Révision de l'atlas départemental des mouvements de terrain

Territoire de Belfort (90)

Octobre 2020

Crédit photo : © Vincent Vancraenenbroeck

Rapport conçu sous système de management de la qualité certifié AFAQ

DDT90
SACST - Cellule Risques
8 Place de la Révolution française
90020 BELFORT

Version	Date	Commentaire
V0	Sept 2019	Version traitant uniquement les affaissements / effondrements et les éboulements
V1	Oct 2020	Version complète

Récapitulatif de l'affaire	
Objet de l'étude :	Révision de l'atlas départemental des mouvements de terrain - Territoire de Belfort (90)
Résumé de la commande :	Réalisation de la révision de l'atlas mouvements de terrains sur le territoire de Belfort et rédaction d'une doctrine applicable pour les différents zonages.
Référence dossier :	Affaire 20-CE-0271
Communicabilité :	☐ Libre (avec acceptation préalable du commanditaire dans le contrat) ☐ Contrôlée (communiquée uniquement avec l'autorisation du commanditaire à posteriori) ☐ Confidentielle (non référencée dans IsaWeb)
Chargé d'affaire :	Vincent VANCRAENENBROECK Département Laboratoire d'Autun – OAGR / RNGG Tél. +33 (0)3 85 86 67 67 / Fax +33 (0)3 85 86 67 79 Courriel : dla.dterce@cerema.fr
Autres membres de l'équipe :	
Mots Clés :	Risques Naturels, Effondrement, Affaissement, Eboulement, Karst, Glissement, Liquéfaction
ISRN :	

Liste des destinataires

Contact	Adresse
Mr Thomas PAYET	DDT90 SACST - Cellule Risques 8 Place de la Révolution française 90020 BELFORT

Autun le 09/12/2020

Le Directeur du Département Laboratoire d'Autun

Sommaire

1 - Introduction....6

2 - La réglementation et gestion des risques naturels....8

2.1 - Le contexte politique et réglementaire....8

2.1.1 - La politique de prévention des risques....8

2.1.2 - Les textes de lois....8

2.2 - L'atlas dans la déclinaison de la politique de prévention des risques....10

3 - Le département du Territoire de Belfort....11

3.1 - La zone d'étude....11

3.2 - La géologie du Territoire de Belfort....11

3.2.1 - Les grands ensembles géologiques (*source BRGM*)....11

3.2.2 - Histoire géologique du Territoire de Belfort (*d'après P. Rosenthal, 2003*)....12

4 - La typologie des mouvements de terrains du Territoire de Belfort....15

4.1 - Les affaissements et effondrements....15

4.1.1 - Les causes....16

4.1.2 - Les risques....20

4.2 - Les glissements de terrains....23

4.2.1 - Les causes....24

4.2.2 - Les risques....25

4.3 - Les éboulements et les chutes de blocs....25

4.3.1 - Les causes....27

4.3.2 - Les risques....27

4.4 - Les érosions de berges....28

4.4.1 - Les causes....28

4.4.2 - Les risques....29

4.5 - La liquéfaction des sols....30

4.5.1 - Les causes....30

4.5.2 - Les risques....31

5 - Les méthodologies de cartographie....32

5.1 - Zones de susceptibilité aux désordres d'origine karstique (affaissement – effondrement)....32

5.1.1 - Les données utilisées pour les affaissements et les effondrements....32

5.1.2 - Méthodologie pour déterminer la susceptibilité à l'affaissement-effondrement....34

5.2 - Zones de susceptibilité à l'éboulement....35

5.2.1 - Les zones d'éboulements avérés....35

5.2.2 - Méthodologie de cartographie de la susceptibilité à l'éboulement ou aux chutes de blocs....36

5.3 - Zones de susceptibilité aux glissements de terrain....37

5.3.1 - Les zones de glissements avérés....37

5.3.2 - Méthodologie de cartographie de la susceptibilité aux glissements....37

5.4 - Zones de susceptibilité à l'érosion de berges....39

5.5 - Zones de susceptibilité à la liquéfaction des sols....39

6 - Recommandations et propositions de mesures de prévention et règles de bonnes pratiques dans le cadre des procédures d'urbanisme....41

6.1 - Préambule....41

6.2 - Qu'est-ce qu'une étude géotechnique....43

6.3 - Les zones soumises à l'aléa désordres d'origine karstique....44

6.3.1 - Les indices avérés....46

6.3.2 - Les zones à forte densité d'indices (hors des indices avérés présents dans ce zonage, augmentés d'un périmètre de 20 m autour de l'indice)....47

6.3.3 - Les zones à moyenne densité d'indices (hors des indices avérés présents dans ce zonage)....48

