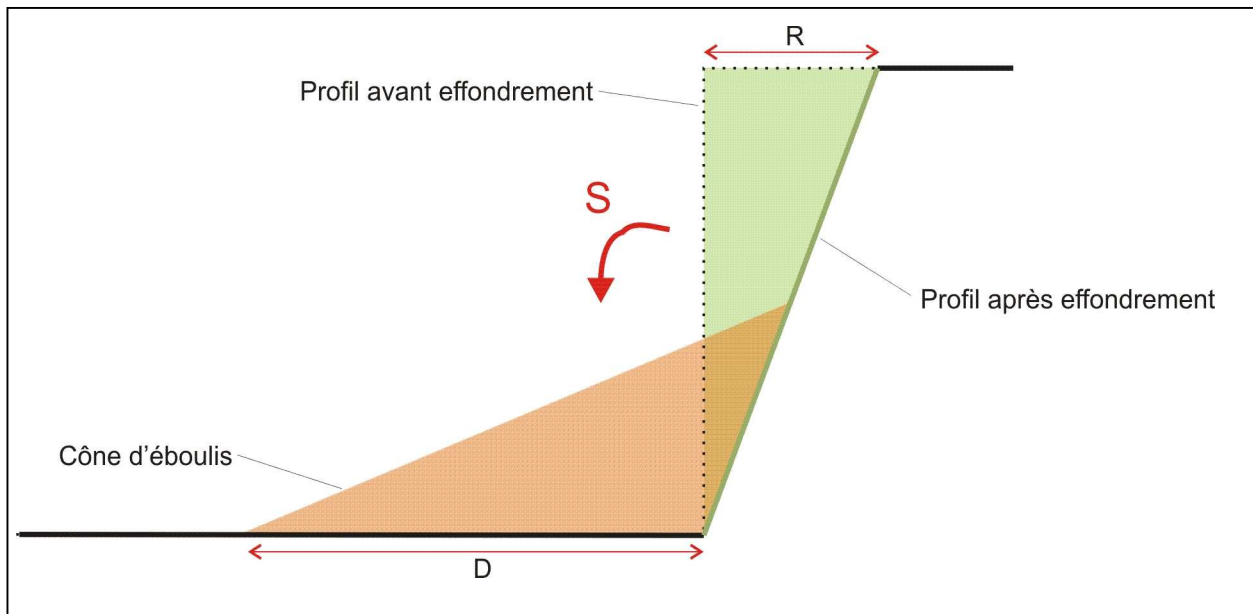
Annexe 8 : Etude de l'extension du cône d'éboulis généré par un effondrement généralisé de falaise

Annexe 9 : Cartes Aléa l'instabilité de falaise – Vétheuil Nord et Sud

4.1 - PRINCIPES GÉNÉRAUX

La connaissance de l'aléa « Instabilité de falaise » implique la détermination de deux paramètres principaux :

- le niveau d'aléa à la source (S),
- l'extension géographique des aléas en amont (R) et en aval du front (D).



4.1.1 - Examens visuels des falaises

Bien qu'étant de conséquences comparables (chutes de pierres, de blocs, éboulements et glissements de formations meubles) les instabilités de falaises sont caractérisées par des origines variées mettant en jeu des phénomènes complexes, parfois difficilement prévisibles (ex : facteurs météorologiques).

La réduction optimale de l'incertitude du diagnostic supposerait la mise en oeuvre de moyens techniques et financiers lourds, parfois justifiés dans le cadre d'études spécifiques ponctuelles, mais difficilement envisageables sur de grandes étendues telles que les coteaux de la Seine.

Dans cette étude, nous avons fait le choix d'une méthode de définition de l'aléa à la source fondée sur des **examens visuels**. Cette pratique, basée sur la recherche d'indices d'instabilité pertinents et visibles, est bien adaptée à l'étude de grands linéaires de falaise.

Justifiée par la dispersion géographique des facteurs d'instabilité, ces examens ont été réalisés de **manière systématique**, à l'échelle de la propriété cadastrale. Une approche par secteurs ou à partir de photographies aériennes aurait impliqué une augmentation de la marge d'incertitude, voire engendrer des impasses localement préjudiciables à la qualité de l'étude.

Quelques talus et falaises présentent des dispositifs de soutènement de nature et de qualité diverses. Cependant l'examen des falaises et la définition des niveaux d'aléas ont été conduits en faisant abstraction des confortements. La prise en compte des soutènements dans l'évaluation de l'aléa aurait impliqué un jugement de la qualité du dispositif et donc des responsabilités et des compétences qui sortent du cadre de cette mission.

Ainsi la méthode globale s'attache à étudier les caractéristiques naturelles du massif.

4.1.2 – Qualification de l'aléa

Pour un site donné, la qualification du niveau d'aléa est fondée sur le croisement de deux paramètres caractéristiques d'une instabilité : sa **probabilité d'occurrence** et son **intensité**.

- **Probabilité d'occurrence** : cette première notion illustre, pour une instabilité, sa plus ou moins grande chance de se produire dans le temps et correspond donc à la stabilité du site. Elle est directement contrôlée par les propriétés intrinsèques du versant (géomorphologie, géologie, hydrogéologie, action de la végétation, etc.).

Pour certains types de risque (ex : inondation), il est possible de définir quantitativement des probabilités vis à vis de périodes de temps définies (période de retour sur 10 ans, sur 100 ans, etc.) Cette approche nécessite la collecte de données suffisamment nombreuses et régulières mais le caractère non répétitif des aléas « mouvements de terrain » autorise rarement le traitement par méthode statistique.

Pour la présente étude, la probabilité d'occurrence n'a pas été définie par rapport à une durée de temps particulière.

- **L'intensité** : cette seconde notion traduit globalement l'énergie potentielle mobilisable par l'aléa. Dans le cas de mouvements de terrain, l'intensité correspond à la combinaison du **volume** mis en mouvement et de sa hauteur de chute.

Dans le cadre de cette étude, la terminologie des éléments mobilisés a été associée à des classes de volumes qui sont présentées dans le tableau suivant :

DESCRIPTION	VOLUMES MOBILISES	DIMENSIONS
Chute de pierres	< 10 dm ³	< 20 cm de côté
Chute de petits blocs	10 à 200 dm ³	< 50 cm de côté
Chute de blocs et éboulement	200 dm ³ à 100 m ³	50 cm à 5 m de côté
Chute de gros blocs et éboulement en masse	100 m ³ <	5 m de côté <

4.1.3 - Limites de la méthode

Bien que réduite par le choix d'examen systématiques par parcelle, la marge d'incertitude de la méthodologie dépend du principe d'auscultation visuelle des falaises.

