



**PRÉFET
DE L'EURE-
ET-LOIR**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Plan de Prévention des Risques de Mouvements de terrain

Commune de CHÂTEAUDUN

NOTE DE PRÉSENTATION

Le Préfet d'Eure-et-Loir

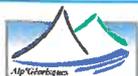
Françoise SOULIMAN



Service instructeur :

Direction Départementale des Territoires d'Eure-et-Loir

Référence	22031507	Version	Approbation
Date	Mars 2022	Édition du	11/03/2022



Alp'Géorisques Z.I. - 52 rue du Moirond - 38420 DOMENE - FRANCE
Tél. 04-76-77-92-00 Fax : 04-76-77-55-90 Courriel : contact@alpgeorisques.com
sarl au capital de 18 300 € - Siret : 380 934 216 00025 - Code A.P.E. 7112B

Crédit photographie : Alp'Géorisques 2016-2017

SOMMAIRE

I. PRÉAMBULE.....	9
II. PRÉSENTATION DE LA COMMUNE DE CHÂTEAUDUN.....	10
II.1. Situation de la zone d'étude.....	10
II.2. Le contexte géologique.....	10
II.2.1. Le substratum.....	11
II.2.1.1. La craie de <i>Châteaudun</i>	11
II.2.1.2. L'argile à silex.....	11
II.2.1.3. Les formations superficielles.....	11
II.2.2. Géologie et phénomènes naturels.....	11
II.3. Le contexte climatique.....	12
II.3.1. La pluviométrie.....	12
II.3.2. Les Températures.....	14
III. LES PHÉNOMÈNES NATURELS.....	15
III.1. Définitions.....	15
III.1.1. Chute de roche.....	15
III.1.2. Effondrement de cavité souterraine.....	15
III.1.3. Glissement de terrain.....	16
IV. MÉTHODOLOGIE.....	17
IV.1. L'historique des phénomènes.....	17
IV.1.1. Inventaires des phénomènes historiques.....	17
IV.1.2. Exploitation des bases de données nationales.....	19
IV.1.3. Observations et investigations effectuées sur la zone d'étude.....	21
IV.1.3.1. La rue des Fouleries.....	21
IV.1.3.1.1. <i>Descente Saint-Pierre</i>	22
IV.1.3.1.2. <i>Du 3 au 11 rue des Fouleries</i>	22
IV.1.3.1.3. <i>Le numéro 13 et 15, rue des Fouleries</i>	22
IV.1.3.1.4. <i>La cave des Fouleries au numéro 17</i>	23
IV.1.3.1.5. <i>Le numéro 19 rue des Fouleries</i>	23
IV.1.3.1.6. <i>La descente du Mail</i>	24
IV.1.3.1.7. <i>Numéros 21B, 23 et 23Q</i>	25
IV.1.3.1.8. <i>Le numéro 23S, rue des Fouleries</i>	25
IV.1.3.1.9. <i>Le numéro 25, rue des Fouleries</i>	26
IV.1.3.1.10. <i>Le numéro 27, rue des Fouleries</i>	26
IV.1.3.1.11. <i>Le numéro 29, rue des Fouleries</i>	27
IV.1.3.1.12. <i>Le caveau des Fouleurs, 33, rue des Fouleries</i>	29
IV.1.3.1.13. <i>Grotte de Foulon au 35, rue des Fouleries</i>	30
IV.1.3.1.14. <i>37, rue des Fouleries</i>	31
IV.1.3.1.15. <i>Descente de la Levrette</i>	32
IV.1.3.1.16. <i>Est de la descente de la Levrette</i>	32
IV.1.3.1.17. <i>45-47, rue des Fouleries</i>	32
IV.1.3.1.18. <i>Passage du Gué aux chevaux</i>	33

IV.1.3.1.19. Extrême est de la zone d'étude.....	34
IV.1.3.2. Propriétés en bordure du plateau.....	34
IV.1.3.2.1. Les numéros 26 à 42 de la rue de Chartres.....	34
IV.1.3.2.2. Numéro 28, rue Jean-Moulin.....	35
IV.1.3.2.3. Numéro 5, rue de Mail.....	35
V. QUALIFICATION DE L'ALÉA.....	36
V.1. Définition de l'aléa.....	36
V.2. Notion de phénomène de référence.....	36
V.3. Méthodologie de qualification et de cartographie de l'aléa.....	36
V.3.1. Définition des degrés d'aléa.....	36
V.3.2. Critères de qualification de l'aléa.....	37
V.3.2.1. Scénario de chute de <i>roche</i>	37
V.3.2.1.1. Phénomènes de référence pour l'aléa centennal dans le cas de chute de bloc.....	37
V.3.2.1.2. Phénomènes de référence pour l'aléa centennal de chute de pierre.....	37
V.3.2.1.3. Phénomènes de référence pour l'aléa exceptionnel de chute de bloc.....	38
V.3.2.2. Qualification de l'aléa de chute de <i>roche</i>	38
V.3.2.2.1. Qualification de l'aléa centennal chute de bloc.....	38
a. Paramètres retenus pour la qualification de l'aléa.....	38
b. Critères de qualification de l'aléa.....	39
c. Définitions de l'emprise de la zone exposée.....	40
V.3.2.2.2. Qualification de l'aléa centennal de chute de pierre.....	42
a. Paramètres retenus pour la qualification de l'aléa.....	42
b. Critères de qualification de l'aléa.....	43
c. Définitions de l'emprise de la zone exposée.....	44
V.3.2.2.3. Qualification de l'aléa exceptionnel chute de bloc.....	46
a. Paramètres retenus pour la qualification de l'aléa.....	46
b. Critères de qualification de l'aléa.....	47
c. Définitions de l'emprise de la zone exposée.....	47
V.3.2.3. Aléa de glissement de terrain.....	49
V.3.2.3.1. L'aléa de glissement ponctuel.....	49
V.3.2.3.2. L'aléa coulée boueuse.....	50
V.3.2.4. Aléas d'effondrement de cavité souterraine.....	51
V.3.2.5. Cas des ouvrages de soutènement.....	55
V.4. Cartographie des aléas.....	56
V.4.1. Cartes d'aléa par phénomène.....	56
V.4.2. Carte de l'aléa conjugué.....	57
V.5. La description des aléas.....	57
V.5.1. L'aléa chute de <i>roche</i>.....	57
V.5.2. L'aléa glissement de terrain.....	58
V.5.3. L'aléa effondrement de cavité souterraine.....	58
VI. LES ENJEUX.....	60
VI.1. Typologie des enjeux.....	60
VI.2. Les enjeux.....	61
VII. BIBLIOGRAPHIE.....	63
VIII. GLOSSAIRE.....	65
IX. ANNEXES.....	67

Figures

Figure 1: Coupe géologique de Châteaudun - source : projet routier de contournement sud-est de l'agglomération de Châteaudun - BRGM.....	10
Figure 2: Cavité souterraine utilisée comme garage au 25 rue des Fouleries - source : Alp'Géorisques.....	12
Figure 3: Précipitations mensuelles moyennes relevées à Châteaudun – source météo France...	13
Figure 4: Températures mensuelles moyennes relevées à Châteaudun – source météo France...	14
Figure 5: Vue d'une partie de la falaise depuis le chemin de la Belle-Arrivée - source : Alp'Géorisques.....	21
Figure 6: Montée Saint-Pierre.....	22
Figure 7: Partie ouest de la falaise sur ce secteur et entrée des cavités.....	22
Figure 8: Partie est de la falaise sur ce secteur.....	22
Figure 9: Entrée de la Cave des Fouleries.....	23
Figure 10: Vue de la falaise au-dessus de la Cave des Fouleries.....	23
Figure 11: Filet de protection à l'entrée de la Cave des Fouleries.....	23
Figure 12: Filet plaqué à l'aplomb de la falaise.....	23
Figure 13: Vue d'une partie de la falaise.....	23
Figure 14: Cheminement piétonnier de la descente du Mail.....	24
Figure 15: Sommet du bloc tombé en 1893.....	24
Figure 16: Vue de la falaise dans la descente du Mail.....	24
Figure 17: Cône de matériaux au pied de la falaise.....	24
Figure 18: Falaise masquée par la végétation - traces d'anciennes coulées de boue.....	25
Figure 19: Partie Est de la falaise.....	25
Figure 20: Filet plaqué sur le haut de la falaise.....	25
Figure 21: Vue d'un pilier au centre des deux cavités et d'une maison troglodyte.....	25
Figure 22: cavité utilisée en garage.....	26
Figure 23: Vue sur la falaise et l'entrée de la cavité à l'arrière du bâtiment.....	26
Figure 24: État de la falaise au-dessus du garage.....	26
Figure 25: arrière du bâtiment qui donne sur la rue des Fouleries.....	26
Figure 26: Maison en partie troglodyte.....	26
Figure 27: Vue de la falaise et de la cavité au 29, rue des Fouleries.....	27
Figure 28: Etat de la falaise.....	27
Figure 29: Cicatrice d'un ancien éboulement.....	27
Figure 30: Événement de 1983 - source : commune de Châteaudun.....	27
Figure 31: Croquis hors échelle du glissement de terrain et du profil de la falaise réalisés par le CETE - source : compte rendu de visite du glissement de terrain du 10 août 1983.....	28
Figure 32: Collecteur d'eau pluviale à l'amont de la zone du glissement de terrain.....	28
Figure 33: Descente du Mail au début du 20ème siècle - source : delcampe.net.....	28
Figure 34: Propriété du caveau des Foupleurs.....	29
Figure 35: Falaise au niveau de la cavité principale.....	29
Figure 36: Gouttière qui rejette les eaux pluviales dans la falaise au n° 5, rue de la Mail.....	30
Figure 37: L'entrée de la grotte de Foulon.....	30

Figure 38 : Surplomb de la falaise protégé par un filet plaqué et des ancrages.....	30
Figure 39: Propriété au 37, rue des Fouleries.....	31
Figure 40: Vue de la maison troglodyte.....	31
Figure 41 : Cheminement piétonnier de la descente de la Levrette.....	32
Figure 42: Rejet d'eau pluvial dans le talus.....	32
Figure 43: Trace d'un ancien effondrement.....	32
Figure 44: Vue de la falaise à l'entrée de la propriété.....	33
Figure 45: Blocs en équilibre au niveau du mur de la maison troglodyte.....	33
Figure 46: Blocs en équilibre liés à une chute de toit.....	33
Figure 47: Chute de toit à l'intérieur de la cavité.....	33
Figure 48: État de la falaise à l'entrée de la cavité.....	34
Figure 49: Maison troglodyte à l'entrée de la cavité.....	34
Figure 50: Falaise à l'ouest de la propriété.....	34
Figure 51: Importante fissure dans la falaise.....	34
Figure 52: Vue de l'arrière de l'immeuble du 28, rue Jean-Moulin.....	35
Figure 53: Bâtiment au n°5, rue du Mail.....	35
Figure 54: Partie du bâtiment construite dans la pente.....	35
Figure 55: Définition générale des zones d'aléa de chute de pierre et de bloc.....	41
Figure 56: Définition générale des zones d'aléa de chute de pierre et de bloc.....	45
Figure 57: Définition des zones d'aléa exceptionnel de chute de blocs.....	48
Figure 58: Définition des zones d'aléa de coulées boueuses.....	50
Figure 59: Définition des zones d'aléa d'effondrement de cavités souterraines.....	51
Figure 60: Principe d'élaboration de la carte des aléas conjugués.....	57

Plan de prévention des risques naturels prévisibles de mouvement de terrain

Commune de Châteaudun

Note de présentation

I. Préambule

L'objectif de l'étude est de réviser le Plan de Prévention des Risques Mouvements de Terrain sur la commune de Châteaudun.

Cette révision concerne uniquement le secteur 1 identifié sur le PPRN de 2004.

II. Présentation de la commune de CHÂTEAUDUN

La ville de Châteaudun se situe au sud-ouest du Bassin Parisien, dans le département de L'Eure et Loir. Au dernier recensement, cette ville comptait 13226 habitants. Elle s'étend sur les coteaux et les versants qui dominent la vallée du Loir.

II.1. Situation de la zone d'étude

La zone d'étude du PPR mouvement de terrain correspond au secteur situé entre le château et le numéro 42 de la rue de Chartres. Elle correspond à la rue des Fouleries, la rue de Chartres, la rue Jean-Moulin, la promenade du Mail, la rue Dodun.

Cette zone qui englobe une partie du cœur historique de la ville est essentiellement occupée par un habitat ancien, parfois troglodyte, et des activités touristiques. Quelques constructions récentes occupent le rebord supérieur du plateau.

II.2. Le contexte géologique

La commune appartient à la bordure occidentale du plateau de la Beauce. Ce plateau est limité au nord-ouest par la profonde entaille de la vallée du Loir qui se trouve à une altitude de 110 m environ. Le bord du plateau qui forme la falaise de Châteaudun se trouve quant à lui à environ 140 à 145 m d'altitude.

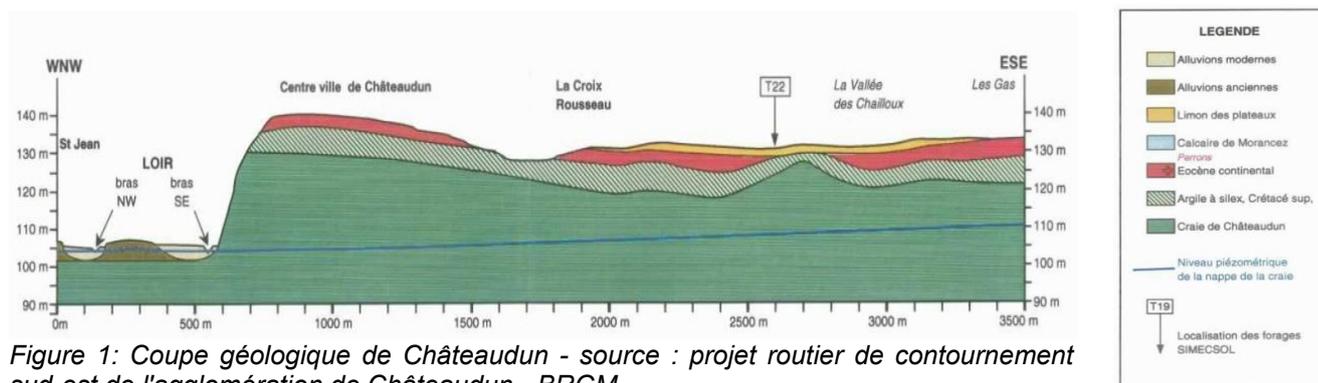


Figure 1: Coupe géologique de Châteaudun - source : projet routier de contournement sud-est de l'agglomération de Châteaudun - BRGM

La craie forme ici le soubassement (ou substratum) des structures géologiques et l'ossature du relief de la zone. Sur le plateau et la plupart des versants, la craie est masquée par des formations superficielles. Le substratum crayeux n'est donc visible à l'affleurement qu'au niveau des falaises naturelles qui marquent le rebord du plateau et à l'intérieur des cavités naturelles ou anthropiques.

Les formations géologiques affleurantes dans la zone d'étude sont divisées en deux catégories :

- les formations du substratum qui sont du bas vers le haut : la craie de Châteaudun et l'argile à silex.
- Les formations superficielles.

II.2.1. Le substratum

II.2.1.1. La craie de Châteaudun

Le soubassement général de la région de Châteaudun est constitué par la craie du Crétacé dont l'épaisseur moyenne est de 140 m et dont les couches ont un pendage moyen de 1 degré vers l'Est.

La craie de Châteaudun, d'âge Santonien, en constitue les 40 m supérieurs. C'est une craie blanche à jaune à l'altération, légèrement sableuse, en plaquettes quand elle est indurée. Les silex blonds ou noirs, à fin cortex blanc, sont souvent disposés en lits. Cette craie est parfois recristallisée.

La stratification de la craie est sensiblement horizontale dans l'ensemble de la zone d'étude.

II.2.1.2. L'argile à silex

Cette formation est le produit de l'altération du substratum crayeux, résultant de la pédogénèse sous des conditions climatiques propices et de remaniements secondaires. Ce sont des argiles blanches, jaunes, ocre, saumon ou grises, plastiques, silteuses à sableuses, contenant généralement des silex de taille, de forme et de couleur très variables, branchus ou globuleux, bruns à noirs à la cassure.

Le passage de la craie altérée à cette argile à silex s'est fait progressivement par l'intermédiaire de marnes. L'altération de la craie, liée à des phénomènes de dissolution, ne s'est pas faite de manière homogène et le toit de celle-ci peut présenter une forme irrégulière. L'épaisseur de cette formation est très variable mais ne semble pas excéder 10 m.

Il faut noter au toit de cette formation la présence de perrons et de blocs de grès. On appelle perrons des blocs de poudingue formés de gros silex cimentés par un grès fin. Ces blocs peuvent atteindre plusieurs mètres cubes.

II.2.1.3. Les formations superficielles

Plusieurs formations superficielles sont visibles dans la zone d'étude. Ces formations masquent largement la craie, tant sur le plateau que sur les versants qui s'abaissent vers la vallée du Loir.

Sur le plateau, la craie est le plus souvent recouverte par des limons loessiques à la base desquels on trouve parfois des niveaux de petits silex. L'épaisseur de cette formation résiduelle est généralement inférieure à 2 m.

Notons qu'en zone urbaine, c'est-à-dire pour une grande part de la zone d'étude, de nombreux dépôts anthropiques sont également présents. Il s'agit de décharges anciennes, de remblais, de garnissage de murs de soutènements qui, faute de reconnaissances géotechniques, ne se distinguent pas toujours des limons loessiques.

II.2.2. Géologie et phénomènes naturels

Le substratum crayeux est soumis à un phénomène de dissolution provoqué par l'infiltration des eaux pluviales dans les fractures, ce qui a généré le développement d'un réseau karstique, important dans ce secteur, ayant conduit à l'apparition de cavités souterraines. Ces dernières sont particulièrement abondantes sur la commune de Châteaudun. Certaines d'entre elles ont été exploitées pour l'amendement des cultures, et dans une moindre mesure, l'extraction de matériaux de construction ou la création de caves dans une région autrefois viticole. Les ouvertures de ces cavités sont pratiquement côte à côte. Elles sont, aujourd'hui, soit abandonnées, soit utilisées comme caves ou entrepôts. Certaines de ces cavités sont bien visibles le long de la rue des Fouleries, et font l'objet d'une occupation troglodyte sur le rebord du plateau.