6.4 - Les zones soumises au phénomène d'éboulement et de chutes de blocs....50

6.5 - Les zones soumises au phénomène de glissement de terrain....52

6.5.1 - Les zones de glissements avérés....54

6.5.2 - Les zones sensibles aux glissements....55
6.6 - Les zones soumises au phénomène d'érosion de berges....58
6.7 - Les zones soumises au phénomène de liquéfaction des sols....60
6.8 - Exploitation du document en matière de planification (PLU, PLUi, cartes communales) ou de projet....62
6.9 - Exploitation du document en matière d'application du droit des sols (ADS)....63
7 - Synthèse....64
Lexique :....66
Annexes....68
Annexe A - Méthodes d'exploitations (mines et carrières)....69
Annexe B - Liste des communes possédant des études plus fines....72
Annexe C - Liste des aléas par commune....73
Annexe D - Fiches informatives sur les aléas mouvements de terrains....77

INFORMATION

Le présent rapport synthétise le processus de révision de l'atlas des mouvements de terrains. Ce document, couvrant tout le Territoire de Belfort, permet d'une part de capitaliser les données et d'autre part, de les interpréter pour localiser les zones où des sensibilités géologiques sont à craindre. Sa précision est en adéquation avec la superficie du territoire d'étude : tout le Territoire de Belfort. Cet atlas est à considérer comme une aide à la décision. Il n'est pas opposable et ne peut en aucune manière engager la responsabilité des services de l'État. Si des études plus précises existent sur certaines parties du département, elles seront à privilégier pour l'aléa qu'elles traitent.
Les porteurs de projet, les maîtres d'œuvre, doivent s'assurer de la faisabilité de leurs projets et commander si nécessaire, auprès de sociétés spécialisées, des investigations géologiques complémentaires.

1 - Introduction

Le risque est défini comme le produit d'un phénomène prévisible, également appelé aléa, et d'enjeux humains, économiques, culturels ou environnementaux (Illustration 1).

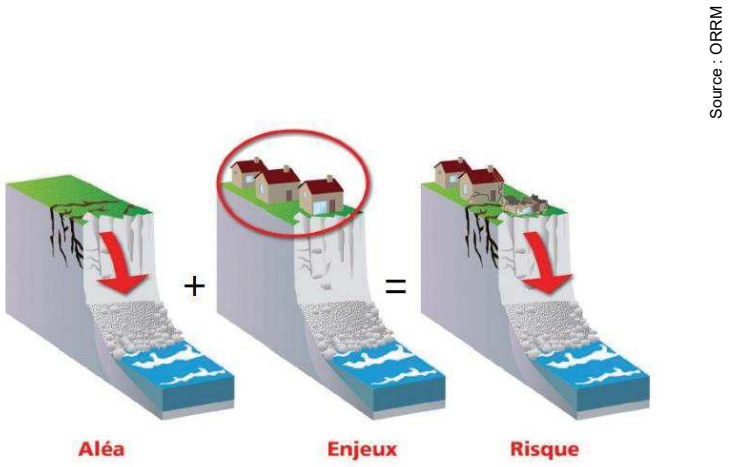


Illustration 1 : Schéma caractéristique du risque

Le " risque zéro " n'existe pas, c'est pourquoi il est nécessaire que la société augmente sa capacité à pouvoir intégrer, dans son fonctionnement, des perturbations telles que les aléas naturels ; c'est ce que l'on appelle la résilience.

Il est très difficile de réduire la probabilité ou l'intensité d'un aléa naturel comme il serait possible de le faire sur certains aléas industriels. De ce fait, pour réduire les risques, il convient d'agir sur les enjeux en supprimant ou en réduisant leur vulnérabilité face aux aléas. Ceci implique une bonne connaissance des phénomènes auxquels est soumis le territoire.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la politique nationale de prévention des risques naturels, les services de l'État élaborent des outils qui permettent de recenser et de communiquer cette connaissance relative aux phénomènes naturels.

C'est dans cette optique que la Direction départementale des territoires (DDT) du Territoire de Belfort a commandé au Cerema département laboratoire d'Autun, **la révision de l'atlas des mouvements de terrains** sur la totalité du département, réalisé initialement en octobre 2012. Cette étude permettra :

- de capitaliser la connaissance historique des phénomènes survenus (utilisation des données détenues par l'État, exploitation d'enquêtes faites auprès des collectivités) ;
- d'exploiter et éventuellement de compléter les inventaires départementaux réalisés par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) ;
- de définir et de qualifier des zones de susceptibilité d'aléas géologiques en exploitant les données disponibles ; la méthodologie de travail est décrite dans la suite de ce

rapport ;

- de proposer des stratégies d'aménagement adaptées à chacun des aléas.

L'objectif consiste à recenser, caractériser et hiérarchiser les principaux phénomènes présents sur le Territoire de Belfort, sous format S.I.G (Système d'Information Géographique) à l'échelle 1/25 000e, en incorporant, complétant et interprétant les données des inventaires précédents.

L'atlas cartographique ainsi composé est associé à une doctrine qui définit les préconisations en termes d'aménagement du territoire en fonction de la nature de l'aléa et de son niveau.

Ce document constitue un outil d'aide à la décision dans le cadre de la mise en œuvre de la politique de prévention des risques naturels, et dans l'aménagement durable du territoire.

Enfin, il permet à chaque citoyen d'avoir une connaissance plus fine des risques naturels de mouvements de terrains auxquels il peut être soumis.