Certains facteurs d'instabilité difficilement visibles ou prévisibles pourront ne pas avoir été pris en compte dans la définition du niveau d'aléa :

- facteurs intrinsèques :
 - front masqué par la végétation, le bâti ou des dispositifs de soutènement,
 - fractures développées en arrière du front et invisibles depuis le pied de falaise,
- facteurs extérieurs aggravants :
 - phénomènes météorologiques,
 - développement non maîtrisé de la végétation,
 - perturbations anthropiques.

4.2 - CRITERES ETUDIÉS

Le tableau suivant présente les critères retenus afin de juger de l'état de stabilité d'une falaise :

NATURE DE L'ALÉA	CRITÈRES ETUDIÉS
Instabilité de falaise	Hauteur de falaise
	Profil du front (penté, vertical, surplomb, sous-miné)
	Direction du front (vis à vis des principales orientations des fractures)
	Niveau d'altération / d'érosion
	Action de la végétation
	Indices d'activité
	Sensibilité des formations superficielles
	Hydrogéologie (indices d'écoulements passés ou actifs)
	Présence de fractures remarquables (individualisant des volumes importants)
	Historique
	Intensité (volumes mis en jeu)

Chacun de ces critères fait l'objet d'une note et de commentaires reportés sur la fiche d'examen de terrain dont un exemplaire est donné en annexe 7.

La notation des différents critères et la synthèse des commentaires conduit aux évaluations de la probabilité d'occurrence et de l'intensité des instabilités identifiées sur le site, puis à la définition du niveau d'aléa à la source.

4.3 - DEFINITION DES NIVEAUX D'ALEAS A LA SOURCE

L'examen du linéaire des fronts de falaise a permis de distinguer quatre niveaux d'aléas pour les instabilités de falaise.

Ces différents niveaux, présentés dans le tableau suivant, permettent de décrire l'éventail des phénomènes observés :

Aléa Instabilité de falaise (s'applique à des masses rocheuses ou terreuses)	
<i>Aléa faible</i>	<ul style="list-style-type: none">• Existence d'un pan de falaise de hauteur inférieure à 5 mètres ne présentant pas de signe d'instabilité.• Probabilité de dégradations très localisées liées au vieillissement naturel du massif de craie.• Les volumes impliqués concernent des pierres dont la chute s'accompagne de conséquences limitées sur les personnes ou les biens.
<i>Aléa modéré</i>	<ul style="list-style-type: none">• Existence d'un pan de falaise ne présentant pas de signe d'instabilité.• Probabilité de dégradations localisées pouvant mobiliser des grosses pierres voire des petits blocs depuis des hauteurs importantes ou des masses terreuses de volume inférieur à 5m³.• L'énergie mobilisée par la chute des éléments expose les personnes à des blessures et les biens à des dégâts.
<i>Aléa fort</i>	<ul style="list-style-type: none">• Existence d'un pan de falaise présentant des signes d'instabilité localisée.• Probabilité de chutes de blocs ou de masses terreuses supérieures à 5 m³ générant un danger pour les personnes et exposant les biens à des dégâts voire leur destruction.
<i>Aléa très fort</i>	<ul style="list-style-type: none">• Existence d'un pan de falaise présentant des signes d'instabilité étendue.• La dynamique mobilise des volumes de plusieurs dizaines de m³. Elle pourrait conduire à des phénomènes de type écoulement voire éboulement en masse et à la déstabilisation du versant.

Les termes définissant les éléments mobilisés (pierre, bloc) correspondent à des classes de volumes qui sont définies dans le tableau du paragraphe 4.1.2.

Remarque importante: des fronts de falaise de craie n'ont pu être examinés en raison d'un refus du propriétaire ou de leur inaccessibilité. Les cas, pour lesquels aucune information n'était disponible lors des investigations, ont été qualifiés d'un d'aléa « **présumé fort** ».

4.4 – DETERMINATION DE L'EXTENSION DES ALEAS

Pour une description complète, la détermination du niveau de l'aléa à la source doit être précisée par l'évaluation de son extension en amont (marge de recul R) et en aval (distance de propagation D) du front de la falaise (cf. paragraphe 4.1).

L'existence ou non d'un talus en pied de front a conduit à distinguer deux méthodes de travail.

4.4.1 – Cas des falaises sans talus de pied

Dans le cas des falaises dont le pied est horizontal, la propagation des éléments est limitée et principalement contrôlée par l'intensité du phénomène (croisement du volume et de la hauteur de chute).

Le tableau suivant présente les distances définies, par niveau d'aléa, pour le recul et la propagation :

Aléa Instabilité de falaise		
Niveau de l'aléa	Définition des extensions	
	Marge de recul R	Distance de propagation D
Faible	Pas de marge de recul	Distance forfaitaire de 5 mètres prenant en compte d'éventuels phénomènes de rebonds sur le front
Modéré	Marge forfaitaire de 3 mètres	Distance forfaitaire de 5 mètres prenant en compte d'éventuels phénomènes de rebonds sur le front
Fort	Marge proportionnelle à la hauteur du front H R = 0,4 * H avec un minimum de 5 mètres	Distance proportionnelle à la hauteur du front H D = H / 2 avec un minimum de 5 mètres
Très fort	Marge proportionnelle à la hauteur du front H R = 0,4 * H avec un minimum de 5 mètres	Distance proportionnelle à la hauteur du front H D = 0,85 * H avec un minimum de 5 mètres

Pour les niveaux d'aléas « faible » et « modéré », la méthodologie est basée sur la définition de distances forfaitaires dont les valeurs ont été étalonnées sur le terrain.

Pour les niveaux « fort » et « très fort », la méthodologie établit des relations entre la hauteur de la falaise et l'extension de l'aléa.

Concernant l'aléa « très fort » et la marge de recul de l'aléa « fort », les facteurs ont été déterminés à partir d'une étude géométrique de l'extension du cône d'éboulis dans le cas d'un effondrement en masse. Le développement de cette étude est présenté en annexe 8.

Pour les sites affectés du niveau d'aléa « présumé fort », n'ayant pu être examinés, la définition des extensions est celle donnée forfaitairement pour un aléa de niveau modéré.

4.4.2 – Cas des falaises avec talus de pied

Comme on l'a vu précédemment, à l'extrémité nord-ouest de la commune, le versant présente une falaise déportée, couronnée par un piton de craie (éperon rocheux) à parois suverticales voire en surplomb, et présentant des risques de chutes d'éléments rocheux (cf. photos 2, 10 et 11).