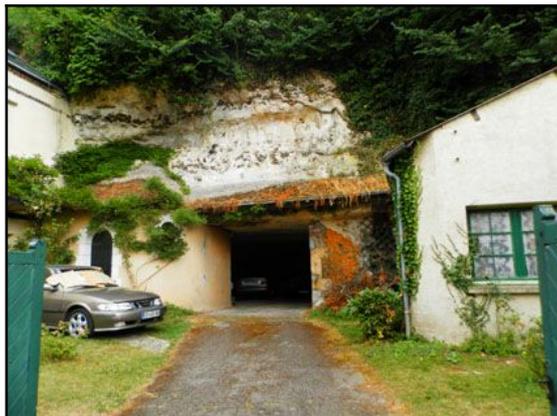


Figure 2: Cavité souterraine utilisée comme garage au 25 rue des Fouleries - source : Alp'Géorisques

Plusieurs mouvements de terrain sont associés à la présence de cavités souterraines : les écroulements, affaissements et les effondrements.

Les formations superficielles, souvent argileuses, sont, en règle générale, sensibles aux glissements de terrain du fait de leurs mauvaises caractéristiques mécaniques.

Bien que le talus situé en amont de la falaise semble stable, du fait de la présence de végétation, les venues d'eau, infiltrations ou écoulements superficiels sont de nature à modifier cet équilibre.

II.3. Le contexte climatique

L'agglomération de Châteaudun présente un climat tempéré, de type océanique dégradé, soumis aux influences océaniques venant de l'Ouest et continentales venant de l'Est. Les épisodes orageux sont peu nombreux et concentrés sur l'été.

Les données météorologiques présentées ci-dessous correspondent à des moyennes sur la période de janvier 1961 à décembre 2000.

II.3.1. La pluviométrie

La pluviométrie est relativement faible, très inférieure à la moyenne nationale avec, sur la période 1981-2010, une moyenne de précipitations annuelles de 589,9 mm. Les mois les plus pluvieux sont ceux de l'automne ainsi que le mois de mai.

L'analyse des données de la décennie 1981-2010 par rapport aux trente années précédentes montre une baisse significative des précipitations.

Le tableau suivant présente les précipitations sur la commune de Châteaudun.

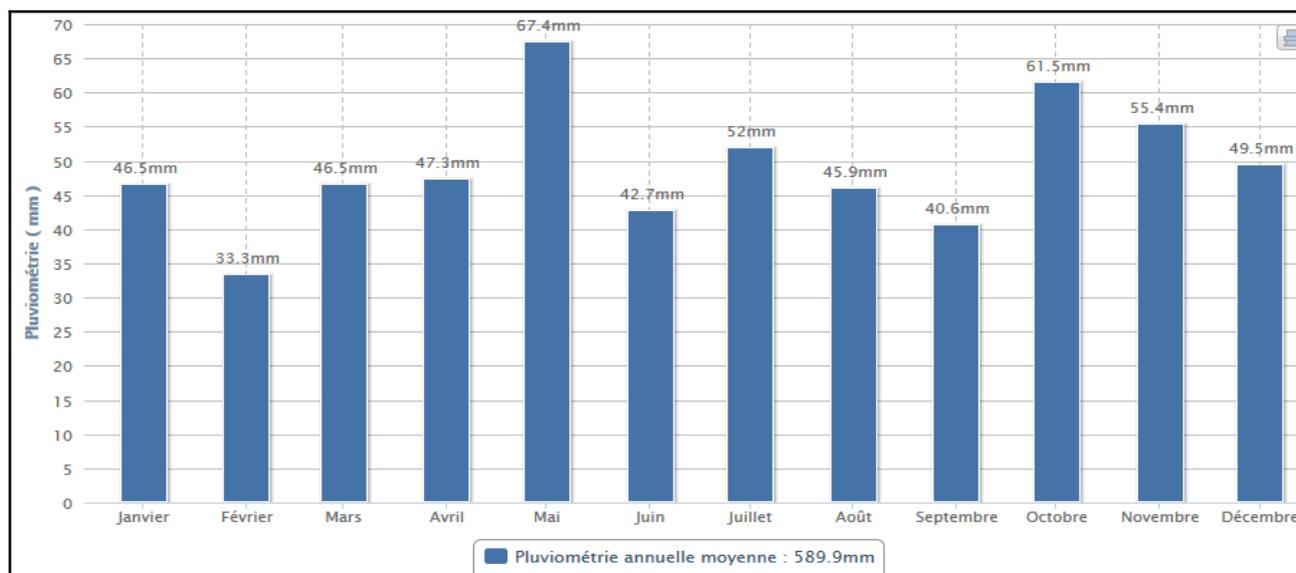


Figure 3: Précipitations mensuelles moyennes relevées à Châteaudun – source météo France

A Châteaudun, les records de pluviométries sont les suivants:

- Record de cumul le plus faible : 350 mm en 1945 ;
- Record de cumul le plus important : 990 mm en 1930 ;
- Record du plus fort cumul sur 24 h : 57,8 mm le 6 Juillet 2001

Enfin, Météo-France dispose d'enregistrements d'épisodes pluviométriques marquants qui se sont abattus sur la région. On en citera certains relevés ces dix dernières années autour de Châteaudun.

Tableau n° 1

Quelques pluies exceptionnelles à proximité de Châteaudun

Enregistrement sur un jour		
Date	Poste	Précipitations
14/08/1972	BONNEVAL	86 mm
06/05/1984	DROUE	64 mm
06/07/2001	DROUE	63 mm
Enregistrement sur deux jours		
Date	Poste	Précipitations
13/08/1972	BONNEVAL	88 mm
14/08/1972	BONNEVAL	93 mm

II.3.2. Les Températures

De manière générale, les températures reflètent les caractéristiques du climat tempéré subissant les influences continentales. Les écarts entre les mois les plus chauds (juillet et août) et les plus froids (décembre, janvier, février) sont de l'ordre de 15°C.

Sur la période 1981-2010 la température moyenne annuelle est de 11,3°C; le mois le plus froid est janvier (3,6°C) et le plus chaud juillet (19,3°C).

L'analyse des données de la décennie 1981-2010 par rapport aux trente années précédentes montre un net réchauffement et une baisse significative des précipitations. Tous les mois de l'année enregistrent une augmentation.

A Châteaudun, les records de température maximale et minimale sont respectivement de 39,6°C le 10 août 2003 et 18,8°C le 17 janvier 1985.

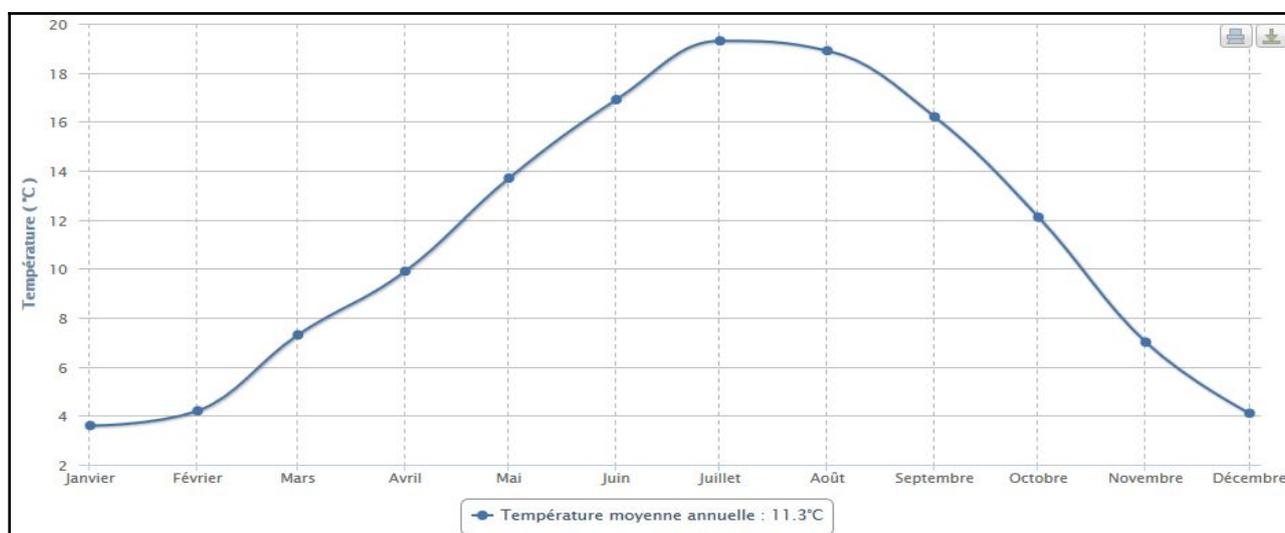


Figure 4: Températures mensuelles moyennes relevées à Châteaudun – source météo France

III. Les phénomènes naturels

Parmi les divers phénomènes naturels susceptibles d'affecter le territoire communal, le plan de prévention des risques naturels prévisibles de Châteaudun s'attache à l'analyse des mouvements de terrain :

- Chutes de roche (pierre, bloc et masse rocheuse) ;
- Glissements de terrain ;
- Effondrements de cavité souterraine.

III.1. Définitions

Il existe de nombreuses définitions des phénomènes étudiés. Nous proposons de retenir les suivantes :

III.1.1. Chute de roche

Les chutes de roches regroupent les chutes de pierres, les chutes de blocs et les éboulements de masses rocheuses provenant d'une falaise, d'un escarpement rocheux ou de la remise en mouvement d'une masse rocheuse arrêtée sur une pente.

- **Chute de pierre :**
Chute d'élément rocheux isolé d'un volume inférieur à 1 dm³ (0,001 m³ ou 1 l).
- **Chute de bloc :**
Chute d'élément rocheux isolé d'un volume supérieur à 1 dm³ (0,001 m³ ou 1 l) et inférieur à 1 m³. Les chutes de blocs mobilisent en général plusieurs blocs pouvant se propager individuellement et se fragmenter.
- **Éboulement de masse rocheuse :**
Chute d'une masse rocheuse d'un volume supérieur à 1 m³ (habituellement quelques mètres cubes à quelques dizaines de milliers de mètres cubes) pouvant se fragmenter au cours de sa chute mais avec de probables interactions des éléments au cours de la chute.
- **Écroulement :**
Localement la craie est sous cavé du fait l'existence de cavités souterraines. Certaines de ces cavités ont été aménagées en maison troglodyte. L'une d'elle, la Grotte du Foulon, est utilisée comme musée. C'est dans ces zones d'ouverture que les conditions de stabilité sont les plus défavorables. L'existence de ces surplombs peut favoriser le phénomène d'écroulement en masse. Ils peuvent alors se produire à la faveur de plans de failles, de fissures ouvertes, etc.

Ces chutes de blocs ou ces écroulements sont liés à l'altération de la roche sous l'effet des agents atmosphériques, au développement de la végétation dont les racines empruntent les discontinuités de la roche. Les chutes de pierres ou de blocs sont très fréquentes en période de gel/dégel.

III.1.2. Effondrement de cavité souterraine

Les effondrements de cavités souterraines peuvent avoir de multiples manifestations dans les cavités elles-mêmes comme en surface.

- **Rupture de toit :**
Effondrement affectant la voûte d'une cavité souterraine **sans effet en surface** (chute d'éléments isolés du toit de la cavité, formation d'une cloche de fontis, éboulement partiel ou total du toit de la cavité).
- **Affaissement :**
Tassement de la surface du sol du fait de l'effondrement partiel ou total d'une cavité sous-jacente.
- **Fontis :**
Effondrement localisé formant un cratère métrique à décamétrique en surface du fait de l'effondrement partiel ou total d'une cavité sous-jacente, de l'évolution d'une cloche de fontis ou du débouillage d'un puits.
- **Effondrement généralisé :**
Effondrement de grande dimension en surface (plusieurs dizaines de mètres carrés à quelques milliers de mètres carrés) consécutif à la ruine généralisée d'une grande cavité sous-jacente.

III.1.3. Glissement de terrain

Les glissements de terrain sont des déplacements de masses de terre sur une pente. Ces mouvements sont très divers tant par les volumes mobilisés (de quelques mètres cubes à des millions de mètres cubes), les déplacements (quelques mètres à plusieurs centaines de mètres) et leur vitesse de déplacement (quelques mm par an à quelques mètres par jour).

Dans le contexte du PPRNMT de Châteaudun, nous avons retenu les types de glissements suivants :

- **Glissement de terrain ponctuel :**
Déplacement, selon une surface de glissement, d'une masse terreuse provenant de la tête d'une falaise ou d'un talus abrupt et se traduisant par la régression de la zone de départ et la propagation (chute ou glissement) de la masse mobilisée jusqu'à une zone d'arrêt.
- **Coulée boueuse :**
Mouvement rapide d'une masse de matériaux remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse.

Les risques de glissement de terrain peuvent être accentués par l'action humaine. En effet, le talus à l'aplomb de la falaise a probablement fait l'objet d'apport de matériaux de toutes sortes et peu compactés. Il s'agit donc d'une couche de sol potentiellement instable aux caractéristiques mécaniques très médiocres reposant sur l'argile à silex, laquelle constitue une couche lubrifiante. Ce talus présente de ce fait une instabilité potentielle, mais les arbres de haute tige, par leur balancement sont aussi des facteurs de déstabilisation des terrains. Il est aujourd'hui fortement végétalisé. Ceci permet en partie de maintenir en place ces matériaux. Un risque de coulées boueuses est également possible au cours de phénomènes pluviaux intenses par saturation des sols ou par concentration du ruissellement. Des ruptures de canalisations peuvent également être à l'origine de tels désordres.

IV. Méthodologie

La méthodologie d'étude de ces phénomènes naturels repose sur l'analyse du contexte géologique, le recensement des phénomènes historiques, et les observations de terrains. Le PPRMT reprend, en outre, les éléments utiles, tirés des diverses études techniques disponibles.

IV.1. L'historique des phénomènes

Un certain nombre de données historiques ont été répertoriées sur la commune et entre autres sur la zone d'étude.

Les archives gardent le plus souvent la trace de phénomènes à caractère exceptionnel (par leur intensité, leur extension, leurs victimes) ou de phénomène ayant eu des conséquences économiques ou juridiques. Des phénomènes d'ampleur limitée mais récurrents et affectant des zones bien circonscrites peuvent être acceptés par la population concernée, qui les considère comme « normaux » ; ils ne font alors que rarement l'objet de témoignages écrits ou de récits.

Les phénomènes historiques répertoriés sont des phénomènes anciens ou relativement récents, le plus souvent identifiés lors de notre enquête sur le terrain.

Les informations historiques permettent d'apprécier l'activité des phénomènes naturels étudiés, mais il convient de les considérer avec une certaine prudence. En effet, de nombreux travaux (travaux de génie civil, constructions, remblaiements, modification de l'occupation du sol, travaux de protection, etc.) ont pu être réalisés dans des zones historiquement touchées. La transposition d'un phénomène historique dans le contexte actuel est donc parfois délicate.

IV.1.1. Inventaires des phénomènes historiques

Les études disponibles et les témoignages recueillis ont permis de recenser divers phénomènes historiques qui sont récapitulés dans le tableau suivant (voir Tableau 1). Ces phénomènes sont localisés sur une carte annexée à cette note de présentation (voir carte informative des phénomènes).

À partir des informations disponibles dans les sources consultées, les manifestations historiques ont été rattachées à l'un des phénomènes définis plus haut (chapitre III.1 page 15).

Tableau 1: Phénomènes historiques répertoriés dans la zone d'étude.

N°	Phénomène	Date	Localisation	Source
1	Éboulement	17 décembre 1818	Rue des Fouleries – extrémité nord du Mail au-dessous des jardins de l'ancien hôtel du Grand-Monarque détruit en 1870 (fontaine de la rue Louis Baudet) – un éboulement sur 33 m au niveau de maisons troglodytes cause la mort de sept personnes	PER, Annuaire indicateur de Chateaudun et ses environs - 1894
2	Éboulement	Juin 1843	Affaissement du rocher au niveau des maisons de l'actuelle rue Jean-Moulin. Un éboulement très important rue des Fouleries détruits plusieurs habitations troglodytes sans faire de victime.	Écho dunois du 11 juin 1843, extrait cadastral
3	Éboulement	1892	Écroulement d'une masse rocheuse – rue des Fouleries -descente du Mail	PER

N°	Phénomène	Date	Localisation	Source
4	Éboulement	20 novembre 1893	Une masse de 400 m ³ se détache au niveau du bas de la descente du Mail sur une étendue de 10 à 12 m. Elle écrase des habitations en partie troglodytes de la rue des Fouleries, faisant 9 victimes – de nouveaux blocs se détachèrent la nuit suivante - une partie de cette masse rocheuse fut dynamité pour extraire les cadavres	Annuaire indicateur de Châteaudun et ses environs – 1894 Le patriote de Châteaudun du 23 novembre 1893
5	Éboulement	1959	Chute de masse rocheuse au 37, rue des Fouleries	PER
6	Éboulement	Janvier 1988	Éboulement d'une masse rocheuse provenant d'un surplomb au droit de la propriété du numéro 4, rue de Chartres	Avis PER
7	Chute de bloc	Début 21 ^{ème} siècle	Chute d'un bloc d'environ 1 m ³ . au pied de la descente du Mail	Témoignage
8	Chute de pierres	2015	Chute de pierres de quelques litres au numéro 23 rue des Fouleries	Témoignage

N°	Phénomène	Date	Localisation	Source
9	Effondrement	1810	Effondrement lié à la présence d'un entonnoir de dissolution remplis d'argile, sous la promenade du Mail.	PER, courriers administratifs
10	Effondrement	1860	Cavée des Religieuses -	PER
11	Effondrement	1890	Effondrement lié à la présence d'un entonnoir de dissolution remplis d'argile, sous la descente du Mail.	PER
12	Effondrement	1937	Effondrement lié à la présence d'un entonnoir de dissolution remplis d'argile, au niveau du numéro 8, rue Foucault, ancienne champignonnières Lambron.	PER
13	Effondrement	1957	Effondrement d'un bâtiment vraisemblablement en relation avec une cavité peu profonde	PER
14	Effondrement	23 avril 1983	Chaussée effondrée sur 30 m de longueur, 2 maisons affectées et évacuées – Cavée des Religieuses	PER

N°	Phénomène	Date	Localisation	Source
15	Glissement de terrain ou écoulement de masse rocheuse	1583	Glissement important dans la descente du Gué-aux-Chevaux	PER
16	Glissement de terrain	19 février 1897	Glissement de 120 à 130 m ³ de terre dans le coteau du Mail	PER, registre de délibération du conseil municipal
17	Glissement de terrain	9 juin 1904	Suite à des trombes d'eau, coulées boueuses dans la descente du mail et au niveau du n°12, rue de Chartres	PER
18	Glissement de terrain	13 février 1974	Effondrement d'un mur de soutènement	PER
19	Glissement de terrain	19 décembre 1987	Aux Gué-aux-Chevaux	Article République du Centre du 20 janvier

N°	Phénomène	Date	Localisation	Source
				1988
20	Glissement de terrain	19 février 1978	Glissement constaté au 38, rue de Chartres – travaux importants en raison de glissement de terrain dans la descente de la Levrette et du Gué-aux-chevaux	Courrier de la direction des services techniques - archives communales
21	Glissement de terrain	février 1978	Une coulée de terre s'est arrêtée à proximité de la maison au n°37, rue des Fouleries et a encombré la descente de la Levrette.	Rapport d'expertise glissement de terrain du 10 août 1983 – BRGM février 1980
22	Glissement de terrain	10 août 1983	Une coulée boueuse disloque une maison, tuant 3 personnes – 29, rue des Fouleries – le flot boueux a traversé une habitation située de l'autre côté de la rue des Fouleries, coté Loir.	PER
23	Glissement de terrain	Janvier 1988	Plusieurs mètres cubes de terre ont dévalé la pente au 6, rue de Chartres	Article République du centre du 20 janvier 1988
24	Glissement de terrain	Entre 1983 et 1987	Important effondrement à la propriété Bouigue, rue Jean-Moulin	Lettre de M. Angeli adressé au maire

Ce recensement fait état de quelques phénomènes anciens. Il est néanmoins très probable que des phénomènes similaires se soient produits dans le passé mais qu'ils n'ont pas été transcrits dans les documents consultés.