Il peut utilement servir de base quant aux choix d'élaborer des P.P.R.N ou de réaliser des études spécifiques.

Le présent rapport s'articule en 5 parties :

- la politique de gestion des risques et la réglementation en vigueur (chapitre 2)
- le Territoire de Belfort, la zone d'étude, son histoire géologique (chapitre 3)
- la typologie des mouvements de terrains présents dans le Territoire de Belfort (chapitre 4)
- la méthodologie de cartographie des aléas (chapitre 5)
- les recommandations et propositions de mesures de prévention et règles de bonnes pratiques dans le cadre des procédures d'urbanisme (chapitre 6)

2 - La réglementation et gestion des risques naturels

2.1 - Le contexte politique et réglementaire

2.1.1 - La politique de prévention des risques

La politique actuelle de prévention des risques s'articule en sept phases :

1) **Connaître** les phénomènes en mettant en place des études ;
2) **Surveiller** les phénomènes afin de savoir quand déclencher une organisation de réponse optimale ;
3) **Informer** l'ensemble des acteurs, et notamment le public, afin que ce dernier adopte un comportement lui permettant de résister au phénomène en augmentant sa résilience ;
4) **Aménager** le territoire autant que possible en dehors des zones à risques ou a minima dans des zones de risques acceptables ;
5) **Réduire** la vulnérabilité des aménagements mais également des personnes afin que les événements à venir puissent être gérés sans dommage majeur ;
6) **Se préparer** à vivre un événement d'autant plus important qu'il sera rare. Cette préparation doit être opérationnelle à tout moment. Elle implique des exercices fréquents pour valider l'organisation du dispositif ;
7) **Comprendre** ce qu'il s'est passé et en tirer les leçons pour l'avenir.

2.1.2 - Les textes de lois

Les textes de lois, dont certains ont été réactualisés dans les lois grenelle 1 et 2, permettent la mise en place de la stratégie politique. Les plus rencontrés en termes de gestion des risques naturels sont ceux présentés ci-dessous.

- *La loi du 2 février 1995, dite « loi Barnier »*, codifiée dans le Code de l'Environnement, crée un outil spécifique à la prise en compte, à l'initiative du préfet, des risques naturels dans l'aménagement : les plans de prévention des risques (PPR), et son décret d'application du 5 octobre 1995. Elle prévoit également un fond de prévention des risques naturels permettant de financer, dans la limite de ses ressources, les indemnités en cas de catastrophe naturelle, l'acquisition de biens exposés à un risque, les études et travaux de prévention mais également les campagnes d'information.
- *La loi n° 2000-1208 du 13 décembre 2000, relative à la solidarité et au renouvellement urbain (SRU), codifiée à l'article L.121-1 du nouveau code de l'urbanisme (CU),* stipule que les documents d'aménagement (schémas de cohérence territoriale, plans locaux d'urbanisme et cartes communales) fixent les conditions de prise en compte de la prévention des risques, avec pour objectif de ne pas augmenter la vulnérabilité des zones déjà urbanisées, préserver les secteurs non urbanisés, ne pas créer de

nouveaux risques sur les secteurs voisins et réduire la vulnérabilité de l'existant en facilitant les conditions d'une vie normale.

- *La loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003, relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages*, vise à renforcer la concertation et l'information du public (développer la conscience du risque), maîtriser l'urbanisation dans les zones à risques, prévenir les risques à la source et mieux garantir l'indemnisation des victimes.
- *La loi n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile,* qui se substitue à la loi du 22 juillet 1987, relative à la sécurité civile, aux incendies de forêts et aux risques majeurs, affirme le droit des citoyens à l'information sur les risques majeurs, et en particulier les risques naturels prévisibles, auxquels ils sont soumis.
- *La loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement – Titre III – Article 36 (Loi Grenelle 1),* mentionne que la réduction des atteintes à l'environnement contribue à l'amélioration de la santé et à la compétitivité des entreprises. La mise en œuvre de la politique de prévention des risques sera fondée sur les principes de précaution, de substitution, de participation et de pollueur-payeur, codifiés aux articles L 110-1 et L 110-2 du code de l'environnement.
- *L'article L563-6 du Code de l'environnement,* stipule que les communes élaborent des cartes délimitant les sites où sont situées des cavités souterraines et des marnières, que toute personne qui a connaissance de l'existence d'une cavité souterraine ou d'une marnière en informe le représentant de l'État et que celui-ci doit publier l'information.
- *Le décret 90-918 du 11 octobre 1990, modifié par le 2004-554 du 9 juin 2004,* définit dans le détail la mise en œuvre du droit à l'information sur le risque d'effondrement de cavités.
- *L'article 2 – I du décret 2004-554 du 9 juin 2004,* punit d'une contravention de 3e classe le refus par une personne physique ou morale de transmettre copie au maire des documents ayant trait à l'existence d'une cavité souterraine ou d'une marnière dont l'effondrement est susceptible de porter atteinte aux personnes et aux biens.
- *L'article L562-4 du Code de l'environnement,* stipule que le plan de prévention des risques naturels approuvé vaut servitude d'utilité publique. Il est annexé au plan d'occupation des sols, conformément à l'article L. 126-1 du code de l'urbanisme, et fait l'objet d'un affichage en mairie et d'une publicité par voie de presse locale en vue d'informer les populations concernées.
- *L'article R111-2 du code de l'urbanisme,* précise que le projet peut être refusé ou n'être accepté que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales, s'il est de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique du fait de sa situation, de ses caractéristiques, de son importance ou de son implantation à proximité d'autres installations.