La présence de talus ou versant en pied de falaise se traduit par un accroissement important de la propagation des éléments mobilisés en aval (D) et nécessite une méthodologie particulière.

Ayant localisé les zones de la falaise sources de blocs, nous devons nous intéresser à leur propagation latérale et longitudinale dans le versant.

A partir des observations de terrain et de la carte topographique, nous pouvons délimiter les zones de propagation des éléments rocheux détachés de la falaise, seulement latéralement.

Nous avons tracé les lignes de plus grandes pentes à partir des deux extrémités de la zone source, en leur appliquant un angle de 15° (valeur arbitraire) vers l'extérieur pour tenir compte des déviations éventuellement subies par les blocs au cours de leur chute.

Pour délimiter les zones de propagation des éléments rocheux détachés de la falaise longitudinalement, nous avons eu recours à une modélisation informatique réalisée par le Centre d'Etudes Techniques de Lyon (CETE) sur plusieurs éperons rocheux de la commune voisine de Haute-Isle.

A partir d'un profil topographique de versant, le logiciel PROPAG V3.0 permet de calculer la trajectoire la plus défavorable (trajectoire maximale) d'un bloc en chute sur un versant, et d'évaluer les conditions limites de la propagation du bloc, soient la limite d'extension probable, les vitesses et hauteurs de passage du bloc.

Ainsi, les caractéristiques de versant de Vétheuil étant très proches de celles de Haute-Isle, nous avons pu établir une corrélation et extrapoler les résultats de cette étude de trajectographie au site de Vétheuil.

Remarques

L'étude de trajectographie, réalisée sur la commune de Haute-Isle, reste cependant trop succincte pour permettre rigoureusement de définir le point extrême pouvant être atteint par un bloc en chute.

Nous ne pouvons donner qu'une idée qualitative du risque de chute blocs et une idée des volumes pouvant être libérés.

Les profils topographiques, issus des cartes IGN au 1/25000, sont limités en précision et restent schématiques.

Il est important de préciser enfin que ces simulations ne tiennent pas en compte de l'effet modérateur de la végétation, sensible essentiellement pour les pierres et les petits blocs.

4.5 – CAS DES FALAISES DE CALCAIRE GROSSIER – DEFINITION DE L'ALEA

Comme on l'a dit précédemment, les falaises de calcaire grossier affleurant dans des zones peu accessibles et, où la végétation est très dense, n'ont pas fait l'objet d'examens systématiques.

De plus, les fronts ont été dessinés à partir de la carte géologique de Mantes-La-Jolie au 1/50000^e et des photographies aériennes ; celles-ci étant prises à des altitudes limitant la précision du report sur une carte détaillée.

Actuellement, d'après l'ensemble des connaissances et observations de terrain, nous pouvons considérer que les fronts de falaise de calcaire grossier évoluent peu, et ne sont pas sujets à des instabilités majeures notables.

C'est pourquoi, nous affecterons, par mesure conservatoire, un aléa Instabilité de falaise global **modéré** au linéaire de falaises de calcaire grossier, avec une marge de recul R en amont du front de 3 mètres, et en aval du front, la distance de propagation D définit arbitrairement à 10 mètres.

4.6 – ETABLISSEMENT DE LA CARTE ALEA INSTABILITE DE FALAISE

Annexe 10 : Cartes Aléa linstabilité de falaise – Vétheuil Nord et Sud

Lorsque nous avons défini et quantifié l'aléa à sa source ainsi que son extension géographique (propagation maximale supposée des éléments mobilisés), toutes les données sont reportées sur le plan topographique de la commune sur lequel un dispositif graphique et un code de couleurs permettent de visualiser le zonage de l'aléa.

Les « Cartes Aléa linstabilité de falaise – Vétheuil Nord et Sud », à l'échelle 1/1000^e, illustrent le zonage géographique de l'aléa Instabilité de falaise.

D - ALÉA INSTABILITÉ DE BOVE

1 – CARACTÉRISTIQUES DES BOVES

Annexe 4 : Planches photographiques

1.1 – RAPPEL HISTORIQUE

Dans la vallée de la Seine du Vexin français, les fronts de falaises de craie sont régulièrement sous-minés par des excavations d'origine anthropique appelées **boves** (cf. photos 1, 18 à 22).

Depuis des siècles, les habitants ont creusé des cavités en pied de falaise, généralement au niveau des bancs de craie plus tendres et faciles à extraire et dont les résistances mécaniques sont moyennes.

A l'origine, utilisées comme habitation (troglodyte) les cavités ont au fil des siècles accueilli des animaux d'élevage tandis que l'Homme s'établissait en pied de falaise. Les habitations entièrement troglodytiques sont aujourd'hui exceptionnelles (cas du n° 26 avenue Claude Monet) La plupart des boves servent désormais de débarras ou de garages accessibles depuis les arrière-cours.

1.2 – CARACTERISTIQUES ET MORPHOLOGIE DES BOVES

Le tableau suivant présente quelques valeurs moyennes illustrant leur géométrie :

Longueur	5 à 15 mètres
Largeur	2 à 8 mètres
Hauteur	<3,5 mètres

Certaines boves présentent des dimensions moindres ou plus importantes, voire exceptionnelles comme le domaine de « Lacrosnière » sis n° 40 avenue Claude Monet (cf. photos 19, 20 et 21), où plusieurs boves sont juxtaposées (35<L<65 m, l<10 m, et H≈10 m en fond de cavité) et la grotte des Mamazelles (chemin de Chérence).

Même si le plus souvent un banc résistant a été maintenu au toit des boves, la fracturation de celui-ci, la dimension (portée du ciel), la juxtaposition ou superposition des cavités (cf. photos) compromettent localement la stabilité. Ce phénomène est d'autant plus sensible dans les premiers mètres excavés :

- soumis de façon plus accentuée aux agents d'érosion,
- où les boves ont souvent été élargies,
- où la fissuration plus dense favorise la désorganisation des toits (ciels), des piliers et des piédroits.

Quelques boves ont été équipées de puits verticaux d'aéragé pouvant traverser le massif de craie sur des hauteurs importantes.

Cas particulier des « caves » (cf. photos 14 à 17, 28 et 29).

Le bourg de Vétheuil recèle un grand nombre de cavités ou **caves**, parfois de petite dimension, creusées dans les formations meubles (colluvions de fond de vallée, remblais) ou dans une roche altérée peu résistante (la roche franche affleure parfois en fond de cavité), tandis que la traversée de la frange d'altération est très souvent soutenue par une maçonnerie (moellons, parpaings) des parois du matériau extrait : une batterie d'arcs en plein cintre, une simple voûte maçonnée, des piliers de consolidation, etc.