IV.1.2. Exploitation des bases de données nationales

La base de données nationale des mouvements de terrain établie par le BRGM (<http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain>) ne fait état que d'un seul mouvement de terrain qui ne concerne pas la zone d'étude.

La base de données nationale des cavités souterraines abandonnées « hors mines » établie par le BRGM (<http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/cavites-souterraines/donnees#/>) fait état de la présence de **nombreuses cavités sur le territoire de la commune de Châteaudun**.

Cette base de données comporte 45 cavités dont la liste est fournie en annexe (voir annexe 1).

Les cavités répertoriées sont soit des cavités naturelles, des caves ou des carrières.

L'état de catastrophe naturelle a été reconnu à plusieurs reprises sur la commune de Châteaudun. Ces arrêtés font suite à des épisodes pluvieux intenses (inondations et coulées de boues, mouvements de terrain) et à plusieurs épisodes de sécheresse (mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols).

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Effondrement de terrain	28/04/1983	28/04/1983	21/06/1983	24/06/1983
Glissement de terrain	10/08/1983	10/08/1983	19/09/1983	22/09/1983
Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse	01/05/1989	31/12/1990	04/12/1991	27/12/1991
Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse	01/01/1991	30/09/1991	25/01/1993	07/02/1993
Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse	01/10/1991	30/09/1993	03/03/1995	17/03/1995
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/10/1993	31/12/1996	09/04/1998	23/04/1998
Inondations et coulées de boue	17/01/1995	31/01/1995	06/02/1995	08/02/1995
Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
Inondations et coulées de boue	06/07/2001	07/07/2001	09/10/2001	27/10/2001
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/07/2005	30/09/2005	20/02/2008	22/02/2008
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/07/2009	30/09/2009	13/12/2010	13/01/2011
Inondations et coulées de boue	17/06/2013	17/06/2013	10/09/2013	13/09/2013

Tableau 2: Arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour la commune de Châteaudun – source : prim.net

IV.1.3. Observations et investigations effectuées sur la zone d'étude

Les reconnaissances de terrain sur la zone d'étude ont permis de faire diverses observations et de récolter divers témoignages qui sont synthétisés dans les paragraphes suivants.

Au cours de notre étude, nous avons été amenés à faire réaliser des investigations complémentaires. Un relevé topographique des cavités a été réalisé par le cabinet de Géomètre-Expert DPLG - SELARL BARRAUD-GUILLEMET. Il nous a permis de connaître précisément la localisation des vides par rapport aux enjeux de surface. Seules quatre cavités n'ont pu être visitées, faute de retrouver les propriétaires. Ce relevé topographique a fait l'objet d'une description précise de chaque cavité visitée dans un cahier descriptif annexé à ce PPRNMT.

De plus, nous avons fait réaliser par le cabinet SINTEGRA Géomètre-expert un relevé LIDAR afin d'avoir des précisions sur la morphologie de la falaise sur la zone d'étude.

Lors de nos visites sur le terrain et des investigations complémentaires, nous avons interrogé plusieurs riverains de la rue des Fouleries, rue de la Mail et rue Jean-Moulin.

Il nous a été également impossible d'accéder à certaines propriétés, compte tenu de l'absence des propriétaires, ou du refus de certains. De même, il nous a été difficile de faire des observations sur l'état de la falaise et sur le talus à l'amont compte tenu de la densité de la végétation qui masque cette dernière.

IV.1.3.1. La rue des Fouleries

La falaise est visible, tout au long de la rue des Fouleries, à l'arrière des bâtiments. Sa hauteur varie de 2 m à 17 m environ sur la zone d'étude. Le sommet de la falaise est le plus souvent surmonté par un talus à forte pente recouvert d'une couverture d'altération, de remblais et de terre végétale sur laquelle se développe une végétation variée (arbres, arbustes, broussailles).



Figure 5: Vue d'une partie de la falaise depuis le chemin de la Belle-Arrivée - source : Alp'Géorisques

IV.1.3.1.1. Descente Saint-Pierre

La descente de Saint -Pierre est un chemin empierré très ancien aménagé au pied de l'enceinte du château. Il est surmonté par un talus à forte pente et les murs en pierres de l'enceinte du château. Ces murs subissant l'érosion du temps peuvent générer des chutes de pierres sur le chemin. Néanmoins ce phénomène reste limité.



Figure 6: Montée Saint-Pierre

IV.1.3.1.2. Du 3 au 11 rue des Fouleries

À l'arrière de ce groupe de maisons mitoyennes, la falaise mesure 8 à 11 mètres de haut. Elle est en partie masquée par la végétation qui descend du talus amont. Elle est creusée par 7 cavités de taille variée, murées et aménagées. Leur description figure dans le cahier descriptif des cavités, en annexe.

La falaise visible à l'extrême ouest (photographie ci-contre) paraît très fracturée. Le silex y est apparent et de nombreux petits blocs (quelques litres) menacent de tomber. La végétation est très développée à l'aplomb de la falaise. Elle masque d'ailleurs la partie supérieure de cette dernière. Le système racinaire est très important. Il favorise la fracturation de la roche et peut générer la chute de pierres. Un filet plaqué a d'ailleurs été installé à l'aplomb de la falaise afin de limiter les chutes de pierres. Cet ouvrage n'est pas en mesure de contenir des chutes de blocs.



Figure 7: Partie ouest de la falaise sur ce secteur et entrée des cavités



Figure 8: Partie est de la falaise sur ce secteur

Sur la partie est de ce secteur, la falaise est beaucoup plus fracturée. Elle est marquée par de nombreuses cicatrices qui témoignent de chutes de blocs de volume plus important.

IV.1.3.1.3. Le numéro 13 et 15, rue des Fouleries

A l'arrière de ces terrains, la falaise mesure 3 à 4 mètres de haut. Elle est totalement masquée par la végétation qui descend du talus amont. Elle est creusée par 4 cavités de taille variée, murées et aménagées, dont une d'entre elles n'a pas pu être visitée. La description des cavités visitées figure dans le cahier descriptif des cavités, en annexe.

IV.1.3.1.4. La cave des Fouleries au numéro 17



Figure 9: Entrée de la Cave des Fouleries



Figure 10: Vue de la falaise au-dessus de la Cave des Fouleries

Au niveau de la Cave des Fouleries, la falaise mesure 7 à 10 mètres de haut. Elle est en partie masquée par la végétation qui descend du talus amont. Elle accueille une cavité de grande taille, murée et aménagée qui fait office de cave (commerce de cave à vin). Sa description figure dans le cahier descriptif des cavités, en annexe. Une salle fermée, attenante à cette cavité n'a pas pu être visitée.

Les parties visibles de la falaise paraissent très fracturées. Le silex y est apparent et de nombreux petits blocs (quelques litres) menacent de tomber. La végétation est très développée à l'aplomb de la falaise. Elle masque d'ailleurs la partie supérieure de cette dernière. Le système racinaire est très important. Il favorise la fracturation de la roche et peut générer la chute de pierres. Un filet de protection a d'ailleurs été placé juste au-dessus de l'entrée de la cave afin de limiter les chutes de pierres. Cet ouvrage n'est pas en mesure de contenir des chutes de blocs.



Figure 11: Filet de protection à l'entrée de la Cave des Fouleries

IV.1.3.1.5. Le numéro 19 rue des Fouleries



Figure 13: Vue d'une partie de la falaise



Figure 12: Filet plaqué à l'aplomb de la falaise

À la hauteur du numéro 19 rue des Fouleries, la falaise mesure 14 à 16 mètres de haut. Elle est en partie masquée par la végétation qui descend du talus à l'amont. Elle est creusée par 3 cavités de taille variée, murées et aménagées. Leur description figure dans le cahier descriptif des cavités, en annexe.

La falaise paraît très fracturée. Le silex y est apparent et de nombreux petits blocs (quelques litres) menacent de tomber. La végétation est très développée à l'aplomb de la falaise. Elle masque d'ailleurs la partie supérieure de cette dernière. Le système racinaire est très important. Il favorise la fracturation de la roche et peut générer la chute de pierres voir de blocs de plus gros volume. Plusieurs cicatrices d'événements plus ou moins anciens sont visibles. Un filet plaqué a d'ailleurs été installé à l'aplomb de la falaise afin de limiter les chutes de pierres. Cet ouvrage n'est pas en mesure de contenir des chutes de blocs.

IV.1.3.1.6. La descente du Mail

La descente du Mail correspond à un cheminement piétonnier ancien qui relie la promenade du Mail et la rue des Fouleries. Il est aménagé en pavé parfois recouvert de bitume. Une cunette longe le chemin parfois en amont ou en aval afin de récolter les eaux de ruissellement. Ces eaux sont ensuite redirigées dans le talus et plus bas dans la falaise.

Dans la partie basse de la descente du Mail, une falaise mesure 6 à 10 mètres de haut. Elle est en partie masquée par la végétation qui pend du talus amont. Elle présente de nombreuses fracturations et des cicatrices d'anciens événements.



Figure 16: Vue de la falaise dans la descente du Mail



Figure 14: Cheminement piétonnier de la descente du Mail



Figure 15: Sommet du bloc tombé en 1893

Cette zone a fait l'objet d'un éboulement massif ayant fait des victimes. Le 20 mai 1893, une masse de 400 m³ s'est détachée et a écrasé plusieurs habitations en partie troglodytes, faisant 9 morts. Une partie des blocs qui se sont détachés, sont encore visibles au pied de la falaise.

De même, au pied de cette falaise, des traces de coulées boueuses sont également visibles sous forme de cône de matériaux. Elles proviennent du talus à l'amont de la falaise. Elles sont probablement dues à des rejets d'eau dans le talus qui surplombe la falaise.



Figure 17: Cône de matériaux au pied de la falaise

IV.1.3.1.7. Numéros 21B, 23 et 23Q

A l'arrière de cette zone, la falaise mesure 2 à 11 mètres de haut. Elle est en partie masquée par la végétation qui pend du talus amont. Elle est creusée par 4 cavités de taille variée, murées et aménagées. Leur description figure dans le cahier descriptif des cavités, en annexe.



Figure 18: Falaise masquée par la végétation - traces d'anciennes coulées de boue

Sur la partie ouest, la falaise est peu visible compte tenu du lierre qui la recouvre. Néanmoins un témoin nous a fait part de la chute d'un bloc d'environ 1m³ au pied de la falaise, sur la parcelle 287. De plus, ce secteur a fait l'objet de coulées boueuses dont certaines traces restent encore visibles en pied de falaise. Celles-ci pourraient être liées au rejet d'eau pluviale de la descente du Mail.



Figure 19: Partie Est de la falaise

La partie est de la falaise apparaît fracturée. Le silex y est apparent et de nombreux petits blocs (quelques litres) menacent de tomber. Un filet plaqué a d'ailleurs été installé sur la partie haute afin de limiter les chutes de pierres. La végétation est très développée à l'aplomb de la falaise. Elle masque la partie supérieure de cette dernière. Plusieurs cicatrices d'événements plus ou moins anciens sont visibles. D'après un témoin, des pierres se détachent régulièrement et sont piégées dans le filet. Il joue donc son rôle pour de petits éléments rocheux mais ne semble pas en mesure de contenir des chutes de blocs.



Figure 20: Filet plaqué sur le haut de la falaise

IV.1.3.1.8. Le numéro 23S, rue des Fouleries

La falaise d'une dizaine de mètres environ est creusée par deux cavités dont l'une d'entre elles occupe une surface de 350 m². Leurs descriptions figurent dans le cahier descriptif des cavités, en annexe. L'entrée de ces cavités a été aménagée en maisons troglodytes, aujourd'hui à l'abandon. En façade un pilier naturel supporte le toit des deux cavités.

La partie haute de la falaise est masquée par la végétation. Il est donc difficile de faire un constat précis sur son état de fracturation. Au niveau du pilier quelques fissures sont cependant visibles.



Figure 21: Vue d'un pilier au centre des deux cavités et d'une maison troglodyte

IV.1.3.1.9. Le numéro 25, rue des Fouleries



Figure 22: cavité utilisée en garage

A l'arrière de cette zone, la falaise mesure 7 à 8 mètres de haut. Elle accueille 3 cavités de taille variée, murées et aménagées. Leur description figure dans le cahier descriptif des cavités, en annexe.

Sur la photo ci-contre, la cavité fait office de garage.

La falaise visible au-dessus du garage paraît peu fracturée. Le silex y est apparent. La végétation est très développée à l'aplomb de la falaise. Elle masque la partie supérieure de cette dernière. Le système racinaire est très important. Il favorise la fracturation de la roche et peut générer la chute de pierres (quelques litres).



Figure 24: État de la falaise au-dessus du garage



Figure 23: Vue sur la falaise et l'entrée de la cavité à l'arrière du bâtiment

A l'arrière du bâtiment (partie est), la falaise est beaucoup moins visible. Elle est masquée par la végétation. Néanmoins on peut apercevoir des masses potentiellement instables, avec des volumes plus importants, compte tenu de la présence de fissures observables.

IV.1.3.1.10. Le numéro 27, rue des Fouleries

Sur ce secteur, la falaise mesure 7 à 8 mètres de haut. Elle est peu visible. Elle est masquée par deux habitations, l'une adossée à la falaise et l'autre en partie troglodyte comportant deux pans de mur maçonnés. Cette dernière ne présente pas de signe d'instabilité. Elle n'est pas habitée en permanence. D'après le propriétaire la maison n'a pas bougé depuis sa construction. Une cavité est signalée au niveau de la seconde habitation légèrement décollée de la falaise. Elle n'a pas pu être visitée faute d'identification du propriétaire.

La partie supérieure de la falaise est également masquée par la végétation. Des petites chutes de blocs semblent se produire régulièrement puisqu'un filet de protection a été mis en place à environ 3 mètres du sol (ouvrage insuffisant pour des chutes de blocs).



Figure 25: arrière du bâtiment qui donne sur la rue des Fouleries



Figure 26: Maison en partie troglodyte

IV.1.3.1.11. Le numéro 29, rue des Fouleries

Cette propriété correspond aujourd'hui à un terrain abandonné recouvert par les gravats d'une ancienne maison détruite par une coulée boueuse en 1983. A l'arrière de la propriété, une vaste cavité est visible depuis la rue. Sa description figure dans le cahier descriptif des cavités, en annexe. D'après les archives, elle fut marquée par un événement en 1810. Un effondrement lié à la formation d'un entonnoir de dissolution remplis d'argile, se serait produit, laissant apparaître un trou en surface sur la promenade du Mail (cave IBRI à l'époque).



Figure 27: Vue de la falaise et de la cavité au 29, rue des Fouleries

La falaise de 14 mètres de haut environ est en partie masquée par une importante végétation. Elle présente quelques signes d'instabilité. Quelques fractures sont observables. De petites masses rocheuses (5 à 10 litres) menacent de se détacher (cercles rouges sur la photo ci-dessous)



Figure 28: Etat de la falaise



Figure 29: Cicatrice d'un ancien éboulement d'éboulement sur cette zone.

Plus à l'est, une cicatrice d'un événement plus ancien est encore visible (voir photographie ci-contre). Néanmoins l'historique des phénomènes passés ne fait pas état

La coulée boueuse du 10 août 1983 :

Cette propriété fut l'objet d'un événement dramatique en août 1983.

Le rebord du coteau dominant la vallée du Loir en contrebas du Mail a été affecté par un glissement de terrain superficiel. Celui-ci mesurait 7 à 8 mètres de large au niveau du rebord du plateau et 20 à 25 mètres de large au sommet de la falaise. La masse de terre et de matériaux divers a détruit l'étage de l'habitation située en pied de falaise.



Figure 30: Événement de 1983 - source : commune de Châteaudun

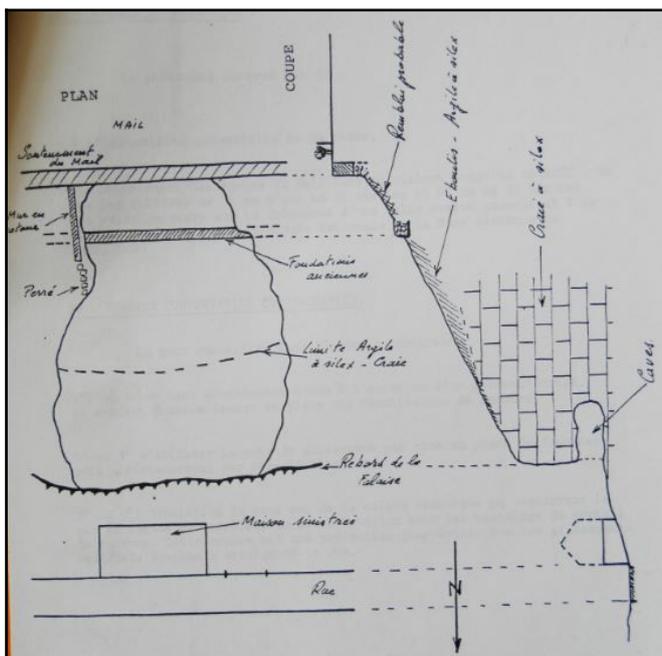


Figure 31: Croquis hors échelle du glissement de terrain et du profil de la falaise réalisés par le CETE - source : compte rendu de visite du glissement de terrain du 10 août 1983

D'après le rapport du CETE de Normandie Centre, il s'agissait « d'un phénomène de « type glissement-plan », d'une couche de caractéristiques médiocres sur un substratum « lubrifiant » ici l'argile à silex. »

Ce glissement de terrain s'est produit au cours d'importantes précipitations orageuses qui ont généré le débordement du collecteur d'eau pluvial du Mail. Ce collecteur se trouvait sur le parking situé sur le plateau, il n'a pas pu absorber le débit instantané. Une lame d'eau s'est formée et a trouvé un exutoire en surface vers la falaise. Cette eau en s'écoulant a provoqué une érosion du remblai entraînant la masse de terre.