2.2 - L’atlas dans la déclinaison de la politique de prévention des risques

Dans le cadre de la réglementation actuelle, l’atlas des secteurs à risque de mouvements de terrains du Territoire de Belfort ne constitue pas un document réglementaire. Cependant, il permet de mettre en place des mesures préventives au titre de l’article R111-2 du code de l’urbanisme.

Ce document permet de :

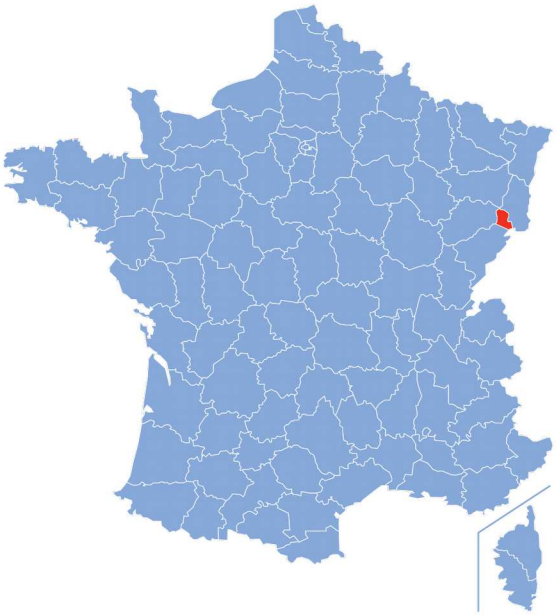
- synthétiser les connaissances des aléas sur le département,
- proposer, dans la mesure du possible, des mesures de prévention adaptées à ces aléas,
- communiquer ces connaissances auprès des autorités compétentes en vue d’une meilleure prise en compte des spécificités du milieu naturel dans l’aménagement du territoire (SCOT, PLU...) et dans l’étude des autorisations d’urbanisme (CU, PC…),
- choisir et donner les bases pour élaborer, si nécessaire, des plans de prévention des risques de mouvements de terrains,
- développer la culture du risque de l’ensemble des citoyens.

3 - Le département du Territoire de Belfort

3.1 - La zone d'étude

Le Territoire de Belfort est un département appartenant à la région Bourgogne-Franche-Comté et comprenant 101 communes. Ce département a majoritairement un caractère rural et compte 143 104 habitants en 2019, pour une superficie de 609 km². La préfecture est Belfort.

L'atlas a été réalisé pour l'ensemble du Territoire de Belfort, sans tenir compte de la fusion entre Meroux et Moval.



Source : Wikipedia

Illustration 2: Position du Territoire de Belfort

3.2 - La géologie du Territoire de Belfort

3.2.1 - Les grands ensembles géologiques (*source BRGM*)

Le Territoire de Belfort se situe à cheval sur 3 domaines géographiques et géologiques distincts :

- la partie montagneuse au Nord du Département est occupée par le socle du massif hercynien vosgien (ère primaire), formé d'une série volcano-sédimentaire. Ce socle est « traversé » par des granites intrusifs (massif granitique des Ballons) et des roches associées. En bordure Sud, on trouve le bassin permien de Giromagny.
- l'Est du territoire de Belfort est caractérisé par les hautes plaines du Sundgau, qui correspondent au domaine marginal du fossé Rhénan, ayant une surface ondulée à soubassement généralement rupélien (ère Tertiaire), recouvert de graviers pliocènes et quaternaires, et de loess.
- le Sud et l'Ouest du département sont caractérisés par une zone de transition entre

le Jura plissé et le fossé Rhénan. Ces collines pré-jurassiennes sont essentiellement constituées de calcaires et de marnes qui se sont formés du Keuper au Jurassique supérieur. Ces calcaires et ces marnes sont affectés par de nombreuses failles.