Ces cavités sont souvent creusées depuis ou à l'aplomb du bâti (on parle alors de cave), mais aussi sous les terrains alentours avec une entrée en cavage ; les fronts de talus ont été systématiquement revêtus de dispositifs de soutènement de type perré permettant la création d'une terrasse ou d'un jardin au-dessus.

Elles sont équipées généralement de cheminées d'aération (cf. photo 17).

Toutes ces cavités n'ont pas été répertoriées par l'IGC, et n'ont pas fait d'examens systématiques de notre part ; cependant, nous avons inspecté les cavités sous-minant les terrains pouvant présenter un risque, notamment les terrains du domaine public (chaussées, etc.).

Bien que n'étant pas considérées comme des boves à proprement parler, ces cavités (caves) seront prises en compte dans la cartographie Aléa Instabilité de bove.

2 – MÉCANISMES D'INSTABILITÉ DES BOVES

La création de vides au niveau de la couche exploitée se traduit par une redistribution des contraintes naturelles. Chacun des éléments de l'édifice (mur, pilier, toit, etc.) contribue à la stabilité de l'ensemble, et les conditions d'instabilité doivent être regardées cas par cas.

2.1 – TYPES D'INSTABILITES

- Les chutes de toit : elles se forment soit par détachement d'un bloc découpé par des fractures naturelles ou combinées avec des fractures mécaniques, soit par rupture du premier banc du toit par flexion ou cisaillement. Les conditions d'apparition sont liées à la fracturation naturelle, à l'épaisseur et résistance des bancs (dans les premiers mètres du toit), et l'état de contrainte du toit.

Le phénomène « chute de toit » ne doit être pris en compte directement qu'en cas de réutilisation du vide ; pour le risque vis-à-vis de la surface, il faut envisager son évolution soit sous la forme d'une montée de voûte, soit sous la forme d'un fontis.

- La montée de voûte est une évolution des chutes de toit vers la formation d'une voûte autostable ne débouchant pas en surface. Elle peut influencer sur la stabilité des piliers en augmentant leur élancement.
- Lorsque la montée de voûte atteint des bancs peu résistants ou des roches meubles, l'épaisseur de recouvrement diminuant, le processus de dégradation se développe en général verticalement et peut déboucher en surface sous la forme d'un cône d'éboulement appelé fontis.
- Les dégradations des murs et des piliers (écaillage des parois, fragmentation en bloc sous forme de colonnettes ou « diabolos ») conduisant à leur ruine ou à leur rupture (cf. photos 24 à 27).
- Les effondrements localisés et/ou généralisés (ruptures de mur et de toit, effondrements spontanés) (cf. Photos 28 et 29).

2.4 – LES FACTEURS AGGRAVANTS

Pour avoir une vue évolutive sur l'état de stabilité d'une cavité, il faut tenir compte de l'influence de facteurs externes qui peuvent lui être imposées par son environnement.

- La capacité de fluage des matériaux crayeux sous la charge étant élevée, des déformations continues et irréversibles peuvent affecter le massif encaissant,
- Les variations d'humidité et de température de l'atmosphère dans la cavité sont susceptibles d'altérer la craie, matériau tendre, poreux et peu résistant (écaillage des parois, diminution de la résistance des piliers, etc.),
- La prolifération de la végétation agressive en entrée de cavité, déstabilisant la roche par l'action des racines, (cf. photos 27)
- Enfin tous les aménagements et perturbations anthropiques à l'intérieur et au-dessus des cavités.

3 – TYPOLOGIE DES DÉSORDRES

Annexe 4 : Planches photographiques

Annexe 5 : Tableau de recensement des désordres

Annexe 6 : Carte des désordres recensés

Le recensement des désordres a conduit à relever deux évènements liés à une instabilité de cavité (bove) sur la commune. Ces phénomènes, dont la description est précisée en annexe 5, sont liés aux chutes de pierres et de blocs (rupture de ciel et effondrement de l'entrée de cavité) (cf. photos 27, 28 et 29).

Les chutes de pierres et de blocs affectent le plus souvent le toit (ciel) des entrées des boves où la craie a été fragilisée par les agents d'érosion, au droit des piliers ou des piédroits (cf. photos 24 et 25), lorsque les sollicitations ou contraintes sont supérieures à la résistance mécanique de l'encaissant, et plus rarement en fond de cavité (accidents tectoniques, karstiques).

Potentiellement, les cavités peuvent être sujettes au développement de fontis, affectant généralement celles dont le recouvrement est fragile. Le fontis se développe depuis un ciel taillé directement dans la frange altérée de la roche ou soit au sein des formations superficielles (colluvions).

La « Carte des désordres recensés » localise ces phénomènes sur l'ensemble de la commune de Vétheuil.

4 – MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION DE L'ALÉA

Annexe 7 : Fiche de terrain

Annexe 10 : Cartes Aléa Instabilité de bove – Vétheuil Nord et Sud

4.1 - GENERALITES

Les boves ont fait l'objet, dans la mesure de leur accessibilité, de visites systématiques. Ce choix méthodologique se justifie d'autant plus que beaucoup de boves ne sont pas visibles depuis le domaine public (notamment masquées par le bâti). De plus, l'examen de plusieurs dizaines d'excavations a confirmé le caractère hétérogène de leur état de conservation, fonction de plusieurs variables :

- les caractéristiques de l'encaissant (craie tendre ou dolomitique, degré d'érosion et de fracturation),
- les dimensions de la cavité (portée du ciel, etc.),
- le recouvrement r (hauteur des terres entre le toit de la cavité et la surface),
- les aménagements anthropiques.

Le mécanisme d'attribution du niveau d'aléa est globalement le même que celui mis en œuvre pour les falaises. L'évaluation de la probabilité d'occurrence, croisée avec l'intensité conduit à la définition du niveau d'aléa.

De même, les dispositifs de soutènement en place n'ont pas été pris en compte.

Les masses rocheuses instables très proches de l'entrée des cavités ont été traitées dans la qualification de l'aléa « Instabilité de falaise ». En effet, les instabilités localisées dans les premiers mètres excavés se traduisent généralement par des pathologies de falaise.