Le collecteur d'eau pluviale toujours existant, réaménagé depuis l'événement, est situé sur un point bas qui a été remblayé.

La zone à l'origine du glissement a fait l'objet d'importants travaux depuis :

- suppression d'une partie du parking existant ;
- aménagement d'un jardin promenade le long du rebord du plateau comme à l'origine au début du 20^{ème} siècle ;
- Reprise des évacuations d'eau pluviale.



Figure 32: Collecteur d'eau pluviale à l'amont de la zone du glissement de terrain

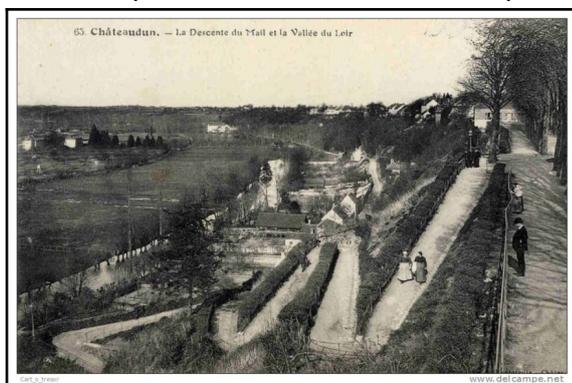


Figure 33: Descente du Mail au début du 20ème siècle - source : delcampe.net

Ces travaux ont probablement permis de limiter l'occurrence du phénomène. Néanmoins un risque d'obstruction du collecteur est toujours possible compte tenu de la présence d'épine de pin, végétaux divers ou débris à proximité. Le phénomène décrit précédemment, pourrait donc se reproduire sur cette zone.

IV.1.3.1.12. Le caveau des Foulours, 33, rue des Fouleries

Au-dessus de cette propriété, la falaise verticale mesure 10 à 14 mètres de haut. Elle est creusée par 2 cavités de taille variée. La propriété au 33 rue des Fouleries est également composée d'une cavité inférieure qui était autrefois un restaurant et une boîte de nuit sous cave. Ces cavités ont fait l'objet d'une description dans un cahier en annexe.

La cavité principale sous la falaise ne présente pas d'instabilité particulière. Mais elle a une portée importante.



Figure 35: Falaise au niveau de la cavité principale

Au-dessus de la propriété, la falaise verticale présente quelques signes d'instabilité. Des fissures sont visibles au-dessus des dépendances à droite de la cavité sur la photographie ci-contre.

Au-dessus de la falaise, le coteau à forte pente est très boisé. Il est parsemé de matériaux, bois morts, petites pierres qui tombent sur la terrasse du bâtiment.

A l'aplomb de la falaise, au niveau de la cavité principale, un filet relevé est partiellement visible dans la végétation (cf Figure 34, cercle vert). Celui-ci semble comblé par des matériaux de toute sorte. Il ne fait donc plus office d'ouvrage de protection. De plus il apparaît insuffisant pour des chutes de blocs. La présence de cet ouvrage nous informe que le phénomène de chute de pierres, bien que peu intense, est fréquent.

D'après l'historique des phénomènes répertoriés sur la commune, un important éboulement se serait produit sur cette propriété le 17 décembre 1818. Plusieurs maisons troglodytes auraient été écrasées causant la mort de 7 personnes. Aucune trace de cet événement n'est visible au sol. Par contre la falaise présente d'importantes cicatrices horizontales dans ses strates qui pourraient correspondre à cet ancien éboulement.

Les informations historiques recueillies ne relatent aucune coulée boueuse sur cette propriété. Néanmoins compte tenu de la forte pente du talus et des terrains de couverture présent, ce risque serait également possible sur cette zone.

Au droit de cette propriété, sur le plateau, se trouve la rue de la Mail. Celle-ci est perpendiculaire au rebord du plateau. Elle présente une légère pente qui conduit les écoulements pluviaux au fond de l'impasse avant d'être, soit repris par les réseaux d'assainissement de la promenade du Mail, soit dirigés vers les jardins et vers le collecteur pluvial du Mail précédemment cité (Figure 32). Au bout de cette rue, un bâtiment a été construit en partie dans la falaise. Celui-ci rejette directement ces écoulements pluviaux dans la falaise. Il y a donc potentiellement un risque accru de coulées boueuses sur ce secteur compte tenu de ces rejets anarchiques.



Figure 34: Propriété du caveau des Foulours



Figure 36: Gouttière qui rejette les eaux pluviales dans la falaise au n° 5, rue de la Mail

IV.1.3.1.13. Grotte de Foulon au 35, rue des Fouleries

La propriété au 35, rue des Fouleries comprend une cavité aménagée en grotte-musée visitable, avec une boutique et une salle de réception. L'extérieur comprend uniquement une cour qui se trouve au-dessus de petites cavités dont l'une est une ancienne boîte de nuit. La grotte a une superficie d'environ 4860 m² (voir cahier descriptif des cavités en annexe).

Cette grotte, en partie naturelle (réseau karstique), fut exploitée en carrière. Une couche de tuffeau homogène sans silex a été exploitée à la base des piliers et des contours. Cette exploitation a probablement provoqué la chute de bancs à silex situé au-dessus. En effet, on observe d'anciennes chutes de toit vers le fond de la cavité.



Figure 37: L'entrée de la grotte de Foulon

Au cours de notre visite, il n'a pas été repéré d'instabilités récentes dans la partie ouverte au public. Des signes de déboussages de matériaux argileux sont visibles ailleurs, au niveau d'anciens conduits karstiques colmatés (extrémités sud et est de la grotte).

L'entrée de la grotte se trouve en revanche très exposée aux chutes de petits blocs. Des filets plaqués avec des ancrages ont d'ailleurs été posés, il y a quelques années afin de protéger les visiteurs. Au vu des matériaux piégés par le dispositif, ces ouvrages semblent remplir leur rôle face à de petits éléments rocheux. Le dispositif peut s'avérer vulnérable à des chutes de blocs plus massives.



Figure 38 : Surplomb de la falaise protégé par un filet plaqué et des ancrages

A l'aplomb de la falaise, le coteau présente une forte pente, mais celui-ci est entièrement recouvert par la végétation. Les signes d'instabilité éventuels sont difficiles à percevoir.

IV.1.3.1.14. 37, rue des Fouleries



Figure 39: Propriété au 37, rue des Fouleries

La propriété au numéro 37, rue des Fouleries correspond à une maison individuelle bâtie sur de petites cavités s'ouvrant en bordure de rue. A l'arrière de cette maison, la falaise haute d'environ 17 mètres est creusée par deux cavités. L'une d'elles est aménagée en maison troglodyte. La seconde est mitoyenne avec la grotte du Foulon.



Figure 40: Vue de la maison troglodyte

D'après les informations historiques recueillies, un glissement de terrain s'est produit en février 1978, sur cette propriété. La zone de départ du glissement de terrain se situait dans le talus à l'amont de la falaise, au niveau de la couverture constituée par la terre végétale et par des remblais divers argilo-limoneux. Lors d'une première visite du CETE le 4 avril 1978, la partie supérieure du coteau était marquée par la présence de fissures ouvertes et de décrochements verticaux de l'ordre de 10 à 20 cm. A l'époque, ce coteau avait été aménagé en jardin par le propriétaire et les eaux pluviales étaient rejetées dans celui-ci.

Ce glissement de terrain a donné lieu à un arrêté de péril sur la maison située au 37, rue des Fouleries.

Suite à ce glissement de terrain, une seconde visite du CETE de Rouen a été réalisée le 18 avril 1978. Un compte rendu de cette visite fait état des travaux à mettre en oeuvre sur la zone de départ du glissement de terrain :

Pour la zone des remblais, prévoir un aménagement en gradins stables retenant les terres. L'ensemble ne devant pas dépasser une pente générale de 1/3. Éviter que l'eau de ruissellement ne s'accumule derrière les murets, prévoir un drainage efficace et des exutoires bien définis. Reconstituer une végétation de préférence arbustive »

D'après des écrits destinés à la commune, ces aménagements ont été réalisés. Compte tenu de l'importance de la végétation sur ce talus, il nous est impossible de vérifier ces éléments.

L'arrêté de péril a été levé en 1983 suite aux travaux entrepris dans la propriété au sommet du coteau. .

De même, ce compte rendu fait état de la cavité présente au pied de la zone du glissement de terrain :

« Pour le surplomb crayeux, nous conseillons de prévoir des contreforts pour la paroi rocheuse surtout dans l'angle sud-ouest de la propriété de Mlle Rolland, où une importante fissure inclinée présente une ouverture inquiétante, créant un danger pour l'utilisation d'une part de la cave taillée dans la craie et d'autre part de l'atelier de réparation électro-ménager accolé au mur mitoyen ouest. »

Nous ignorons si ces ouvrages ont été réalisés.

Toujours d'après l'historique des phénomènes ayant affecté la commune, une chute de blocs s'est produite en 1959, sur cette propriété. Aucune information précise sur la localisation ou les volumes en jeu n'a été retrouvée concernant cet événement.

IV.1.3.1.15. Descente de la Levrette

La descente de la Levrette correspond à un cheminement piétonnier bétonné longé par un caniveau qui se jette dans un talus à pente modérée. La partie inférieure du talus est creusée par quatre cavités. Ces cavités ont fait l'objet d'une description dans un cahier en annexe.



Figure 41 : Cheminement piétonnier de la descente de la Levrette



Figure 42: Rejet d'eau pluvial dans le talus

Au niveau de cette zone, des coulées boueuses sont probables compte tenu de ces rejets d'eau.

IV.1.3.1.16. Est de la descente de la Levrette

A l'est de la descente de la Levrette, une petite falaise est masquée par la végétation. Celle-ci présente quelques fissures et quelques signes d'instabilité. Des cicatrices d'anciennes chutes de pierres sont visibles.

Elle est creusée en pied par une petite cavité à l'abandon. Cette cavité a fait l'objet d'une description dans un cahier en annexe.

Cette petite falaise correspond à la partie ouest d'une ancienne niche d'arrachement d'un probable effondrement. Des témoignages historiques et les observations effectuées dans la cavité 21 jouxtant ce secteur (présence de zones remblayées et observation d'une zone effondrée en bordure extérieure de la cavité) peuvent le laisser supposer. Les courbes de niveau extraites du LIDAR nous permettent de distinguer cette niche d'arrachement (voir figure ci-contre).

La zone ayant subi ce mouvement de terrain correspond aujourd'hui à un talus fortement boisé.

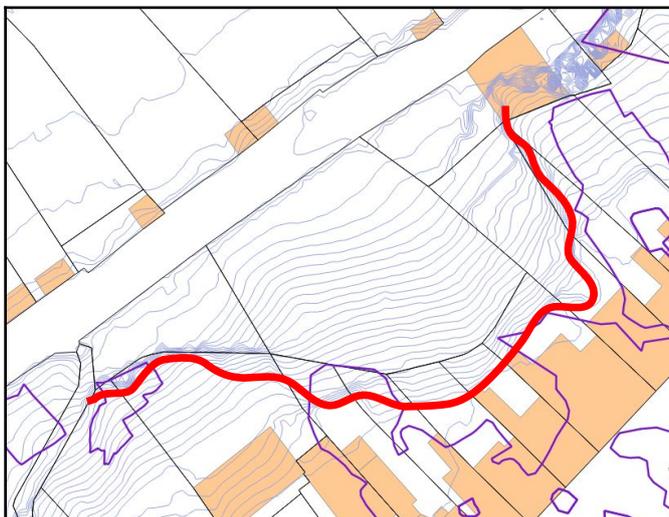


Figure 43: Trace d'un ancien effondrement

IV.1.3.1.17. 45-47, rue des Fouleries

Sur ce secteur, la falaise mesure 14 mètres de haut. Elle est creusée par une cavité partagée en trois espaces distincts, de taille variée et murées. L'un d'entre eux a été utilisé en champignonnière au cours du 20^{ème} siècle. La description de cette cavité figure dans le cahier descriptif des cavités, en annexe.



Figure 44: Vue de la falaise à l'entrée de la propriété



Figure 45: Blocs en équilibre au niveau du mur de la maison troglodyte

La falaise est en partie masquée par la végétation. Elle présente de nombreux signes d'instabilité. De nombreuses fractures sont observables au niveau du surplomb. Plusieurs masses rocheuses de tailles variables menacent de s'en détacher.

L'étage supérieur (ancien habitat troglodyte) surmontant l'entrée de la cavité présente un état très dégradé. Une chute de toit affectant toute sa surface s'est produite. L'épaisseur du banc rocheux éboulé est de quelques décimètres. Certains éléments détachés sont restés coincés au sommet de la façade extérieure de la construction troglodyte. Une autre partie adhère toujours à la voûte mais présente d'importants signes de décollement. Elle menace directement l'entrée de la cavité.

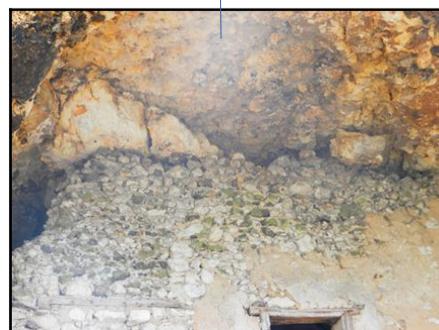


Figure 46: Blocs en équilibre liés à une chute de toit



Figure 47: Chute de toit à l'intérieur de la cavité

IV.1.3.1.18. Passage du Gué aux chevaux

Ce secteur correspond à un talus à pente modérée à forte, entièrement boisé. Il est difficile de distinguer des signes d'instabilité compte tenu de l'importance de la végétation.

IV.1.3.1.19. Extrême est de la zone d'étude

Sur ce secteur, la falaise d'une longueur de 100 m environ et d'une hauteur de 15 mètres s'étend entre la descente du Gué aux Chevaux et le 42 rue de Chartres. Elle correspond à un recul du coteau. Cet escarpement n'apparaît pas naturel. Il semble avoir été créé par une exploitation de carrière à ciel ouvert. Il surmonte une plate-forme horizontale de 25 mètres de large, surplombant la rue des Fouleries.

Cette falaise est creusée par une cavité de taille modérée. Une habitation troglodyte habitée est présente à l'entrée de cette dernière. La description de cette cavité figure dans le cahier descriptif des cavités, en annexe.



Figure 49: Maison troglodyte à l'entrée de la cavité



Figure 48: État de la falaise à l'entrée de la cavité

Au niveau de l'entrée de la cavité, la falaise est marquée par quelques fissures géologiques. Des cicatrices de phénomènes anciens, probablement des chutes de pierres, sont également visibles. A l'extrême ouest de la propriété, la falaise présente une importante instabilité. Une fissure verticale de plusieurs mètres de haut est visible sur la paroi. Elle délimite une écaille rocheuse importante. Elle pourrait entraîner un éboulement de plusieurs mètres cubes.



Figure 50: Falaise à l'ouest de la propriété



Figure 51: Importante fissure dans la falaise

IV.1.3.2. Propriétés en bordure du plateau

Au cours de notre visite sur le terrain, nous nous sommes également intéressés aux propriétés en bordure du plateau.

IV.1.3.2.1. Les numéros 26 à 42 de la rue de Chartres

Les propriétés en bordure de falaise entre le numéro 26 et 42 de la rue de Chartres n'ont pas été visitées, compte tenu du refus ou de l'absence des propriétaires. Néanmoins la note technique du

PER et l'expertise géotechnique réalisée par Antea sur ce secteur en juin 2003, font mention de divers désordres.

Ces constructions sont implantées à très faible distance de la falaise. Leurs fondations sont descendues dans les argiles à silex coté rue. Par contre coté falaise, celles-ci montrent des fissurations. De même les aménagements extérieurs, coté falaise (escaliers, appentis, murs...) ont fait l'objet de reptation, voire de glissement de terrain. Cette bande de propriétés est donc concerné par un phénomène de glissement de terrain actif.

Cette sensibilité aux glissements de terrain est confirmée par l'observation une zone d'instabilité très marquée quelques dizaines de mètres à l'extérieur du périmètre d'étude. Le trottoir bordant la rupture de pente du versant s'est affaissé de quelques décimètres et un mur de clôture s'incline vers l'aval.

IV.1.3.2.2. Numéro 28, rue Jean-Moulin

Rue Jean-Moulin, seule la propriété du numéro 28 a pu être visitée. Nous n'avons pas eu accès aux autres propriétés qui longent le plateau du fait du refus ou de l'absence des propriétaires.

La parcelle est occupée par un immeuble résidentiel de trois étages bâti à moins de 6 mètres du bord du plateau. Le bâtiment ne présente pas de signe d'instabilité.



Figure 52: Vue de l'arrière de l'immeuble du 28, rue Jean-Moulin

IV.1.3.2.3. Numéro 5, rue de Mail

Le numéro 5, rue du Mail correspond à un bâtiment à usage d'habitation construit perpendiculairement au coteau. Ce bâtiment est conçu sur deux étages. L'étage supérieur donnant sur la rue du Mail.

Une partie du bâtiment a été construite dans la pente en contrebas de la rue.



Figure 54: Partie du bâtiment construite dans la pente



Figure 53: Bâtiment au n°5, rue du Mail

Sur la partie nord du bâtiment, des transformations ont été apportées par le ou les propriétaires successifs, ajout d'un balcon monté sur une structure métallique. Le tout posé sur un socle en béton dans la pente. Ce dernier montre d'importants signes d'instabilité (fissures) témoignant de tassements différentiels.