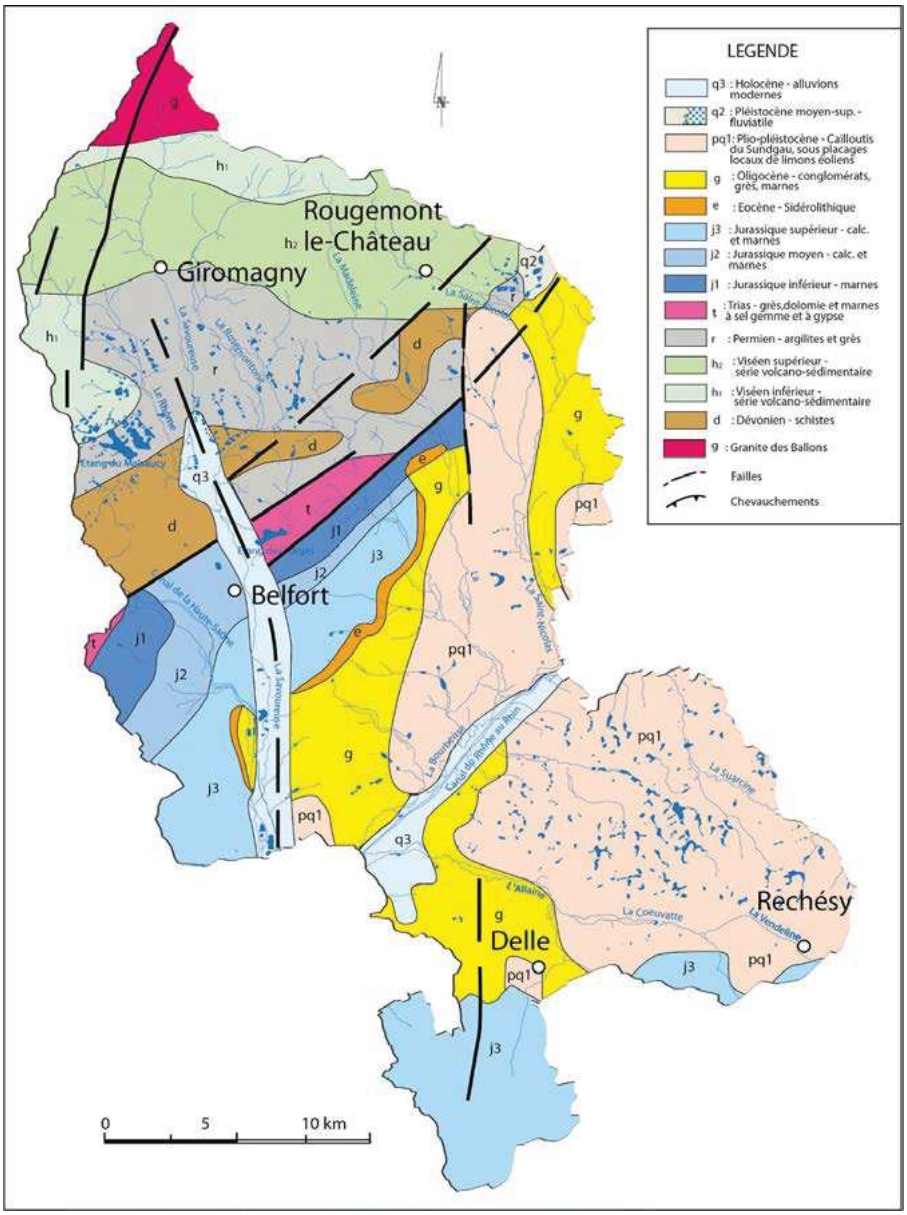


Illustration 3 : Carte géologique du Territoire de Belfort, d'après P. Rosenthal, 2003

3.2.2 - Histoire géologique du Territoire de Belfort (*d'après P. Rosenthal, 2003*)

Le Territoire de Belfort forme un espace naturel hétérogène qui découle d'une histoire géologique marquée principalement par des événements géodynamiques majeurs : pendant près de 400 Ma, deux cycles orogéniques se sont succédés (cycle hercynien, ou varisque, de 400 à 245 Ma ; cycle alpin, de 245 Ma à actuel), « marquant de leur empreinte les paysages, tant par la variété des roches rencontrées que par les déformations multiples

qu'elles ont subies, les formes de relief qui les affectent ou le degré de leur érosion ».

Les formations paléozoïques

Apparus au **Dévonien supérieur** (365 Ma), les schistes du Salbert témoignent d'un épisode tectonique compressif majeur. Au **Carbonifère inférieur** (330 Ma), apparaissent des épisodes volcano-sédimentaires, initiés par l'ouverture du bassin dinantien dans les Vosges du Sud, et donc témoignant d'une sédimentation marine associée à une activité volcanique sub-aquatique.

Entre ces 2 épisodes de dépôts, l'intensification de l'activité magmatique aboutit à l'intrusion du Granite des Ballons.

À la fin du **Carbonifère inférieur** (325 Ma), une phase tectonique majeure plisse les terrains, provoque des chevauchements ainsi qu'une émersion (mise en place de la chaîne hercynienne).

Au **Stéphanien** (Carbonifère supérieur), le jeu de failles en extension individualise un bassin houiller de nature fluvio-lacustre, dans lequel s'accumulent les produits de l'érosion de la chaîne (conglomérats, grès et pélites) et des niveaux de charbon.

Au **Permien**, les terrains sont recouverts en discordance par d'épaisses séries détritiques rouges provenant de l'érosion de sols formés sur les reliefs résiduels de la chaîne hercynienne.

Les formations mésozoïques et cénozoïques

Au **Trias inférieur** (251 Ma), le cycle orogénique varisque s'achève, relayé par les dépôts de grès continentaux, qui inaugurent le cycle alpin. Dès la fin du Trias inférieur, les roches qui vont se former seront presque exclusivement élaborées sous le niveau de la mer.