4.2 - CRITERES ETUDIÉS

Le tableau suivant présente les critères retenus afin de juger de l'état de stabilité d'une bove :

NATURE DE L'ALÉA	CRITÈRES ETUDIÉS
Instabilité de bove	Configuration des boves (isolées, contiguës, superposées)
	Etat de la bove (note de 1 à 3 en fonction de l'état de l'entrée, des piliers, piedroits et du ciel)
	Recouvrement (suffisant, moyen, insuffisant, appréciation qualitative selon la nature et la dimension)
	Action de la végétation (absente, neutre, active, préjudiciable)
	Hydrogéologie (indices d'écoulements passés ou actifs)
	Historique
	Intensité (volumes mis en jeu)

Chacun de ces critères fait l'objet d'une note et de commentaires reportés sur la fiche d'examen de terrain dont un exemplaire est donné en annexe 7.

La notation des différents critères et la synthèse des commentaires conduit aux évaluations de la probabilité d'occurrence et de l'intensité des instabilités identifiées sur le site, puis à la définition du niveau d'aléa à la source.

4.3 - DEFINITION DES NIVEAUX D'ALEAS A LA SOURCE

Les différents niveaux d'aléas sont présentés dans le tableau suivant :

Aléa instabilité de bove	
<i>Aléa faible</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une bove ne présentant pas d'indice d'instabilité. • Probabilité de dégradations très localisées liées au vieillissement naturel du massif de craie. • Les volumes impliqués sont limités à des pierres dont la chute s'accompagne de conséquences limitées sur les personnes ou les biens.
<i>Aléa modéré</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une bove présentant des indices d'instabilité localisée et/ou un recouvrement de propriétés jugées moyennes (dimension, nature). • Probabilité de dégradations localisées pouvant mobiliser des petits blocs et exposant les personnes à des blessures et les biens à des dégâts.
<i>Aléa fort</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une bove présentant des indices d'instabilité d'extension moyenne. • Probabilité de dégradations de type éboulement ou chute de bloc pouvant entraîner des désordres locaux à la périphérie de la cavité (en surface). • La cavité est dangereuse pour les occupants ou les utilisateurs.
<i>Aléa très fort</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une bove présentant des indices d'instabilité étendue. • Probabilité de ruine générale de la cavité entraînant la déstabilisation du versant avec propagation d'affaissements voire d'effondrements en surface. • La cavité est incompatible avec la présence humaine.

Les termes définissant les éléments mobilisés (pierre, bloc) correspondent à des classes de volumes qui sont définies dans le paragraphe 4.1.2.

Remarque importante: des boves n'ont pu être examinées en raison d'un refus du propriétaire ou de leur inaccessibilité. Les cas de boves, pour lesquelles aucune information n'était disponible lors des investigations, ont été qualifiés d'un d'aléa « **présumé fort** ».

4.4 – DETERMINATION DE L'EXTENSION DES ALEAS

Comme on l'a vu précédemment, le processus de dégradation d'une cavité (bove) se développe en général verticalement et peut déboucher en surface sous la forme d'un cône d'éboulement appelé fontis.

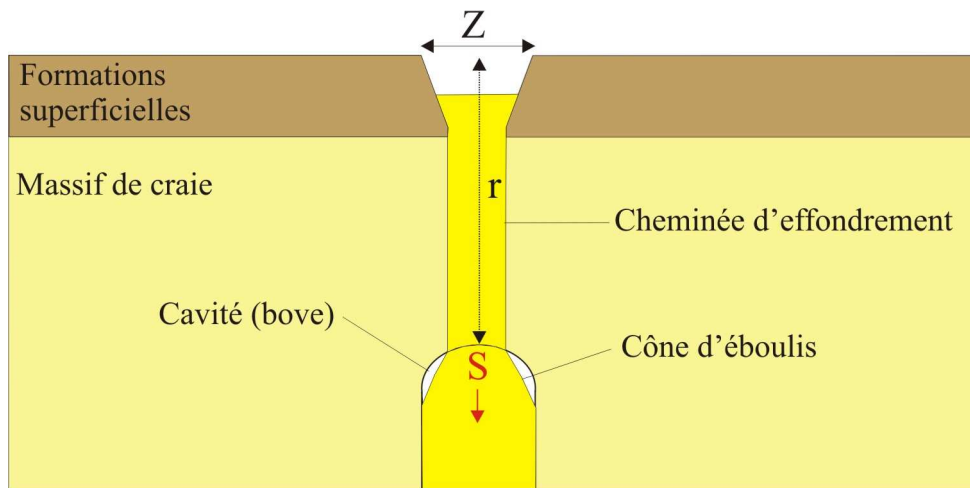
A l'image des falaises, la connaissance de l'aléa « instabilité de bove » implique donc la détermination de deux paramètres principaux :

- le niveau d'aléa à la source (S),
- l'extension de l'instabilité en surface en cas de propagation maximale (Z).

La détermination de la géométrie et de la hauteur de remontée d'un fontis à la surface après la rupture d'un toit d'une cavité (bove) dépend d'une bonne connaissance de la géométrie du vide initial susceptible de provoquer la rupture ainsi que de la hauteur (recouvrement) et de la nature des sols de couverture.

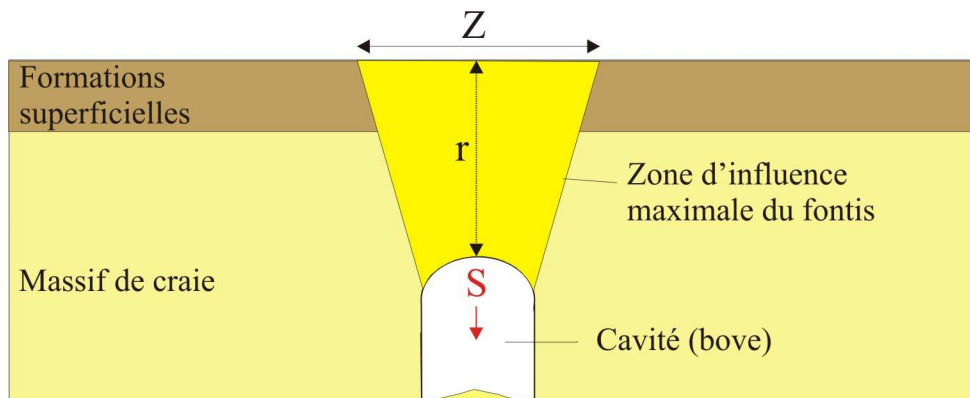
Généralement, la zone de propagation maximale d'un fontis au sein du massif se développe suivant deux modèles géométriques simplifiés :

- une cheminée d'effondrement de forme pseudo cylindrique (cas des cavités présentant une cheminée remplie et un recouvrement r important). Lorsque le fontis débouche en surface, en fonction de la tenue des terrains de sub-surface (matériaux meubles ou indurés), la cheminée peut s'évaser et prendre la forme terminale d'un cône (cf. figure 1)