V. Qualification de l'aléa

V.1. Définition de l'aléa

La notion d'aléa traduit la probabilité d'occurrence, en un point donné, d'un phénomène naturel de nature et d'intensité définies. Pour chacun des phénomènes rencontrés, trois degrés d'aléas – aléa fort, moyen ou faible – sont définis en fonction de **l'intensité** probable du phénomène et de sa **probabilité** d'apparition dans les conditions retenues comme référence. Ces conditions définissent les phénomènes de référence.

V.2. Notion de phénomène de référence

La pratique et les textes en vigueur précisent que les aléas doivent être définis en retenant comme référence les plus forts phénomènes historiques connus *si leur période de retour est supérieure à un siècle* ou sinon un phénomène théorique centennal.

La notion de période de retour est difficilement applicable aux mouvements de terrain : ces phénomènes sont soit instantanés (rupture du toit d'une cavité, chute de blocs, coulée boueuse par exemple), soit lents (tassement, glissement de terrain par exemple). La fréquence d'apparition de ces phénomènes dans une zone donnée – et donc la période de retour – est difficile à estimer en l'absence d'observations longues et exhaustives.

Les aléas de mouvement de terrain ont donc été déterminés à partir de *scénarios de référence* qui correspondent à des *phénomènes prévisibles*, considérés comme très probables (probabilité tendant vers 1) **sur une période d'une centaine d'années**. L'aléa traduit donc les *effets probables du scénario de référence*, c'est-à-dire l'intensité prévisible des phénomènes intégrés au scénario.

Les aléas cartographiés correspondent donc à **l'intensité** des manifestations prévisibles des phénomènes naturels **pour les scénarios de référence** retenus.

V.3. Méthodologie de qualification et de cartographie de l'aléa

Du fait de la grande variabilité des phénomènes naturels et des nombreux paramètres qui interviennent dans leur déclenchement, l'estimation de l'aléa dans une zone donnée est complexe. Elle fait notamment appel à l'ensemble des informations recueillies au cours de l'étude (contexte géologique, caractéristiques des précipitations locales, historique de phénomènes, etc.).

Pour limiter la subjectivité de cette approche, des grilles de caractérisation des différents aléas ont été définies par des spécialistes de ces phénomènes (voir paragraphe V.3.2 et suivants).

V.3.1. Définition des degrés d'aléa

La qualification des aléas proposée ici repose sur l'appréciation de l'intensité et de la probabilité d'occurrence du phénomène de référence.

De nombreuses zones, dans lesquelles aucun phénomène actif n'a été décelé, sont décrites comme exposées à un aléa faible - voire moyen - de mouvements de terrain. Ce zonage traduit un contexte topographique ou géologique dans lequel une modification des conditions actuelles peut se traduire par l'apparition de phénomènes. Ces modifications de la situation actuelle peuvent être très variables tant par leur importance que par leurs origines. Les causes de modification les plus fréquemment rencontrées sont les terrassements, les rejets d'eau et les épisodes météorologiques exceptionnels.

V.3.2. Critères de qualification de l'aléa

Les phénomènes décrits (voir chapitre III) ont été cartographiés en termes d'aléa selon un ensemble de critères qui sont synthétisés dans des tableaux présentés dans les paragraphes suivants.

Les phénomènes de référence pris en compte pour la qualification de l'aléa et les spécificités des zones étudiées, sont décrits pour chacun des phénomènes étudiés.

V.3.2.1. Scénario de chute de roche

Pour l'aléa chute de roche trois scénarios ont été identifiés : un scénario centennal avec chute de pierres, un scénario « centennal » avec chute de blocs et un scénario « exceptionnel ».

À noter que les deux derniers scénarios pour le phénomène centennal, figureront sur une même carte.

V.3.2.1.1. Phénomènes de référence pour l'aléa centennal dans le cas de chute de bloc

Le phénomène de référence pour l'aléa centennal de chute de blocs est, dans ce cas, la chute d'une masse rocheuse, compacte ou non, d'un volume indicatif de quelques décimètres cubes à quelques dizaines m³.

Ce phénomène est connu sur la zone d'étude et autour de celle-ci.

Le phénomène de référence est pris en compte en considérant les paramètres suivants, qui traduisent les caractéristiques de la zone concernée et de la dynamique du phénomène :

- La zone de propagation et d'arrêt en pied de falaise est horizontale ou très faiblement inclinée ;
- L'intensité du phénomène de référence est forte dans la majeure partie de l'emprise touchée. Elle décroît très rapidement à la marge de cette emprise ;
- La probabilité d'atteinte par le phénomène de référence diminue très rapidement lorsqu'on s'éloigne du pied de la falaise, mais il existe une zone dont l'atteinte est certaine ;
- Une bande en tête de falaise est considérée comme incluse dans l'emprise de la zone touchée. Cette bande correspond au recul de la falaise induit par la chute de la masse rocheuse de référence.

V.3.2.1.2. Phénomènes de référence pour l'aléa centennal de chute de pierre

Le phénomène de référence pour l'aléa centennal de chutes de pierres est, dans ce cas, la chute de pierres, d'un volume inférieur à quelques décimètres cubes.

Ce phénomène est connu sur la zone d'étude.

Le phénomène de référence est pris en compte en considérant les paramètres suivants, qui traduisent les caractéristiques de la zone concernée et de la dynamique du phénomène :

- La zone de propagation et d'arrêt en pied de falaise est horizontale ou très faiblement inclinée ;
- L'intensité du phénomène de référence est moyenne à faible dans la majeure partie de l'emprise touchée ;
- La probabilité d'atteinte par le phénomène de référence diminue très rapidement lorsqu'on s'éloigne du pied de la falaise, mais il existe une zone dont l'atteinte est certaine ;

- Une bande en tête de falaise de 1 m, est considérée comme incluse dans l'emprise de la zone touchée. Cette bande correspond au recul de la falaise induit par la chute de la masse rocheuse de référence.

V.3.2.1.3. Phénomènes de référence pour l'aléa exceptionnel de chute de bloc

Il est mentionné dans le tableau des phénomènes historiques, un événement ayant entraîné la chute d'une masse rocheuse évaluée à près de 400 m³, au niveau de la descente du Mail, celui-ci est considéré comme un phénomène exceptionnel. Mais il est important de le prendre en compte.

Le phénomène de référence pour l'aléa exceptionnel de chutes de blocs est la chute d'une masse rocheuse, compacte ou non, d'un volume indicatif de quelques dizaines m³ à quelques centaines de m³.

Ce phénomène est conforme à des phénomènes historiques sur la zone d'étude.

Le phénomène de référence est pris en compte en considérant les paramètres suivants, qui traduisent les caractéristiques de la zone concernée et de la dynamique du phénomène :

- La zone de propagation et d'arrêt en pied de falaise est horizontale ou très faiblement inclinée ;
- L'intensité du phénomène de référence est forte dans la majeure partie de l'emprise touchée. Elle décroît très rapidement à la marge de cette emprise ;
- La probabilité d'atteinte par le phénomène de référence diminue très rapidement lorsqu'on s'éloigne du pied de la falaise, mais il existe une zone dont l'atteinte est certaine ;
- Une bande en tête de falaise est considérée comme incluse dans l'emprise de la zone touchée. Cette bande correspond au recul de la falaise induit par la chute de la masse rocheuse de référence.

V.3.2.2. Qualification de l'aléa de chute de roche

V.3.2.2.1. Qualification de l'aléa centennial chute de bloc

En un point donné, l'aléa est défini par la combinaison de l'intensité du phénomène et la probabilité d'atteinte. La probabilité d'atteinte résulte de la combinaison de la probabilité de départ de la masse de référence et de la probabilité de propagation.

a. Paramètres retenus pour la qualification de l'aléa

La dynamique du phénomène de référence ne peut être analysée de manière suffisamment détaillée dans le cadre du PPRMT de Châteaudun pour déterminer quantitativement tous les paramètres définissant l'aléa. Il est donc indispensable de choisir certains de ces paramètres pour déterminer l'aléa de chute de pierres et de blocs.

- La probabilité de départ est considérée comme certaine pour une période de 100 ans, c'est-à-dire pour la période de référence (voir paragraphe V.2) ;
- La morphologie particulière de la zone étudiée (petite falaise verticale) permet de simplifier l'analyse des trajectoires et d'appliquer des angles de propagation (méthode de la ligne d'énergie) pour déterminer l'enveloppe des zones exposées :
 - Un premier angle (α_1) définit une zone directement exposée dans laquelle la probabilité d'atteinte est forte ;
 - Un second angle (α_2) définit une zone non directement exposée dans laquelle la probabilité d'atteinte est moyenne ou faible ;
- La masse mobilisée pour le phénomène de référence implique que l'intensité est forte dans toute l'emprise de la zone exposée (directement ou non) au phénomène ;

- La falaise est considérée comme source d'aléa si sa hauteur est supérieure à 2,0 m.

La probabilité d'atteinte pour chacune des zones est définie selon le tableau de référence suivant (voir Tableau 3). Cette appréciation de la probabilité est qualitative.

Tableau 3: Probabilité d'atteinte pour les chutes de pierres et de blocs.

Zone	Probabilité d'atteinte
Bande de recul de la falaise	Forte*
Directement exposée	Forte
Non directement exposée	Moyenne à faible
* Par définition, l'apparition du phénomène implique un recul de la tête de falaise qui constitue la zone de départ des blocs.	

La probabilité d'occurrence du phénomène est définie en un point en fonction des indices d'activité repérés sur le terrain et de la probabilité d'atteinte.

Pour cela, nous considérerons le tableau suivant :

		Probabilité d'atteinte			
		Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
Indice d'activité	Faible	Faible	Modéré	Élevée	Très Élevée
	Moyen	Modéré	Modéré	Élevée	Très Élevée
	Fort	Modéré	Élevée	Élevée	Très Élevée

Tableau 4: définition de la probabilité d'occurrence de l'aléa de référence en un point

b. Critères de qualification de l'aléa

La qualification de l'aléa est établie à partir d'une grille à trois degrés croisant intensité et probabilité (trois intensités et trois probabilités d'atteinte). Les paramètres intensité et probabilité sont définis à partir des paramètres exposés ci-dessus.

Tableau 5: Grille intensité – probabilité pour l'aléa chute de pierre et de bloc.

		Intensité			Zone
		Faible	Modérée	Forte	
Probabilité d'occurrence	Faible	-	-	Moyen	Zone non-directement exposée
	Modérée	-	-	Moyen	

	Élevée	-	-	Fort	Zone directement exposée et Bande de recul de falaise
--	--------	---	---	------	---

L'aléa de chute de bloc a donc été qualifié en considérant seulement deux degrés d'aléa pour les zones exposées :

- aléa fort dans l'emprise directement exposée ;
- aléa fort dans l'emprise de la bande de recul de la falaise ;
- aléa moyen dans la zone non directement exposée.

En dehors de la zone exposée au phénomène de référence, l'aléa est considéré comme nul ou négligeable.

Ceci signifie qu'un phénomène différent du phénomène de référence (masse plus importante, propagation particulière, prise en compte d'une durée de référence plus longue, etc.) n'est pas retenu pour l'élaboration du PPRMT mais qu'il peut néanmoins se produire même si sa probabilité est faible.

c. Définitions de l'emprise de la zone exposée

Du fait des limites de cette méthodologie et des incertitudes affectant la détermination des emprises, quatre paramètres complémentaires sont retenus :

- Seules les zones dans lesquelles la hauteur H de la falaise atteint ou dépasse 2,0 m sont considérées comme des sources d'aléa au sens de ce PPRMT ;
- Dans tous les cas, la largeur L_1 de la bande directement exposée (aléa fort) calculée, est arrondie au mètre supérieur et elle ne peut être inférieure à 3,0 m ;
- La largeur L_2 de la bande non directement exposée (aléa moyen) calculée, est arrondie au mètre supérieur ;
- La largeur de la zone de recul L_3 est de 5,0 m.

La hauteur de la falaise qui est considérée pour la définition des emprises est définie à partir des observations de terrain et des diverses données topographiques et bibliographiques disponibles.

Les extensions des zones directement exposées, non directement exposées et de la bande de recul sont définies selon le schéma présenté ci-dessous (voir figure 55).

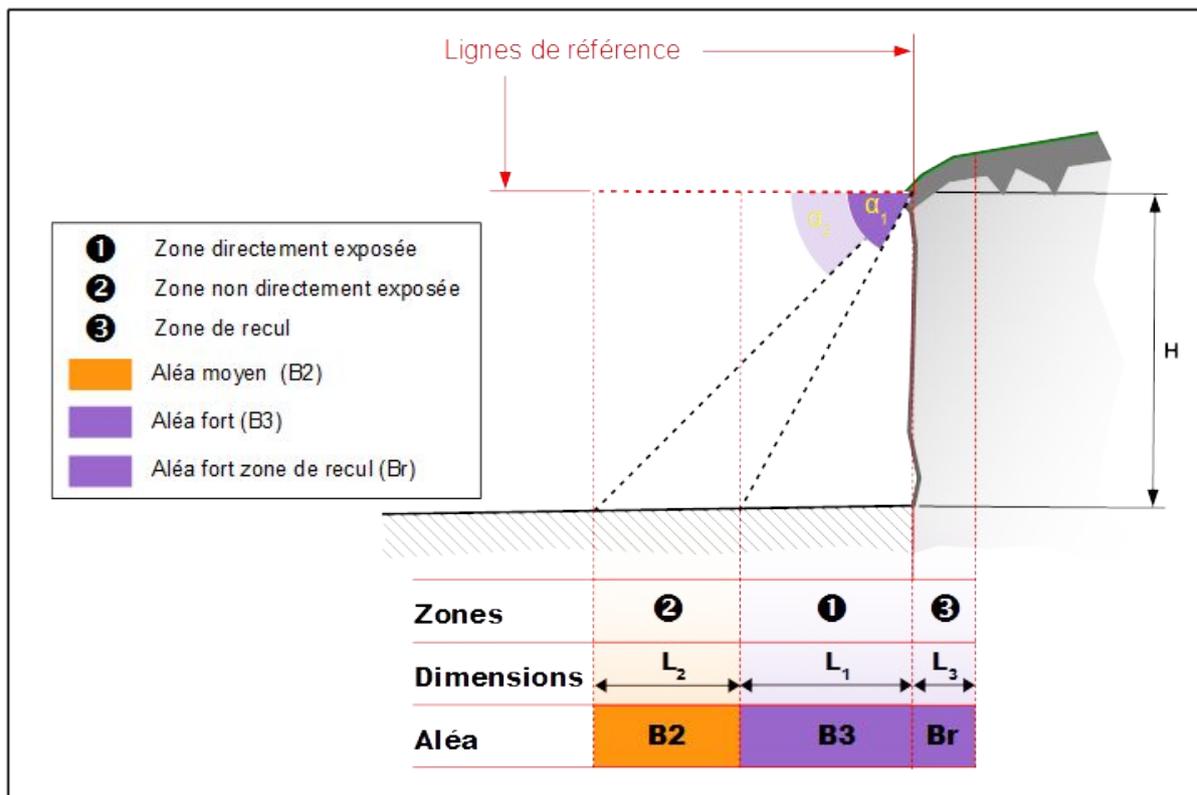


Figure 55: Définition générale des zones d'aléa de chute de pierre et de bloc.

Les paramètres retenus pour le PPRMT de Châteaudun sont récapitulés dans un tableau de référence (voir tableau 6).

Tableau 6: Méthode de détermination des zones d'aléa de chutes de blocs.

Paramètres		Définition
H	Hauteur de la falaise	$H > 2 \text{ m}$ – H est déterminée par observations et bibliographie
	$H \geq 2 \text{ m}$	
α_1	Angle définissant la zone d'aléa fort	70°
α_2	Angle définissant la zone d'aléa moyen	45°
L1	Zone directement exposée	<p>$\text{Si } H \leq 5 \text{ m}, L_1 = 3 \text{ m}$</p> <p>$\text{Si } H > 5 \text{ m}, L_1 = \frac{H}{\tan(\alpha_1)}$</p> <p>Nota. La valeur de L1 est arrondie au mètre supérieur. La hauteur de 5 m correspond à une largeur L1 inférieure à 3,0 m.</p>

L2	Zone non directement exposée	$Si H \leq 5 m, L_2 = 3 m$ $Si H > 5 m, L_2 = \frac{H \times (\tan(\alpha_1) - \tan(\alpha_2))}{\tan(\alpha_1)}$
L1 + L2	Zone exposée à la propagation	$Si H \leq 5 m, L_1 + L_2 = 6 m$ $Si H > 5 m, L_1 + L_2 = \frac{H \times (1 + (\tan(\alpha_1) - \tan(\alpha_2)))}{\tan(\alpha_1)}$
L3	Bande de recul	5 m

Un tableau récapitulant les largeurs calculées pour diverses hauteurs de falaise est présenté ci-après.

	hauteur falaise	L1	L1 arrondi	L2	L2 arrondi
Secteur 1	14	5,0955832797	5	8,9044167	9
Secteur 2	8	2,9117618741	3	5,0882381	5
Secteur 3	11	4,0036725769	4	6,9963274	7
Secteur 3	14	5,0955832797	5	8,9044167	9
Secteur 4	5	1,8198511713	3	3,1801488	3
Secteur 5 haut	7	2,5477916399	3	4,4522084	5
Secteur 5 bas	9	3,2757321084	4	5,7242679	6
Secteur 5 est	16	5,8235237483	6	10,176476	10
Secteur 6 w	7	2,5477916399	3	4,4522084	5
Secteur 6	12	4,3676428112	5	7,6323572	8
Secteur 6	14	5,0955832797	6	8,9044167	9
Secteur 6	8	2,9117618741	3	5,0882381	5
Secteur 6	10	3,6397023427	4	6,3602977	7
Secteur 6 E	7	2,5477916399	3	4,4522084	5
Secteur 7	5	1,8198511713	3	3,1801488	3
Secteur 8	10	3,6397023427	4	6,3602977	7
Secteur 9	8	2,9117618741	3	5,0882381	5
Secteur 10	9	3,2757321084	4	5,7242679	6
Secteur 11	7	2,5477916399	3	4,4522084	5
Secteur 12 et 13	14	5,0955832797	6	8,9044167	9
Secteur 14	17	6,1874939825	7	10,812506	11
Secteur 14	10	3,6397023427	4	6,3602977	7
Secteur 20	7	2,5477916399	3	4,4522084	5
Secteur 21	14	5,0955832797	5	8,9044167	9
Secteur 22	12	4,3676428112	5	7,6323572	8
Secteur 22	14	5,0955832797	5	8,9044167	9
Secteur 22	15	5,459553514	6	9,5404465	10

Tableau 7: Résultats des calculs pour la détermination des largeurs de l'aléa chute de bloc

V.3.2.2.2. Qualification de l'aléa centennal de chute de pierre

En un point donné, l'aléa est défini par la combinaison de l'intensité du phénomène et la probabilité d'atteinte. La probabilité d'atteinte résulte de la combinaison de la probabilité de départ de la masse de référence et de la probabilité de propagation.

a. Paramètres retenus pour la qualification de l'aléa

La dynamique du phénomène de référence ne peut être analysée de manière suffisamment détaillée dans le cadre du PPRMT de Châteaudun pour déterminer quantitativement tous les

paramètres définissant l'aléa. Il est donc indispensable de choisir certains de ces paramètres pour déterminer l'aléa de chute de pierre.