Ces terrains triasiques ont une grande importance dans l'histoire tectonique jurassienne, car ils correspondent au principal niveau de décollement de la couverture méso-cénozoïque au-dessus du socle.

Au **Jurassique** s'installe une sédimentation essentiellement carbonatée, constituée d'une alternance de calcaires et de marnes.

Ces formations jurassiques forment la majeure partie des collines pré-jurassiennes, et constituent une série de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur allant de l'Hettangien (199 Ma) au Kimméridgien supérieur (150 Ma).

À partir du **Crétacé**, et depuis plus de 80 Ma, la région reste émergée de façon quasi permanente, tandis que le socle et la couverture sédimentaire, situés en bordure de la collision alpine, subissaient des déformations majeures. D'abord en extension, la tectonique faille la région et ouvre des fossés d'effondrement comme le fossé rhénan.

À l'**Eocène** et **Oligocène** (50-30 Ma), la mer du Nord s'y introduit, déposant des sédiments littoraux variés (conglomérats, calcaires lacustres, marnes). De plus, les bords Est et Ouest du fossé rhénan se relèvent, entraînant une érosion de la couverture sédimentaire mésozoïque et la mise en relief du socle primaire.

Dès le **Pliocène** (5 Ma), les cailloutis du Sundgau recouvrent la majeure partie du fossé rhénan belfortain. Ces cailloutis sont caractérisés par des alluvions fluviatiles d'origine rhénane et vosgienne (galets de quartzites, radiolarites, roches magmatiques et grès dans

une matrice sableuse à sablo-argileuse).

Au **Quaternaire**, l'ensemble des terrains décrits précédemment sont en partie recouverts par des sédiments glaciaires et péri-glaciaires vosgiens.

Dans la partie vosgienne, l'empreinte des cycles glaciaires successifs affecte la morphologie des pentes et des vallées (reliefs adoucis des ballons, vallées glaciaires avec verrous, ombilics, arcs morainiques et deltas proglaciaires).

À l'Est du Territoire, les cycles glaciaires aboutissent au dépôt de limons éoliens plus ou moins carbonatés (loess et lehms).

La prédominance des carbonates dans la partie Sud du département, et leur émersion constante depuis le Crétacé conditionne une érosion par dissolution des calcaires fissurés, donnant un modelé typiquement karstique.

Dans les Vosges belfortaines et le Sundgau, les terrains siliceux moins perméables présentent une érosion accompagnée d'un dépôt fluviatile classique.

4 - La typologie des mouvements de terrains du Territoire de Belfort

Les mouvements de terrains sont des phénomènes naturels d'origines très diverses. Annuellement, ils provoquent, en moyenne, la mort de 800 à 1 000 personnes dans le monde et occasionnent des préjudices économiques et des dommages très importants (source MEDDE, dossier d'information « Les mouvements de terrain »).

Ils regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique. Les volumes en jeu sont compris entre quelques mètres cubes et des millions de mètres cubes. Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou très rapides (quasi-instantanés).

Cinq types d'aléas seront cartographiés dans l'atlas :

- les affaissements ou effondrements,
- les glissements de terrains,
- les éboulements et chutes de blocs ou de pierres,
- les érosions de berges,
- la liquéfaction des sols.

Pour chacun de ces aléas, le présent document s'attache à expliquer leurs causes, les risques qu'ils occasionnent et les événements survenus dans le département du Territoire de Belfort.

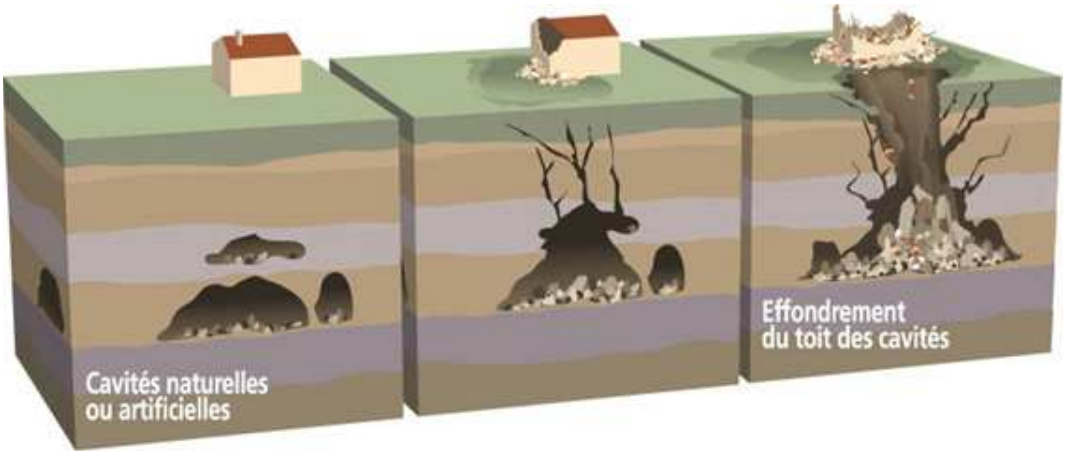
Ce document ne traitera pas du phénomène de retrait-gonflement des argiles, cartographié par le BRGM et dont les règles de bonne pratique sont imposées par la loi Elan.