- Figure 1

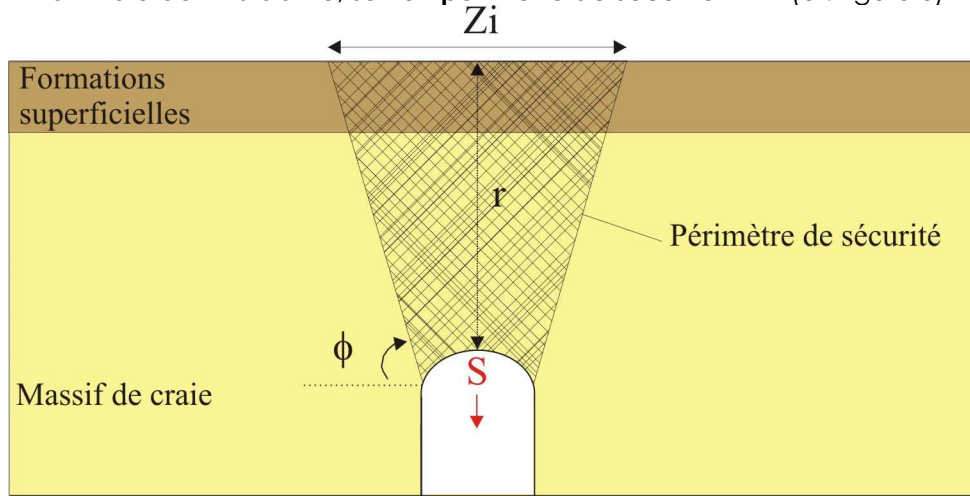
- une cheminée d'effondrement de forme conique (cas des cavités présentant une cheminée vide et un recouvrement r faible) (cf. figure 2)



- Figure 2

Dans la majorité des cas, la zone de propagation maximale d'un fontis au sein du massif prend la forme d'une cheminée pseudo cylindrique.

La portée de cette étude ne permet pas de déterminer le paramètre « Z », c'est pourquoi nous nous attacherons à définir par principe conservatoire, une zone d'influence sécuritaire de propagation maximale de l'instabilité, soit **un périmètre de sécurité « Zi »** (cf. figure 3)



- Figure 3

Le tableau suivant présente, par niveau d'aléa, la méthodologie de cartographie :

Aléa Instabilité de bove	
Niveau de l'aléa	Définition des extensions
Faible	Extension correspondant à l'emprise de l'excavation
Modéré	Extension correspondant à l'emprise de l'excavation
Fort	Emprise de l'excavation augmentée d'une zone d'influence sécuritaire proportionnelle à la dimension du recouvrement r $Zi = r / 1,7$ avec un minimum de 3 mètres
Très fort	Emprise de l'excavation augmentée d'une zone d'influence sécuritaire proportionnelle à la dimension du recouvrement r $Zi = r / 1,7$ avec un minimum de 3 mètres

Pour les niveaux d'aléas « faible » et « modéré », les volumes mobilisés sont restreints et n'entraînent pas de propagation à l'extérieur de l'emprise des excavations.

Pour les niveaux « fort » et « très fort », les instabilités s'accompagnent d'un périmètre de sécurité Zi dont l'extension est définie à partir de l'hypothèse d'une propagation maximale.

Pour le calcul du paramètre Zi, le modèle géométrique se base sur l'hypothèse d'une zone d'influence de la propagation de l'instabilité vers la surface selon un cône d'angle $\Phi = 60^\circ$.

Cette valeur permet de moyenniser la variation de l'angle du cône au sein des formations encaissantes.

Pour les sites affectés du niveau d'aléa « présumé fort », n'ayant pu être examinés, l'extension n'est pas augmentée de la marge Zi :

- l'extension est limitée aux emprises dans le cas où les limites de l'excavation sont connues,
- pour des sites à forte incertitude, un périmètre est défini au droit des emprises probables des excavations.

4.5 – ÉTABLISSEMENT DE LA CARTE ALÉA INSTABILITÉ DE BOVE

Annexe 10 : Cartes Aléa l'instabilité de bove – Vétheuil Nord et Sud

Lorsque nous avons défini et quantifié l'aléa à sa source ainsi que la zone de propagation de l'instabilité en surface, toutes les données sont reportées sur le plan topographique de la commune sur lequel un dispositif graphique et un code de couleurs permettent de visualiser le zonage de l'aléa.

Les « *Cartes Aléa l'instabilité de bove – Vétheuil Nord et Sud* », à l'échelle 1/1000^e, illustrent le zonage géographique de l'aléa Instabilité de bove.

E – AUTRES PHÉNOMÈNES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN

Annexe 3 : Extrait de la carte géologique de Mantes-La-Jolie au 1/50000^e

Annexe 4 : Planches photographiques

Annexe 5 : Tableau de recensement des désordres

Annexe 6 : Carte des désordres recensés

1 – LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

1.1 – LES ARGILES DU SPARNACIEN

1.1.1 – Contexte et caractérisation

En février 1980, un glissement de masse est survenu au lieu-dit « l'Aumône » sur les parcelles cadastrées 1020 et 1021 situées à flanc de colline (cf. photo 30).

Pour rappel, le site est en bordure d'un plateau formé de calcaire grossier reposant sur une faible couche de sables aquifères du Cuisien, puis sur les argiles plastiques du Sparnacien, d'une dizaine de mètres d'épaisseur, l'ensemble reposant sur la craie blanche du Campanien qui affleure dans la vallée (cf. Partie B - paragraphe 2).

L'expertise du BRGM de 1980 avait mené aux conclusions suivantes : cette argile plastique, très sensible aux variations de teneurs en eau du milieu, constitue une couche imperméable qui retient un niveau phréatique alimenté par le plateau et s'établissant dans les sables du Cuisien. Ces derniers, saturés, donnent localement naissance à de nombreux écoulements de surface (sources observées à flanc de colline) La topographie du site en talweg a permis le cheminement souterrain des eaux dans les formations superficielles meubles de versant jusqu'au pied de la colline où elles rejoignent le rû de la Goulée.

Ainsi, l'écoulement permanent souterrain des eaux provenant du trop-plein de cet aquifère perché, couplé à des épisodes de pluviométries importantes, accentue l'instabilité du versant par imbibition de l'argile crevassée, et engendre un glissement des terrains progressif.

1.1.2 – Délimitation du phénomène

A partir des données actuelles, nous ne pouvons pas délimiter de façon précise le périmètre des terrains particulièrement sensibles au phénomène de glissement.