- La probabilité de départ est considérée comme certaine pour une période de 100 ans, c'est-à-dire pour la période de référence (voir paragraphe V.2) ;
- La morphologie particulière de la zone étudiée (petite falaise verticale) permet de simplifier l'analyse des trajectoires et d'appliquer des angles de propagation (méthode de la ligne d'énergie) pour déterminer l'enveloppe des zones exposées ;
 - Un premier angle (α_1) définit une zone directement exposée dans laquelle la probabilité d'atteinte est forte ;
 - Un second angle (α_2) définit une zone non directement exposée dans laquelle la probabilité d'atteinte est moyenne ou faible ;
- La masse mobilisée pour le phénomène de référence implique que l'intensité est moyenne à faible dans toute l'emprise de la zone exposée (directement ou non) au phénomène ;
- La falaise est considérée comme source d'aléa si sa hauteur est supérieure à 2,0 m.

La probabilité d'atteinte pour chacune des zones est définie selon le tableau de référence suivant (voir Tableau 8). Cette appréciation de la probabilité est qualitative.

Tableau 8: Probabilité d'atteinte pour les chutes de pierres et de blocs.

Zone	Probabilité d'atteinte
Bande de recul de la falaise	Forte*
Directement exposée	Forte
Non directement exposée	Moyenne à faible
* Par définition, l'apparition du phénomène implique un recul de la tête de falaise qui constitue la zone de départ des blocs.	

La probabilité d'occurrence du phénomène est définie en un point en fonction des indices d'activité repérés sur le terrain et de la probabilité d'atteinte.

Pour cela, nous considérerons le tableau suivant :

		Probabilité d'atteinte		
		Faible	Moyenne	Forte
Indice d'activité	Faible	Faible	Modéré	Élevée
	Moyen	Modéré	Modéré	Élevée
	Fort	Modéré	Élevée	Élevée

Tableau 9: définition de la probabilité d'occurrence de l'aléa de référence en un point

b. Critères de qualification de l'aléa

La qualification de l'aléa est établie à partir d'une grille à trois degrés croisant intensité et probabilité (trois intensités et trois probabilités d'atteinte). Les paramètres intensité et probabilité

sont définis à partir des paramètres exposés ci-dessus.

Tableau 10: Grille intensité – probabilité pour l'aléa chutes de pierre et de bloc.

		Intensité			Zones
		Faible	Modérée	Forte	
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible	Faible	Moyen	Zone non-directement exposée
	Modérée	Faible	Moyen	Moyen	
	Élevée	Moyen	Fort	Fort	Zone directement exposée et Bande de recul de falaise

En dehors de la zone exposée au phénomène de référence, l'aléa est considéré comme nul ou négligeable.

c. Définitions de l'emprise de la zone exposée

Du fait des limites de cette méthodologie et des incertitudes affectant la détermination des emprises, quatre paramètres complémentaires sont retenus :

- Seules les zones dans lesquelles la hauteur H de la falaise atteint ou dépasse 2,0 m sont considérées comme des sources d'aléa au sens de ce PPRMT ;
- Dans tous les cas, la largeur L₁ de la bande directement exposée (aléa fort) calculée est arrondie au mètre supérieur et elle ne peut être inférieure à 3,0 m ;
- La largeur L₂ de la bande non directement exposée (aléa moyen ou faible) calculée, est arrondie au mètre supérieur ;
- La largeur de la zone de recul L₃ est de 1,0 m.

La hauteur de la falaise qui est considérée pour la définition des emprises est définie à partir des observations de terrain et des diverses données topographiques et bibliographiques disponibles.

Les extensions des zones directement exposées, non directement exposées et de la bande de recul sont définies selon le schéma présenté ci-dessous (voir figure 56).

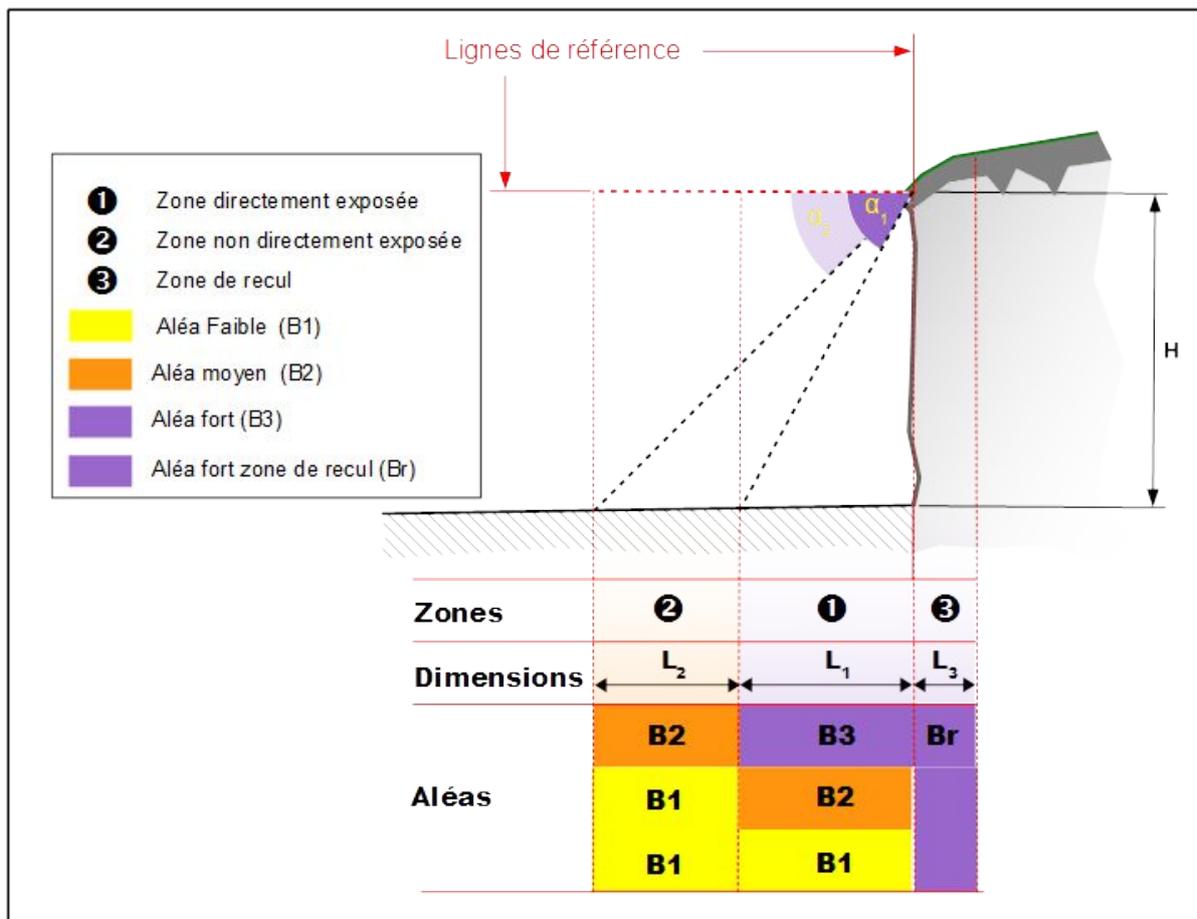


Figure 56: Définition générale des zones d'aléa de chute de pierre et de bloc.

Les paramètres retenus pour le PPRMT de Châteaudun sont récapitulés dans un tableau de référence (voir tableau 11).

Tableau 11: Méthode de détermination des zones d'aléa de chutes de blocs.

Paramètres		Définition
H	Hauteur de la falaise	$H > 2 \text{ m}$ – H est déterminée par observations et bibliographie
	$H \geq 2 \text{ m}$	
α_1	Angle définissant la zone d'aléa fort	70°
α_2	Angle définissant la zone d'aléa moyen	45°
L1	Zone directement exposée	<p>$\text{Si } H \leq 5 \text{ m}, L_1 = 3 \text{ m}$</p> <p>$\text{Si } H > 5 \text{ m}, L_1 = \frac{H}{\tan(\alpha_1)}$</p> <p>Nota. La valeur de L1 est arrondie au mètre supérieur. La hauteur de 5 m correspond à une largeur L1 inférieure à 3,0 m.</p>

L2	Zone non directement exposée	$\text{Si } H \leq 5 \text{ m}, L_2 = 3 \text{ m}$ $\text{Si } H > 5 \text{ m}, L_2 = \frac{H \times (\tan(\alpha_1) - \tan(\alpha_2))}{\tan(\alpha_1)}$
L1 + L2	Zone exposée à la propagation	$\text{Si } H \leq 5 \text{ m}, L_1 + L_2 = 6 \text{ m}$ $\text{Si } H > 5 \text{ m}, L_1 + L_2 = \frac{H \times (1 + (\tan(\alpha_1) - \tan(\alpha_2)))}{\tan(\alpha_1)}$
L3	Bande de recul	1 m

Un tableau récapitulant les largeurs calculées pour diverses hauteurs de falaise est présenté , tableau 7 page 42.

V.3.2.2.3. Qualification de l'aléa exceptionnel chute de bloc

En un point donné, l'aléa est défini par la combinaison de l'intensité du phénomène et la probabilité d'atteinte. La probabilité d'atteinte résulte de la combinaison de la probabilité de départ de la masse de référence et de la probabilité de propagation.

a. Paramètres retenus pour la qualification de l'aléa

La dynamique du phénomène de référence ne peut être analysée de manière suffisamment détaillée dans le cadre du PPRMT de Châteaudun pour déterminer quantitativement tous les paramètres définissant l'aléa. Il est donc indispensable de choisir certains de ces paramètres pour déterminer l'aléa exceptionnel.

- La probabilité de départ est considérée comme incertaine sur une période de 100 ans, c'est pourquoi nous le qualifions de phénomène exceptionnel ;
- La morphologie particulière de la zone étudiée (petite falaise verticale) permet de simplifier l'analyse de la zone impactée par ce type de phénomène ;
- La masse mobilisée pour le phénomène exceptionnel de référence implique que l'intensité est forte dans toute l'emprise de la zone exposée (directement ou non) au phénomène ;
- La falaise est considérée comme source d'aléa si sa hauteur est supérieure à 5,0 m.
- La falaise est considérée comme source d'aléa dans son ensemble.

La probabilité d'atteinte pour chacune des zones est définie selon le tableau de référence suivant (voir Tableau 12). Cette appréciation de la probabilité est qualitative.

Tableau 12: Probabilité d'atteinte pour un éboulement en masse.

Zone	Probabilité d'atteinte
Bande de recul de la falaise	Forte*
Directement exposée	Forte
Non directement exposée	Moyenne à faible
* Par définition, l'apparition du phénomène implique un recul de la tête de falaise qui constitue la zone de départ des blocs.	

La probabilité d'occurrence du phénomène est définie en un point en fonction des indices d'activité

repérés sur le terrain et de la probabilité d'atteinte.

Pour cela, nous considérerons le tableau suivant :

		Probabilité d'atteinte			
		Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
Indice d'activité	Faible	Faible	Modéré	Élevée	Très Élevée
	Moyen	Modéré	Modéré	Élevée	Très Élevée
	Fort	Modéré	Élevée	Élevée	Très Élevée

Tableau 13: définition de la probabilité d'occurrence de l'aléa de référence en un point

Sur la zone d'étude quelques indices d'activité ont été repérés.

b. Critères de qualification de l'aléa

La qualification de l'aléa est établie à partir d'une grille croisant intensité et probabilité d'occurrence. Les paramètres intensité et probabilité d'occurrence sont définis à partir des paramètres exposés ci-dessus.

Tableau 14: Grille intensité – probabilité pour l'aléa chute de pierres et de blocs.

		Intensité = forte		Zones
		Faible	Moyenne	
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible		Zone non-directement exposée
	Moyenne	Moyen		
	Forte	Fort		Zone directement exposée et Bande de recul de falaise

L'aléa exceptionnel de chute de blocs a donc été qualifié en considérant seulement un degré d'aléa pour les zones exposées :

- aléa fort dans l'emprise directement exposée ;
- aléa fort dans l'emprise de la bande de recul de la falaise ;
- aléa moyen à faible dans la zone non directement exposée.

En dehors de la zone exposée au phénomène de référence, l'aléa est considéré comme nul ou négligeable.

Ceci signifie qu'un phénomène différent du phénomène de référence (masse plus importante, propagation particulière, prise en compte d'une durée de référence plus longue, etc.) n'est pas retenu pour l'élaboration du PPRMT mais qu'il peut néanmoins se produire même si sa probabilité est faible.

c. Définitions de l'emprise de la zone exposée

Du fait des limites de cette méthodologie et des incertitudes affectant la détermination des emprises, trois paramètres complémentaires sont retenus :

- Dans tous les cas, la largeur L_1 de la bande directement exposée (aléa fort) calculée est arrondie au mètre supérieur et elle ne peut être inférieure à 3,0 m ;
- La largeur de la zone de recul L_4 est de 10,0 m.

La hauteur de la falaise qui est considérée pour la définition des emprises est définie à partir des observations de terrain et des diverses données topographiques et bibliographiques disponibles.

Les extensions des zones directement exposées, non directement exposées et de la bande de recul sont définies selon le schéma présenté ci-dessous (voir figure 57).

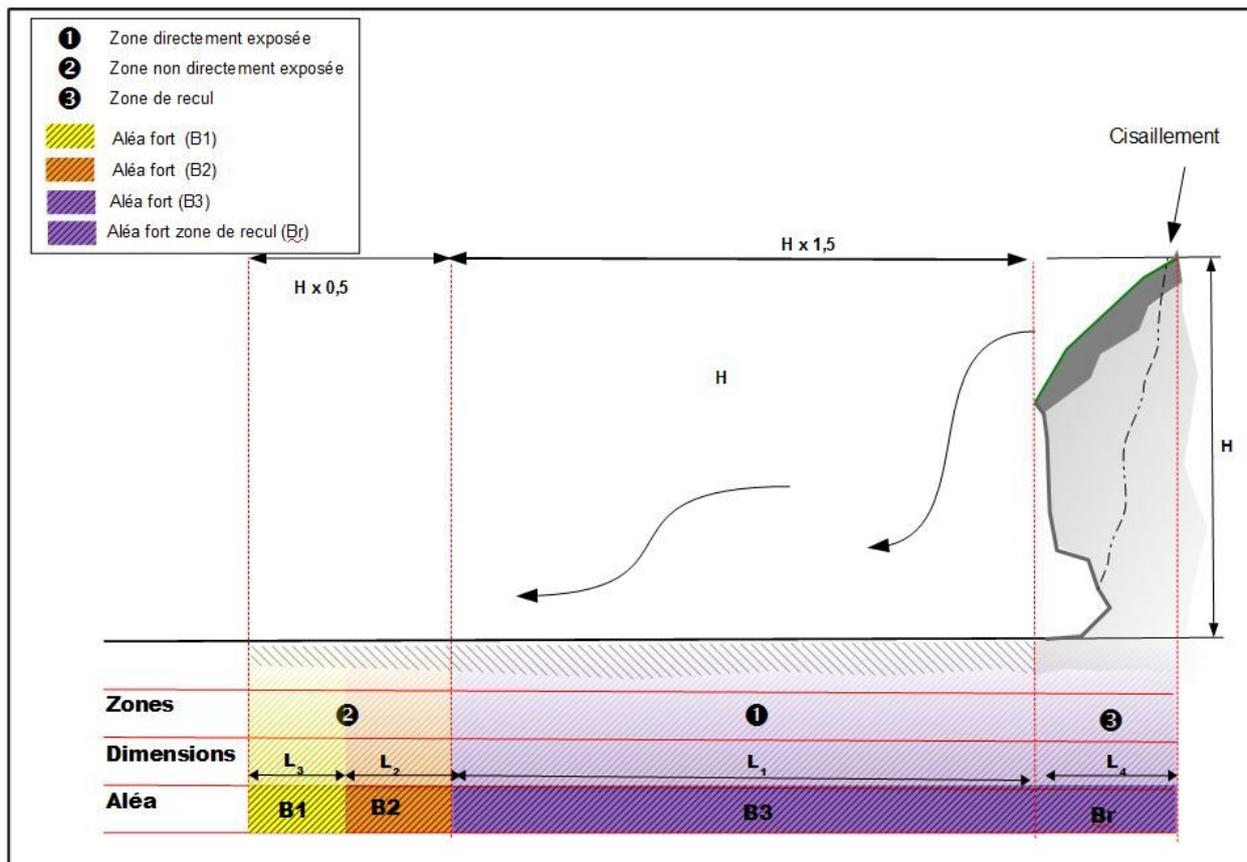


Figure 57: Définition des zones d'aléa exceptionnel de chute de blocs.

Les paramètres retenus pour le PPRMT de Châteaudun sont récapitulés dans un tableau de référence (voir ci-dessous).

Tableau 15: Méthode de détermination des zones d'aléa de chute de blocs

Paramètres		Définition
H	Hauteur de la falaise à nue + la hauteur du recul possible (+ 4m)	H est déterminée par observations et bibliographie
L1	Zone directement exposée	$L_1 = H \times 1,5$ Nota. La valeur de L1 est arrondie au mètre supérieur.
L2	Zone non directement exposée	$L_2 = H \times 0,25 m$
L3	Zone non directement exposée	$L_3 = H \times 0,25 m$
L4	Bande de recul	15 m

V.3.2.3. Aléa de glissement de terrain

Deux phénomènes de référence sont considérés pour la détermination de l'aléa de glissement de terrain :

- Glissement ponctuel de masse terreuse d'un volume limité (quelques mètres cubes à quelques centaines de mètres cubes) en tête de falaise ou sur des talus à forte pente ;
- Coulées boueuses puisque le contexte topographique et hydrologique s'y prête et que plusieurs phénomènes historiques se sont déjà produits.