4.1 - Les affaissements et effondrements

Un **affaissement** est une déformation souple, sans rupture, et progressive de la surface du sol. Elle se traduit par une dépression topographique en forme de cuvette généralement à fond plat et bords fléchis.

Un **effondrement** est un abaissement à la fois violent et spontané de la surface sur parfois plusieurs hectares et plusieurs mètres de profondeur, tout le terrain au-dessus de la cavité cédant d'un coup. La zone effondrée est limitée par des fractures sub-verticales. Les effondrements localisés donnent naissance à des fontis présentant une géométrie pseudo-circulaire dont le diamètre et la profondeur du cône peuvent aller de quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

Les affaissements et les effondrements surviennent au niveau de cavités souterraines, qu'elles soient d'origine anthropique (carrières, mines) ou naturelle (phénomènes de karstification ou suffosion). Ces cavités, souvent invisibles en surface, sont de taille variable (du mètre à la dizaine de mètres) et peuvent être interconnectées ou isolées.



Source : Graphique MTES

Illustration 4 : Création d'une cavité et effondrement

4.1.1 - Les causes

Parmi les causes provoquant la formation de cavités, on peut citer l'activité anthropique avec la création de carrières ou de mines, et l'action de deux phénomènes naturels que sont la karstification et la suffosion.

Mines et carrières

Dans l'exploitation de la ressource minérale, on distingue :

- ***les mines*** (à ciel ouvert ou souterraines), d'où l'on extrait des matériaux stratégiques (métaux tels le fer, l'or, le cuivre ou l'uranium ; combustibles tels le charbon, le pétrole et le gaz naturel ; sels telles la halite ou la potasse) ;
- ***les carrières*** (à ciel ouvert ou souterraines), qui exploitent des matériaux de construction (calcaire, craie, sable, gravier, argile, roches massives, gypse, etc.) et des matériaux dits « industriels » telle la silice.

Il existe de nombreux types d'exploitations, dont certaines sont présentées en Annexe 1. Sur le Territoire de Belfort, plusieurs types d'exploitations sont rencontrés :

- l'exploitation de carrière à ciel ouvert hors d'eau (calcaires et roches éruptives) ;
- l'exploitation minière souterraine (roches éruptives).

L'exploitation à ciel ouvert peut induire des mouvements de terrains de type éboulement ou glissement de terrains.

Étant donné que les mines sont du ressort du code miner et qu'une cartographie de l'aléa minier existe déjà, le présent « Atlas mouvement de terrains du Territoire de Belfort » traitera uniquement des cavités induites par les carrières.

La karstification

La karstification est le phénomène de dissolution de roches carbonatées ($CaCO_3$), de gypses ($CaSO_4$, $2H_2O$) ou de sels par des eaux chargées en dioxyde de carbone (CO_2).

Cette dissolution peut alors créer des vides souterrains que l'eau empruntera préférentiellement ; c'est ce qu'on appelle le réseau karstique.

Pour les carbonates la réaction de dissolution qui se produit est la suivante :

$$\mathbf{CaC0_3 + C0_2 + H_20 \longleftrightarrow 2(HC0_3^-) + Ca^{++}}$$

L'intensité de ce phénomène de dissolution dépend :

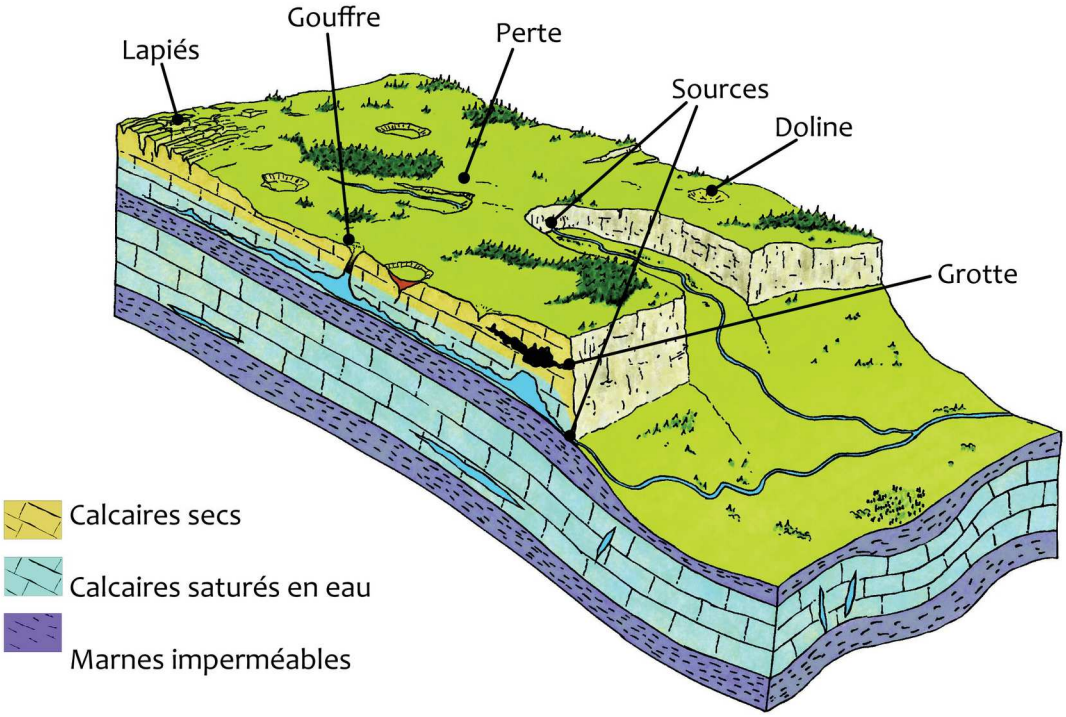
- <u>de la nature de la roche :</u> la solubilité de celle-ci dépend de ses caractéristiques physico-chimiques et de sa morphologie ;
- <u>de la teneur en CO_2 dans l'eau :</u> les eaux fortement chargées en CO_2 vont avoir un pH faible et vont plus facilement venir attaquer les carbonates de calcium ;
- <u>de la température de l'eau :</u> plus une eau est froide plus elle est capable de contenir des éléments dissous (CO_2, $CaCO_3$ …), ce qui jouera un rôle important sur le pH et dans le transport des carbonates vers l'extérieur du système ;
- <u>de la pression :</u> plus la pression est forte, plus il est possible de dissoudre des éléments ;
- <u>de l'abondance en eau :</u> elle va influer sur la surface de contact et permettre le transport des éléments dissous ;
- <u>du temps de contact de l'eau :</u> il faut un minimum de temps de contact entre le soluté et le solvant pour que la dissolution se fasse de façon optimale.