Cependant, d'après les caractéristiques du site (géologie, géomorphologie et hydrogéologie), nous pouvons considérer que tout le versant nord-ouest de Vétheuil est potentiellement sujet aux glissements de terrain.

C'est pourquoi, en ayant préalablement délimité la zone sinistrée, par extrapolation, nous avons défini **un périmètre de probabilité** d'action des mouvements des sols.

La « Carte des désordres recensés » à l'échelle 1/2000^e, délimitent les terrains potentiellement sujets aux glissements.

1 – ENTRETIEN DES COTEAUX ET FALAISES

Annexe 4 : Planches photographiques

Annexe 11 : Extraits de la revue « Cavités 37 » n°2 - Les plantations des coteaux

La rencontre des particuliers au cours des investigations de terrain a suscité un grand nombre de questionnements et de demandes de conseils concernant l'entretien des falaises et des cavités (boves) les sous-minant.

Largement inspirés par la revue « Cavités 37 » n°2 - Les plantations des coteaux, publiée par le Syndicat Intercommunal pour la surveillance des cavités souterraines et des masses rocheuses d'Indre-et-Loire (37), les paragraphes suivants préconisent quelques principes, conseils d'aménagement et d'entretien des falaises sous-minées permettant de pérenniser leur stabilité.

Comme nous l'avons constaté, les conditions météorologiques et les déstabilisations en coteau sont étroitement liées. En conséquence, la meilleure démarche préventive en terme de stabilité, reste la maîtrise de l'environnement du coteau, en matière de végétation et surtout en matière d'eaux de ruissellement.

1.1 – GESTION DE LA VEGETATION EN BORDURE DE FALAISE

Le sommet de la falaise est, dans la majorité des cas, recouvert d'une végétation dense comprenant souvent de grosses souches d'arbres pouvant dépasser un mètre de diamètre ou plus. L'arbre, coupé à une certaine époque, a formé sur son pied le départ de plusieurs branches. En quelques décennies, il présente une grande talle constituée de plusieurs pieds sur un même départ. La multiplication de celle-ci endommage la partie supérieure de la falaise. Les racines s'incrémentent très loin dans les petites fissures et descendent profondément dans la roche en place.

Le phénomène d'éclatement de la roche se produit et facilite la croissance d'autres arbres et peut déstabiliser la falaise jusqu'à son éboulement.

L'eau, le gel et le soleil viennent compléter l'action des racines qui peuvent s'étendre verticalement à plus de 10 mètres et atteindre les cavités inférieures (cas d'une falaise sous-minée).

L'entretien périodique des coteaux est indispensable : déboisement, mais aussi « purge » du rocher.

Dans le cas du déboisement, deux solutions peuvent être envisagées :

- soit la souche est dévitalisée par l'apport d'un produit adapté afin d'arrêter la pression exercée par les racines dans les fissures. Il faudra ensuite la colmater par une couche de chaux afin d'éviter au maximum la pénétration des eaux de pluie. Il faut toutefois garder ou planter une végétation à racines rampantes tels les lilas, le millepertuis ou toute végétation sauvage que l'on trouve couramment sur les coteaux (cf. annexe 11 – liste de végétaux adaptés aux coteaux)
- soit il faut favoriser l'occupation du sol par des jeunes tiges avant de supprimer les gros arbres. Une fois coupés, ils devront être gardés vivants en leur permettant de faire des rejets, qui seront recepés régulièrement.

D'une manière générale, le choix des arbres à planter devra s'effectuer en fonction de leur enracinement. Il ne faut pas choisir des arbres à enracinement profond, surtout des espèces longévives comme les chênes, pour éviter de fissurer la craie tendre. Il est conseillé de planter les arbres à hautes tiges à plus de 10 mètres du bord du coteau.

En crête de falaise, il est conseillé de maintenir et entretenir une végétation appropriée fixant les sols sans développement de racines en profondeur.

Il est conseillé de maintenir les fronts de falaise nus. Contrairement à beaucoup « d'idées reçues », les lierres doivent être éliminés. En effet, ils produisent des racines localement épaisses qui participent à la dégradation du front. S'il est vrai que les lierres retiennent les petites pierres, ils entretiennent cependant l'écaillage du front en mobilisant des éléments plus gros qu'ils ne seraient capables de soutenir à long terme. A plus forte raison, les arbustes enracinés sur le front doivent être éliminés.

Parallèlement et en complément à la gestion de la végétation, la **purge régulière des falaises** est vivement conseillée.

1.2 – GESTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT

La maîtrise des eaux de ruissellement concerne les plateaux dominants où tout doit être mis en œuvre pour faciliter le transit des écoulements vers le bas de la vallée. L'incidence néfaste de l'eau sur la stabilité des coteaux est très importante :

- au niveau des falaises, elle provoque des ravinements, des glissements, des lessivages des plans de faille et altère la résistance mécanique des matériaux,
- au niveau des cavités, elle entraîne l'altération des matériaux, diminue leur résistance mécanique et accentue la surcharge pondérale en voûte.

En contexte de crête non occupée, la réalisation de talus enherbés ou de fossés le long du coteau doit être favorisée. Cela implique un entretien de ces ouvrages de drainage afin d'éviter les zones de stagnation d'eau. Ce dispositif nécessite également de prévoir des descentes d'eau pluviales vers le bas de la vallée.

En contexte de crête urbanisée, la délivrance des permis de construire doit veiller au bon dimensionnement des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux. Concernant les routes, l'inventaire des réseaux existants (eau potable, eau pluviale) constitue un préalable à l'organisation d'un entretien soigné. Les surfaces imperméabilisées doivent être aménagées avec des équipements de collecte des eaux et exutoires.

Les murs de soutènement doivent être équipés de barbacanes ou de tout autre dispositif de drainage.

Enfin, d'une manière générale, les occupants et les utilisateurs des parcelles situées en sommet de coteau doivent être responsabilisés vis-à-vis des conséquences d'imprudences ou d'incivilités.

Voici les **règles essentielles** pour favoriser l'état de stabilité des coteaux :

- Maintenir et entretenir une végétation appropriée fixant les sols sans développement de racines en profondeur,
- Entretenir les fossés en crête de talus,
- Drainer les eaux de ruissellement,
- Nettoyer et purger régulièrement la paroi,
- Entretenir les murs de soutènement.

2 – CONFORTEMENT DES FALAISES ET CAVITÉS (BOVES)

Annexe 12 : Extraits de la revue « Cavités 37 » n°5 - Confortement des coteaux

Annexe 13 : Extraits des PIG des communes de Bennecourt et Gommecourt (78) - Solutions confortatives

Les flancs de Vallée de la Seine sont en constante évolution, sous l'effet de l'altération des roches, de l'érosion et des processus classiques de « recul » des parois.