Selon le contexte topographique et géologique, l'un ou l'autre de ces phénomènes ou leur combinaison sert de référence pour la qualification de l'aléa.

V.3.2.3.1. L'aléa de glissement ponctuel

L'aléa de glissement de terrain ponctuel est qualifié en considérant les paramètres suivants :

- L'emprise de la zone exposée aux glissements ponctuels en tête de falaise est déterminée à dire d'expert. Nous ne connaissons pas l'épaisseur des terrains mobilisables et par conséquent nous ne pouvons pas estimer le volume de matériaux mobilisable. En l'absence de données détaillées relatives à l'épaisseur des terrains mobilisables, nous retiendrons les valeurs suivantes :
 - o épaisseur mobilisable sur le talus : 3 à 5 m maximum ;
 - o pente d'équilibre : 30°.

Le LIDAR nous permet de connaître la pente du talus qui surmontent la falaise en tout point et d'identifier les zones les plus exposées à ce type de phénomène. Par contre, il nous est difficile de savoir si des rejets d'eau pluviale sont effectifs dans la falaise, en particulier au droit des propriétés privés. Nous n'avons pas eu accès à toutes les propriétés en bordure de la falaise, mais nous avons constaté que ce facteur existe.

Les emprises sont donc estimées à dire d'expert :

- En l'absence d'indice de mouvement de terrain, les talus à forte pente sont considérés comme exposés à un aléa moyen de glissement de terrain ponctuel. Dans le cas de notre zone d'étude, les indices d'activité sont difficilement observables du fait de l'importance de la végétation ;
- En tête de falaise ou sur le talus, la zone de départ potentielle est considérée comme directement exposée à un phénomène de forte intensité ;

- En pied de falaise ou de talus, une zone d'arrêt est considérée comme très exposée en cas d'occurrence du phénomène de référence. Une largeur minimale de 5,0 m est proposée, pour tenir compte de l'étalement probable de la masse glissée.

V.3.2.3.2. L'aléa coulée boueuse

L'aléa de glissement de terrain ponctuel est qualifié en considérant les paramètres suivants :

- L'emprise de la zone exposée aux coulées boueuses en tête de falaise ou sur le talus à l'amont est déterminée en fonction des points d'évacuation des eaux pluviales que nous avons pu repérer sur le terrain, dans les zones accessibles ;
- Nous ne connaissons pas l'épaisseur des terrains mobilisables, ni le débit des apports pluviaux, par conséquent nous ne pouvons pas quantifier le volume de matériaux mobilisable par ces coulées ;
- En tête de falaise ou de talus, la zone de départ potentielle ou historique d'une coulée est considérée comme directement exposée à un phénomène de forte intensité ;
- En pied de falaise ou de talus, une zone d'arrêt est considérée comme très exposée en cas d'occurrence du phénomène de référence. Une largeur est estimée à dire d'expert en fonction de l'emprise du ou des phénomènes passés. Une largeur minimale de 5,0 m est proposée, pour tenir compte de l'étalement probable de la masse glissée ;
- Au-delà de l'emprise de l'aléa fort, une zone de propagation du phénomène est considérée en aléa faible de glissement de terrain (G1c) pour prendre en compte l'épandage de la coulée boueuse.

Les extensions des zones directement exposées et non directement exposées sont définies selon le schéma présenté ci-dessous (voir figure 58).

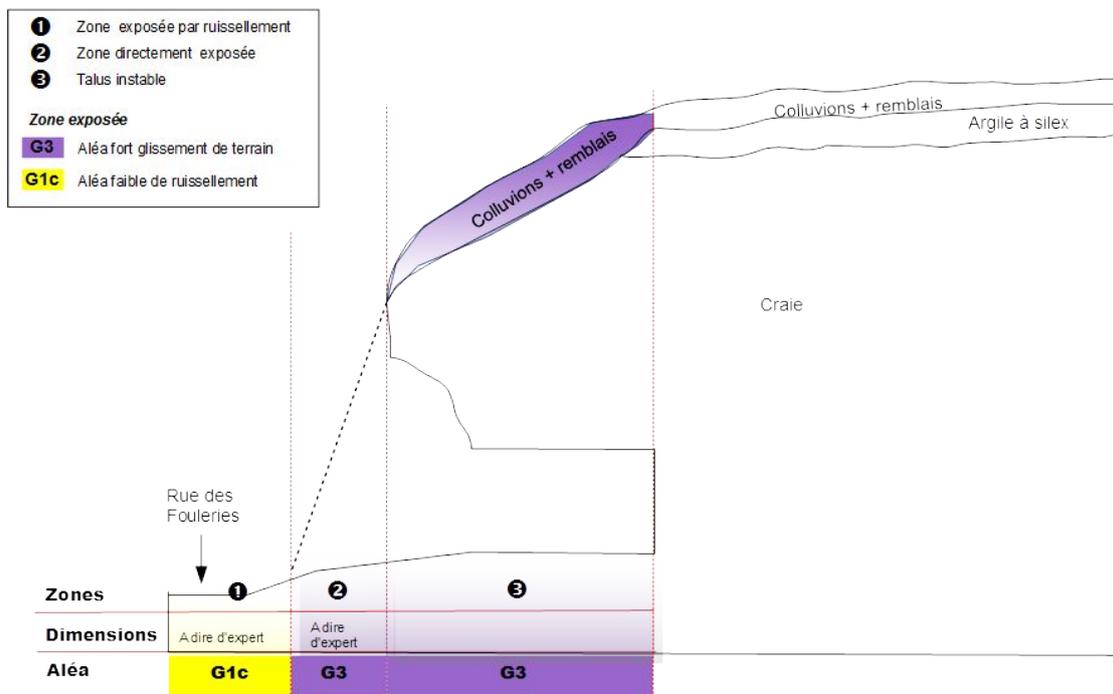


Figure 58: Définition des zones d'aléa de coulées boueuses

V.3.2.4. Aléas d’effondrement de cavité souterraine

Le phénomène de référence pour la qualification de l’aléa d’effondrement de cavités souterraines est un effondrement total de la cavité avec une propagation vers la surface et la formation d’un fontis.

L’aléa d’effondrement de cavités souterraines est déterminé à partir de la probabilité d’occurrence du phénomène de référence et de l’intensité du phénomène en surface.

L’emprise exposée à l’aléa d’effondrement de cavités souterraines est déterminée à partir des paramètres suivants :

- L’emprise de la cavité est systématiquement considérée comme exposée ;
- La formation du fontis se fait avec un angle d’influence α de 70° par rapport à l’horizontale et l’emprise correspondante est considérée comme exposée ;
- Au-delà de l’emprise de la zone exposée, une zone d’incertitude est définie en considérant un angle d’influence β de 60°. Ces angles d’influences génèrent une bande d’aléa périphérique supplémentaire (bande d’influence qui varie en fonction de la profondeur de la cavité : celle-ci est déterminée par la différence entre les altitudes mesurées au sol des cavités (levé de géomètre) et à la surface des terrains sous-cavés (levé LIDAR). Cette valeur correspond à la hauteur de référence Hr.

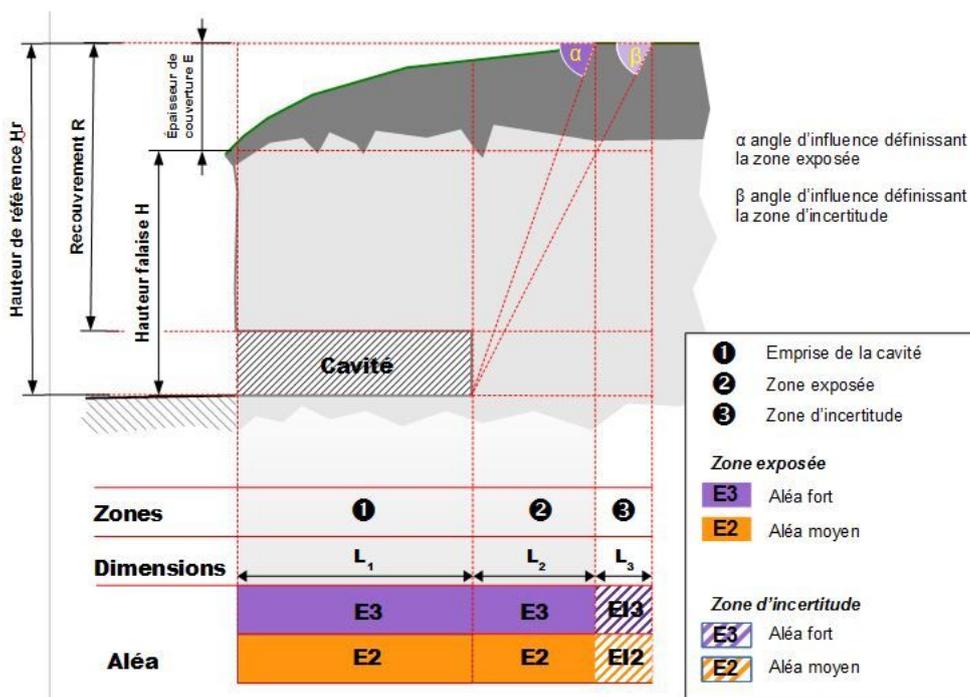


Figure 59: Définition des zones d’aléa d’effondrement de cavités souterraines.

Un levé précis des cavités a été effectué au mois de mai 2017.

Tableau 16: Paramètres et méthodes utilisés pour la définition des emprises des zones exposées à l'aléa d'effondrement de cavités souterraines.

Paramètres		Définitions
H _r	Hauteur de référence	Cote NGF au sol cavité – cote TN surface
α	Angle définissant la zone exposée	70°
β	Angle définissant la zone d'incertitude	60°
L1+L2	Zone exposée	$L_1 + L_2 = L_1 + H_r \times \tan(90 - \alpha)$ Nota. La valeur de L1 est arrondie au mètre supérieur.
L3	Zone d'incertitude	$L_3 = H_r \times (\tan(90 - \beta) - \tan(90 - \alpha))$ Nota. La valeur de L2 est arrondie au mètre supérieur.
L1 + L2+L3	Zone potentiellement exposée	$L_1 + L_2 + L_3 = H_r \times (\tan(90 - \beta)) + L_1$

Un tableau récapitulant les largeurs calculées pour les diverses cavités est présenté ci-après.

	hauteur référence	L2	L2 arrondi sup	L3	L3 arrondi sup
Cavité 1	5	1,8198511713	2	1,0669001746	1
Cavité 2A	9,3	3,3849231787	4	1,9844343248	2
Cavité 2B	12,5	4,5496279283	5	2,6672504365	3
Cavité 3A	4	1,4558809371	2	0,8535201397	1
Cavité 3B	6,4	2,3294094993	3	1,3656322235	2
Cavité 3C inf	15	5,459553514	6	3,2007005239	4
Cavité 3C sup	21	7,6433749196	8	4,4809807334	5
Cavité 3D	19	6,9154344511	7	4,0542206635	4
tunnel	25	9,0992558567	9	5,3345008731	5
Cavité 4A	16	5,8235237483	6	3,4140805588	4
Cavité 4B	12,5	4,5496279283	5	2,6672504365	3
Cavité 4C	16,5	6,0055088654	6	3,5207705762	4
Cavité 5A	15	5,459553514	5	3,2007005239	4
Cavité 5B (cuve)	19	6,9154344511	7	4,0542206635	4
Cavité 5B (fond cavité)	30	10,919107028	11	6,4014010477	7
Cavité 5C	18,5	6,7334493339	7	3,9475306461	4
Cavité 6A	10,5	3,8216874598	4	2,2404903667	3
Cavité 6B	13,5	4,9135981626	5	2,8806304715	3
Cavité 6C	21	7,6433749196	8	4,4809807334	5
Cavité 7	7	2,5477916399	3	1,4936602445	2
Cavité 8A	15	5,459553514	6	3,2007005239	4
Cavité 8B	18	6,5514642168	7	3,8408406286	4
Cavité 8C	14	5,0955832797	5	2,9873204889	3
Cavité 9A	17,5	6,3694790997	7	3,7341506112	4
Cavité 9B	14,5	5,2775683969	6	3,0940105064	3
Cavité 10	20	7,2794046853	8	4,2676006985	5
Cavité 11A	16	5,8235237483	6	3,4140805588	4
Cavité 11B	15,5	5,6415386311	6	3,3073905413	4
Cavité 11C	10	3,6397023427	4	2,1338003492	3
Cavité 12	22	8,0073451539	8	4,6943607683	5
Cavité 13A	15,5	5,6415386311	6	3,3073905413	4
Cavité 13B	17	6,1874939825	6	3,6274605937	4
Cavité 14 (plateau)	28	10,191166559	10	5,9746409779	6
Cavité 14	22	8,0073451539	8	4,6943607683	5
Cavité 15	10,5	3,8216874598	4	2,2404903667	3
Cavité 16	4,7	1,7106601011	2	1,0028861641	1
Cavité 17A	6	2,1838214056	3	1,2802802095	2
Cavité 17B	5	1,8198511713	2	1,0669001746	1
Cavité 18A	7,5	2,729776757	3	1,6003502619	2
Cavité 18B	14,5	5,2775683969	6	3,0940105064	3
Cavité 18C	17,5	6,3694790997	7	3,7341506112	4
Cavité 19A	7	2,5477916399	3	1,4936602445	2
Cavité 19B	7	2,5477916399	3	1,4936602445	2
Cavité 19C	6,5	2,3658065227	3	1,386970227	2
Cavité 19D	9,5	3,4577172255	4	2,0271103318	2
Cavité 20	29	10,555136794	11	6,1880210128	7
Cavité 21A	25	9,0992558567	9	5,3345008731	6
Cavité 21B	13	4,7316130455	5	2,773940454	3
Cavité 22	24,5	8,9127207395	9	5,2278108556	6

Tableau 17: Résultats des calculs pour la détermination des largeurs de l'aléa effondrement

La qualification de l'aléa est établie à partir d'une grille intensité – probabilité (voir tableau 19).

La probabilité d'occurrence du phénomène de référence est déterminée à partir des données bibliographiques disponibles (études ANTEA) et des observations effectuées.

Concernant la zone d'étude, nous avons pu visiter un grand nombre des cavités présentes. Seules quatre cavités n'ont pu être visitées.

La probabilité d'occurrence du phénomène d'effondrement dépend de la prédisposition de la cavité souterraine à la rupture. Celle-ci dépend :

- du taux de défrètement et des portées entre appuis ;
- des contraintes s'exerçant sur les piliers ;
- les caractéristiques favorables à une rupture brutale des piliers ;
- la sensibilité des matériaux à l'eau ;
- la présence de fissures ;
- du recouvrement
- etc.

Dans le cas de notre zone, la probabilité d'occurrence est définie comme suit:

		Caractéristiques (présence d'au moins un de ces critères)
Probabilité d'occurrence	Forte	Événements historiques identifiés
		épaisseur de recouvrement < 5m
		Portée > 10 m
	Moyenne	Des piliers ont été édifiés pour conforter la cavité
		Portée entre 5 et 10 m
		épaisseur de recouvrement >5m et <10m
	Faible	Pas de signes d'instabilité
		Portée < à 5 m
		épaisseur de recouvrement > 10m
	Indéfinie	Cavités non visitées

Remarque : Les études de référence utilisent le terme de « risque » pour l'évaluation de la probabilité d'effondrement des cavités. Nous avons repris cette évaluation comme *estimation de la probabilité* pour éviter toute confusion avec la définition stricte du terme « risque » qui traduit le croisement d'un aléa et d'une évaluation de la vulnérabilité.

L'intensité du phénomène est qualifié de forte, modérée ou faible en fonction du volume de la cavité. L'effondrement en masse caractérise un mouvement d'extension spatiale important et dont l'occurrence peut mettre en péril la sécurité des personnes et des biens dans l'emprise de l'instabilité.

Si la cavité de dimension importante est accompagnée d'un taux de défrètement et d'une hauteur sous plafond élevés, alors l'intensité du phénomène tendra vers le fort.

Dans le cas des petites cavités, un mouvement de terrain vertical sera amorti par le foisonnement des matériaux. En surface, ce phénomène sera apparenté à un affaissement. L'intensité du phénomène sera donc plutôt modérée à faible.

Pour toutes les zones définies (emprise de cavité, zone exposée, zone d'incertitude, voir figure 59 et tableau 16), l'aléa d'effondrement de cavité souterraine est défini selon la grille intensité – probabilité ci-dessous : (voir tableau 19).

Hierarchisation des classes d'intensité pour un effondrement généralisé

Classe d'intensité	Description
Élevée à très élevée	Effondrement en masse de la surface

Tableau 18: extrait du guide méthodologique PPRN cavités souterraines abandonnées - page 40

Tableau 19: Grille intensité – probabilité pour l'aléa d'effondrement de cavités souterraines.

		Intensité forte (effondrement généralisé)	Intensité modérée à faible (fontis localisé, affaissement de terrain)
Probabilité d'occurrence	Forte	Aléa fort	Aléa moyen
	Moyenne	Aléa fort	Aléa faible
	Faible	Aléa Moyen	Aléa faible
	Indéfinie	Aléa fort	Aléa moyen

La probabilité « indéfinie » correspond à des cavités non visitées ou pour lesquelles les conditions d'observation ne permettent pas de se prononcer de manière fiable. Par précaution, l'aléa a alors été considéré comme fort pour éviter de sous-estimer l'aléa.

Les zones d'incertitudes sont identifiées sur les cartes d'aléa (voir chapitre V.4) pour faciliter la compréhension des cartes et justifier l'ensemble de la cartographie proposée. Elles sont considérées comme exposées au même aléa que la zone exposée à laquelle elles sont rattachées.

La proximité des cavités peut conduire à la superposition des aléas induits par chacune des cavités. L'aléa d'effondrement de cavités souterraines retenu correspond au niveau maximal d'aléa susceptible d'affecter la zone à échéance de 100 ans.

V.3.2.5. Cas des ouvrages de soutènement

La zone d'étude comporte de multiples ouvrages de protection, de soutènement, des murs anciens et récents et des constructions accolées à la falaise.

La rupture de ces ouvrages ne constitue pas un phénomène naturel au sens strict. Selon le contexte, ces ouvrages peuvent réduire l'aléa (stabilisation des pentes, extinction des zones de départ de pierres en falaise, etc.) ou constituer des facteurs aggravants (ouvrages constituant une surcharge sur des terrains sensibles, chutes d'éléments provenant des ouvrages, etc.).