Le seul entretien des sites ne suffit pas toujours, et régulièrement des phases de confortement sont nécessaires pour limiter ou retarder ce qui reste l'évolution naturelle des coteaux, et ainsi permettre de maintenir l'occupation humaine des sites.

Laisser évoluer une instabilité ou attendre pour conforter, expose, non seulement à des risques, mais également au fait que la situation peut devenir rapidement hors de portée financière.

Les techniques de confortement sont aussi variées que les situations d'instabilités. Les travaux nécessitent la plupart du temps (aussi bien en terme d'accessibilité, qu'en terme technique) l'intervention de sociétés spécialisées.

Les documents, donnés en annexes 12 et 13, dressent un listing des techniques de confortement des falaises et des cavités (boves) ; ils sont extraits des ouvrages suivants :

- la revue « Cavité 37 » n°5 - Confortement des coteaux, publiée par le Syndicat Intercommunal pour la surveillance des cavités souterraines et des masses rocheuses d'Indre-et-Loire (37),
- le Projet d'Intérêt Général (PIG) de protection contre les risques liés à la présence de falaises de craie et de caves les sous-minant, des communes de Bennecourt et Gommecourt (78) - Solutions confortatives.

Mise sous surveillance

Dans le cas où des difficultés seraient rencontrées pour appliquer rapidement des solutions confortatives jugées urgentes, il est conseillé de procéder à une surveillance des sites concernés moyennant, le cas échéant, l'installation de dispositifs destinés à déceler des mouvements et plus spécialement une accélération dans l'évolution de ceux-ci.

Il convient toutefois de préciser que le fait de ne pas constater de mouvement ne constitue pas une garanti absolue quant à l'absence de risque d'effondrement ; une évolution rapide voire un effondrement brutal sans signe précurseur ne peuvent être écartés (conséquence directe du déclenchement d'un phénomène aggravant latent non décelé ni décelable).

Les dispositifs de surveillance classiquement adoptés sont constitués par :

- un suivi visuel basé sur les observations du site et le relevé précis des désordres lors de l'établissement d'un état initial servant de référence,
- l'implantation de points de mesure, de convergence d'une part, destinés à déceler des affaissements du toit des cavités (boves), ou les variations dans l'ouverture des cavités ; d'autre part, l'implantation de points de mesure d'écartement des lèvres des fissures ou des fractures existantes dans les voûtes et les parements de la cavité (bove),
- la pose de témoins d'ouverture de fissures.

La fréquence des interventions ou des relevés des points de mesure est fixée au vu des premiers résultats et de leur évolution éventuelle.

3 – TRAITEMENT DES SITES

- Les sites soumis à un aléa faible devront faire l'objet d'un entretien de type courant.
- Les sites soumis à un aléa modéré devront faire l'objet d'un entretien de type courant et d'une surveillance : un suivi visuel et, s'il y a lieu, en fonction de l'évolution de l'état de stabilité, un suivi avec instrumentation du site.
- Les sites soumis aux aléa fort feront l'objet d'une surveillance systématique et, s'il y a lieu, en fonction de l'évolution de l'état de stabilité, et après une étude spécifique (diagnostic de stabilité du site), éventuellement de travaux de confortement adaptés si les enjeux et les risques sont élevés.

G - SYNTHÈSE

Grâce au concours des services de l'Inspection Générale des Carrières de Versailles (IGC), le Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien (LROP) a pu réaliser une cartographie des aléas « mouvements de terrain » liés aux falaises de craie et aux cavités (boves) les sous-minant sur la commune de Vétheuil.

La méthodologie de qualification des degrés d'aléas a été élaborée en s'appuyant sur des examens visuels des falaises et des cavités (boves).

Ces travaux ont conduit à définir, évaluer et cartographier deux types d'aléas principaux sur la commune : Instabilité de falaise et Instabilité de bove.

Chaque type d'aléa a fait l'objet d'une cartographie spécifique, avec la réalisation de cartes thématiques de zonage géographique.

Ce travail a été mené dans l'esprit de la phase d'étude des aléas d'un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN).

En effet, l'ensemble des données synthétisées représente une base d'informations importantes pour l'entretien de la « culture du risque » sur la commune. Les cartes réalisées constituent en outre un préalable nécessaire si un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) « mouvements de terrain » devait être prescrit.

Cependant, aucun volet de l'étude n'a été consacré au recensement des enjeux et des risques de la commune. Les cartes résultantes ne pourront donc pas être interprétées comme des documents de zonage réglementaire.

BIBLIOGRAPHIE

Voici quelques références bibliographiques qui nous ont permis entre autre de réaliser cette étude :

- ❖ Plans de prévention des risques naturels (PPR), risques de mouvements de terrain. Guide méthodologique – La documentation française – METL, MATE - 1999
- ❖ L'utilisation de la photo-interprétation dans l'établissement des plans de prévention des risques liés aux mouvements de terrain. Guide technique – Collection Environnement, les risques naturels – LCPC, INERIS - février 1999
- ❖ Collection des Guides Géologiques Régionaux – Ile-de-France – Edition DUNOD
- ❖ Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain - Guide technique – Collection Environnement, les risques naturels – LCPC
- ❖ Evaluation des aléas liés aux cavités souterraines. Guide technique – Collection Environnement, les risques naturels – LCPC - juin 2002
- ❖ Evaluation et gestion des risques liés aux carrières souterraines abandonnées – Séminaire de restitution et de valorisation des travaux INERIS, Réseau des LPC – Actes des journées scientifiques du LCPC - mai 2005
- ❖ L'opération de recherche « Carrières souterraines abandonnées » - Rapport de synthèse de P. POTHERAT – Géotechnique et risques naturels GT 77 - LCPC– mars 2005
- ❖ Les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux. Guide technique – Collection Environnement, les risques naturels – LCPC - juin 2004
- ❖ Parades contre les instabilités rocheuses. Guide technique – Collection Environnement, les risques naturels – LCPC - mai 2001
- ❖ Projet d'Intérêt Général (PIG) de protection contre les risques liés à la présence de falaises de craie et de caves les sous-minant des communes de Bennecourt et Gommecourt (78) – Inspection Générale des Carrières de Versailles (IGC)
- ❖ Les revues « Cavité 37 » n°2 et n°5 - Les plantations des coteaux - Confortement des coteaux - Syndicat Intercommunal pour la surveillance des cavités souterraines et des masses rocheuses d'Indre-et-Loire (37)