L'appréciation de l'aléa lié à ces ruptures nécessiterait une connaissance des caractéristiques des ouvrages qui ne sont, en règle générale, pas connues de manière précise. Ainsi, ni la protection ni l'aléa éventuellement induit par la rupture de ces ouvrages ou constructions ne sont pris en compte dans le cadre du PPRMT de Châteaudun.

V.4. Cartographie des aléas

La cartographie des aléas a été établie sur un fond cadastral au 1/1 000. Les cartes sont présentées sous forme d'un atlas au format A3 annexé à cette note de présentation.

V.4.1. Cartes d'aléa par phénomène

Des cartes d'aléa ont été établies par phénomène : glissement de terrain, chute de roches, effondrement de cavités souterraines. Sur ces cartes, chaque zone est matérialisée par une limite et une couleur traduisant le degré d'aléa. Si nécessaire, des figurés différents (aplats ou hachures) permettent d'identifier des zones spécifiques telles que les zones de recul pour l'aléa de chutes de roches ou de glissements de terrain, les zones d'incertitude pour l'aléa d'effondrement, etc.

Les tableaux suivants (voir tableaux 20 à 22) récapitulent les zones distinguées sur chacune des cartes d'aléa par phénomène.

Tableau 20: Les zones d'aléa pour les chutes de roches.

Phénomène		Aléa	Description	
Chute de roche	Chute de bloc	Fort	Zone de recul	
		Fort	Zone directement exposée	
		Moyen	Zone non directement exposée	
	Chute de pierre	Fort	Zone de recul	
		Fort, moyen ou faible	Zone directement exposée	
		Moyen ou faible	Zone non directement exposée	
	<i>NB : Les deux scénarios définis ci-dessus sont conjugués sur une seule carte</i>			
	Chute de bloc, aléa exceptionnel	Fort	Zone de recul	
		Fort	Zone directement exposée	
Moyen ou faible		Zone non directement exposée		

Tableau 21: Les zones d'aléa pour les glissements de terrain.

Phénomène		Aléa	Description
Glissement de terrain	Glissement de terrain ponctuel	Moyen	absence d'indice de mouvement de terrain
		Fort	Zone de départ des masses glissées
		Fort	Zone d'arrêt des masses glissées au pied de la falaise
	Coulée boueuse	Fort	Zone de départ des masses glissées
		Fort	Zone d'arrêt des masses glissées au pied de la falaise
		Faible	Zone de divagation d'une lame d'eau boueuse

Tableau 22: Les zones d'aléa pour les effondrements de cavités souterraines

Phénomène		Aléa	Description
Effondrement de cavité souterraine	Zone exposée	Fort	Selon règles de qualification définies au tableau 19
		Moyen	
		Faible	
	Zone d'incertitude	Fort	Aléa selon la zone exposée à laquelle la zone d'incertitude est rattachée
		Moyen	
		Faible	
Cavité non visitée	Fort	Application du principe de précaution	

V.4.2. Carte de l'aléa conjugué

À partir des cartes d'aléa par phénomène, une carte de l'aléa conjugué a été établie, en conservant, pour chaque zone, l'aléa maximal (voir figure 60).

Cette carte permet de disposer d'une représentation des aléas fort, moyen et faible, indépendamment de la nature des phénomènes qui motivent cet aléa.

La carte des aléas conjugués permet d'apprécier l'aléa maximal de mouvement de terrain en tout point de la zone étudiée et donc d'identifier les secteurs les plus exposés (voir figure 60).

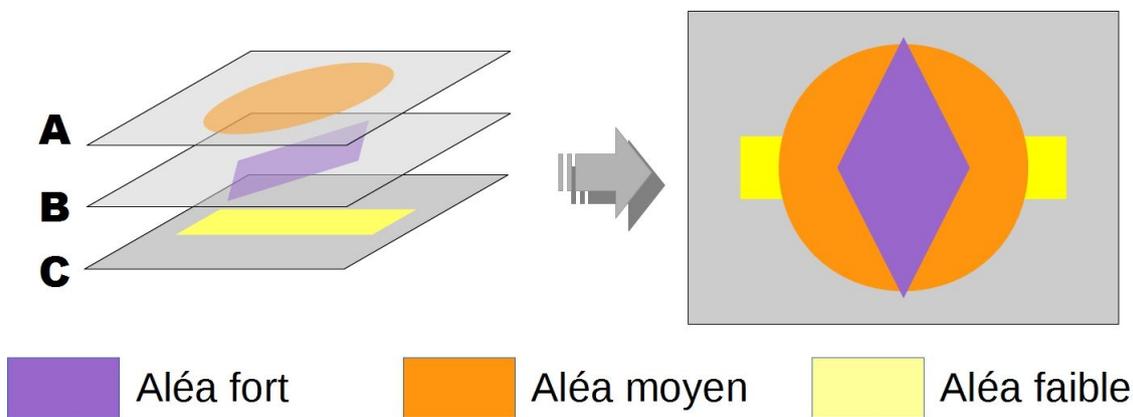


Figure 60: Principe d'élaboration de la carte des aléas conjugués.

V.5. La description des aléas

V.5.1. L'aléa chute de roche

L'aléa chute de roche concerne la falaise en pied du coteau. Cette dernière est très souvent creusée par des cavités naturelles ou anthropiques. Des désordres affectent principalement l'entrée de ces cavités affaiblies par des phénomènes de décompression et d'altération. Ces instabilités se manifestent par des chutes de dalle de toit au niveau des parties sous cavée et des

chutes de blocs au niveau des parois rocheuses. Plusieurs phénomènes de ce type se sont déjà produits sur ce secteur. Néanmoins leur probabilité d'occurrence est variable de faible à forte, en fonction de la qualité de la craie et de sa fracturation. Ce type de phénomène ne concerne pas toutes les cavités rue des Fouleries. Certaines d'entre elles ne présentent aucun indice d'activité marquée.

Sur la falaise, des signes d'instabilités sont également visibles dans des secteurs autrefois exploités en carrière (à l'exemple de la partie est de la zone d'étude). Des éboulements de plusieurs m³ peuvent s'y produire.

Les zones de pied de falaise concernées par ce phénomène, ont été classées en aléa fort de chutes de blocs. Au-delà de ces zones, une bande de terrain a été qualifiée en aléa moyen, pour tenir compte de la propagation des blocs.

Les chutes de pierres sont des phénomènes plus fréquents qui peuvent se produire sur l'ensemble de la falaise. Cette falaise formée d'une craie dure à silex est soumise aux intempéries et également à l'action mécanique des oiseaux qui nichent dans les replats. Les filets plaqués mis en place à divers endroits de la falaise témoignent de l'activité de ce phénomène et du danger qu'il représente.

Ces derniers se manifestent souvent au printemps suite à l'alternance gel/dégel. Ils correspondent à la chute de blocs de faible volume (<1 décimètre cube).

Cet aléa concerne l'ensemble de la falaise. Compte tenu du volume des blocs, l'aléa a été qualifié de moyen à faible.

Il faut rappeler également que l'aléa chute de blocs et l'aléa chute de pierres sont conjugués sur une seule carte.

Les chutes de pierres liées aux aménagements anciens de type murs en maçonnerie de pierres n'ont pas été prises en compte.

V.5.2. L'aléa glissement de terrain

En dehors des zones à falaise, le coteau longeant le Loir présente encore une pente relativement importante. Il est recouvert d'une couche plus ou moins épaisse de colluvions et de remblais aux caractéristiques géomécaniques médiocres. Ce contexte rend le coteau particulièrement instable. Celui-ci servant fréquemment d'exutoire aux eaux pluviales, il génère des phénomènes de glissement de terrain.

Ces instabilités peuvent se traduire par des phénomènes plus soudains et destructeurs. Un rejet d'eau dans le coteau peut engendrer des coulées boueuses qui atteignent les propriétés en contrebas.

Cet aléa présent sur la quasi-totalité de la zone d'étude, a été qualifié en aléa fort sur la zone de départ et sur la zone d'arrivée en pied de falaise. La morphologie du terrain analysée à l'aide du LIDAR, nous a permis de distinguer d'anciennes niches d'arrachement issues de phénomènes passés, ainsi que des zones d'écoulement préférentielles. A l'aval, nous avons considéré un aléa faible de ruissellement des eaux boueuses. Seul le talus au pied du château, ne présente pas d'instabilité, ni de rejet d'eau particulier. Il a été qualifié en aléa moyen de glissement de terrain.

V.5.3. L'aléa effondrement de cavité souterraine

L'aléa effondrement peut avoir plusieurs origines sur notre secteur d'étude :

- La rupture de pilier peut entraîner un déséquilibre qui va se traduire par une évolution en chaîne entraînant un effondrement généralisé. Les piliers subissent une diminution

irréversible de leur résistance. Plus la roche qui les constitue s'altère, plus la résistance à l'écrasement diminue.

- La majorité des puits d'accès de ces cavités ont été comblés, partiellement ou totalement. La rupture des bouchons de ces puits peut être à l'origine de désordres en surface. Le mouvement peut être progressif ou brutal.
- Des chutes de toit sont fréquentes dans ce type de cavité. Dans ces roches finement stratifiées, les désordres les plus fréquents sont les décollements de banc du toit. Elles constituent le stade initial d'une montée des désordres vers la surface.

La majorité des cavités sont concernées par un aléa moyen. Seules les cavités ayant fait l'objet de chute de toit, d'effondrements localisés ou ayant montré des risques de faiblesse ayant nécessité la mise en place d'un soutènement par piliers maçonnés, ont été classées en aléa fort.

VI. Les enjeux

Les enjeux correspondent, au sens du plan de prévention des risques naturels prévisibles, à l'ensemble des biens et activités présents sur le territoire de la commune lors de l'élaboration du PPRNMT.

Remarque. Ce ne sont pas les personnes qui sont directement considérées comme un enjeu, mais les zones habitées qui constituent l'enjeu pouvant être cartographié. La fréquentation occasionnelle des espaces naturels ou agricoles, des parcs et jardins et des abords des zones urbanisées ne constitue pas un enjeu cartographié dans le PPRNMT de la ville de Châteaudun. La prévention correspondante ne relève pas du PPRNMT.

Les phénomènes étudiés peuvent néanmoins induire un danger important pour les personnes qui se trouveraient dans les zones exposées, lors du déclenchement du phénomène.

VI.1. Typologie des enjeux

Les enjeux sont pris en compte dans le PPRN par le biais d'une cartographie annexée à cette note de présentation. Cette cartographie présente l'occupation du sol actuelle en distinguant notamment les zones urbanisées et les zones naturelles ou agricoles. La typologie de l'occupation des sols est résumée dans le tableau suivant (voir Tableau 23).

Tableau 23: Typologie de l'occupation du sol pour la cartographie des enjeux.

Catégorie	Type de zone	Description
Espaces urbanisées	Habitat dense	Centre historique, habitat urbain dense
	Habitat peu dense	Habitat pavillonnaire dominant
	Habitat diffus	Habitat isolé
Espaces à urbaniser	Projets d'urbanisation future	
Établissement recevant du public	Administration et enseignement	Mairie, école, bibliothèque...
	Commercial	Commerces, restaurants, hôtels...
	Touristique	Grotte, musée, ...
	Autres	Parking couvert
Espaces d'activité et de loisirs	Base nautique	Canoë,
Espaces environnementaux	Zones naturelles	Forêts, parcs
		Réseau hydrographique / surfaces en eau
	Zones agricoles	Prairies agricoles / Pâturages/ autres
	Parc public	Promenade du Mail
Infrastructures linéaires	Routes, cheminements piéton	Voirie, Descente du Mail, de la Levrette, etc.

Les principaux bâtiments publics, les ERP et les principales infrastructures sont également localisés sur la carte des enjeux. Les informations relatives à ces enjeux ponctuels ne sont pas exhaustives.

VI.2. Les enjeux

La zone d'étude est urbanisée. Des zones d'habitat dense bordent le haut du plateau (rue de Chartres, rue Jean-Moulin et rue de la Mail). Un habitat plus lâche occupent la rue des Fouleries. D'une manière générale, les zones d'urbanisation denses correspondent à un habitat ancien, existant depuis le XIX^e siècle.

Le talus qui domine la falaise à un caractère « naturel ».

L'habitat troglodyte est assimilé à une cavité.

VII. Bibliographie

ETUDES DIVERSES

Expertise géotechnique – Établissement de restauration, 33 rue des Fouleries à Châteaudun – ANTEA – octobre 2010

Expertise géotechnique du projet d'aménagement – Grotte du Foulon à Châteaudun – ANTEA – mai 2008

Expertise géotechnique – Immeuble 28 rue Jean Moulin à Châteaudun – Mars 2002

Falaises, pentes et zones sous-cavées de Châteaudun - Secteur de la Côte Rotie et de la Boissière – Expertise géotechnique – ANTEA - Juin 2003

Plan de Prévention des Risques Naturels – octobre 2004 (y compris dossier PER)

Étude technique – Étude préliminaire – Mouvements de terrain à Châteaudun - SOPENA

Projet routier du contournement sud-est de l'agglomération de Châteaudun – BRGM – octobre 2001

Inventaire départemental des cavités souterraines d'Eure et Loir – BRGM – août 2005

GUIDE METHODOLOGIQUE

Plan de prévention des risques naturels (PPRN) : Cavités souterraines abandonnées. 1, (La Documentation française, 2012).

SITES INTERNET CONSULTÉS

www.georisques.gouv.fr

<http://www.meteo-centre.fr>

BASE DE DONNÉES

BDMvt (BRGM)

<http://www.bdmvt.net> – Mise à jour 29/07/2013

Base de données BDCavité (BRGM)

<http://www.bdcavite.net/> – Mise à jour du 9/01/2013

DIVERS

photographies aériennes, années 1948, 1971, 1978 et 1988

extrait de l'intervention de M. Alain Venot, maire de Châteaudun - colloque sur les Plans d'Exposition aux Risques

Articles de journaux

VIII. Glossaire

Index lexical

Abréviations et sigles	
ERP	
Établissement recevant du public définis par l'article R123-2 du Code de la construction et de l'habitation. Les ERP sont classés par types et catégories en fonction de leur usage et de l'importance du public accueilli.....	62
PPRN	
Plan de prévention des risques naturels prévisibles.....	10, 16 sv, 38, 40 sv, 43, 45 sv, 56, 61, 63
Définitions	
Aléas	
Ce terme désigne ici une évaluation de la fréquence et de l'intensité probable d'un phénomène naturelle.....	36 sv, 42, 46, 50, 57 sv
Enjeux	
Ce terme désigne ici l'ensemble des biens et des activités présents sur le territoire étudié et susceptibles d'être affectés par les phénomènes naturels.....	61 sv
Épaisseur mobilisable	
Épaisseur des matériaux pouvant participer à un glissement de terrain.....	50
Qualification	
Méthodes et critères de détermination du degré d'aléa pour un phénomène donné..	36 sv, 43 sv, 47 sv, 50, 52, 54, 58
Risque	
Le risque traduit la conjonction d'un aléa et d'un enjeu en un même point.....	3, 9, 15, 19, 55, 61, 63
Le risque traduit la conjonction d'un aléa et d'un enjeux en un même point.....	9, 15, 55, 61, 63
Stratification	
Disposition des couches (ou strates) géologiques.....	11
Substratum	
Formation géologique qui constitue le soubassement de la structure ou de la formation géologique considérée.....	10 sv

IX. Annexes

Annexe 1

BASE DE DONNÉES NATIONALE DES CAVITES SOUTERRAINES Export d'un tableau de résultat

Critères de sélection :

Commune : Châteaudun

Type de cavité : Tous

Nombre de communes concernées : 45

Identifiant	Nom	Type
CENAA0013047	Châteaudun, aven beauceron	naturelle
CENAA0013116	Châteaudun, carrière	carrière
CENAA0013050	Châteaudun, carrière de la grotte du lavoir n°1	carrière
CENAA0013045	Châteaudun, carrière de la grotte du sans rival	carrière
CENAA0013048	Châteaudun, carrière grotte de la foulerie n°1	carrière
CENAA0013049	Châteaudun, carrière grotte des fouleries n°2	carrière
CENAA0013053	Châteaudun, carrière sous arachnidé patriciae	carrière
CENAA0013019	Châteaudun, carrière souterraine	carrière
CENAA0013046	Châteaudun, carrière souterraine	carrière
CENAA0013018	Châteaudun, carrière souterraine de TPL	carrière
CENAA0013024	Châteaudun, carrière souterraine du gouffre gilles	carrière
CENAA0013044	Châteaudun, carrières souterraines Pères Blancs	carrière
CENAA0013118	Châteaudun, cave	carrière
CENAA0013103	Châteaudun, cave	cave
CENAA0013115	Châteaudun, cave rue de la foulerie	cave
CENAA0013099	Châteaudun, cave rue des fouleries	cave
CENAA0013101	Châteaudun, cave rue des fouleries	cave
CENAA0013102	Châteaudun, cave rue des fouleries, chapelle de la Boissière	cave
CENAA0013098	Châteaudun, caves	cave
CENAA0013100	Châteaudun, caves sous le château	cave
CENAA0013114	Châteaudun, cavité	cave
CENAA0014154	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014149	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014151	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014146	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014143	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014148	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014155	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014145	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014150	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014152	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014144	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014153	Châteaudun, cavité	indéterminé
CENAA0014147	Châteaudun, entrée face au 48 rue des fouleries	indéterminé
CEN0001952AA	Châteaudun, Gouffre des cordeliers	cave
CENAA0013120	Châteaudun, grotte	naturelle
CENAA0013570	Châteaudun, grotte arachnidé patriciae	naturelle

Identifiant	Nom	Type
CENAA0013052		naturelle
CENAA0013025	Châteaudun, grotte de crépainville	naturelle
CENAA0013117	Châteaudun, grotte du coteau	naturelle
CENAA0013112	Châteaudun, grotte du Foulon	naturelle
CENAA0013051	Châteaudun, grotte du lavoir n°2	naturelle
CENAA0013020	Châteaudun, grottes des foulerie n°5	cave
CENAA0013569	Châteaudun, Karst	naturelle
CENAA0013119	Châteaudun, perte de Chatenay	naturelle



**PRÉFET
DE L'EURE-
ET-LOIR**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



ALP'GEORISQUES - Z.I. - 52, rue du Moirond - Bâtiment Magbel - 38420 DOMENE - FRANCE

Tél. : 04-76-77-92-00 Fax : 04-76-77-55-90

sarl au capital de 18 300 €

Siret : 380 934 216 00025 - Code A.P.E. 7112B
N° TVA Intracommunautaire : FR 70 380 934 216

Email : contact@alpgeorisques.com

Site Internet : <http://www.alpgeorisques.com/>