Ce phénomène de karstification est rapide par rapport à l'échelle géologique (quelques dizaines de milliers d'années) et permet la mise en place de faciès particuliers comme ceux décrits ci-dessous.

En milieu souterrain (**endokarst**) les faciès rencontrés sont sous forme de :

- rivières souterraines, galeries, siphons et parois déchiquetées pour les <u>réseaux actifs</u> ;
- grottes et concrétions (stalagmites, stalactites) pour les <u>réseaux fossiles</u>.

En surface (**exokarst**) les faciès rencontrés sont sous forme de dolines*, avens*, gouffres*, pertes*, épikarst (discontinuités superficielles), puits, lapiaz (ou lapiés c'est-à-dire fissures superficielles) et autres phénomènes (Illustration n°5).



Source : CPIE du Haut-Doubs

Illustration 5 : Paysage karstique

La suffosion

La suffosion est un phénomène mécanique, contrairement à la karstification, qui est un processus chimique. Elle correspond à l'érosion interne générée par des circulations d'eaux souterraines dans les formations sédimentaires meubles.

Des écoulements d'eaux souterraines peuvent, dans certains cas, provoquer l'entraînement des particules les plus fines (marnes, schistes, sables fins, silts...), favorisant ainsi le développement des vides. Les matériaux entraînés sont évacués soit par les fissures ouvertes d'un horizon rocheux proche, soit dans une cavité voisine : vide karstique, cave, ouvrage d'assainissement… (Illustration n°6).

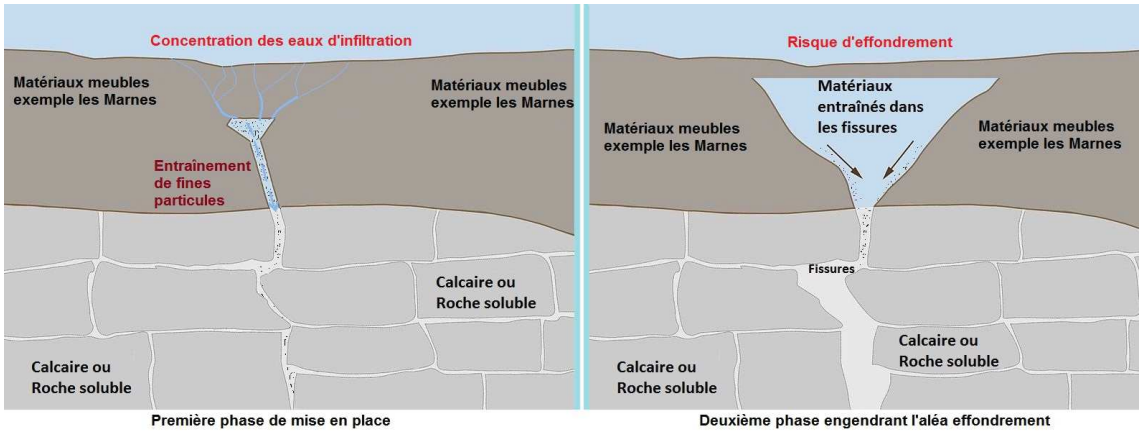


Illustration 6 : Schéma du principe d'entraînement des particules fines par suffosion

Exemple de morphologie induite par les mécanismes de karstification et de suffosion

L'endokarst est une partie qu'il est difficile à apprécier qualitativement et quantitativement étant donné son accès souvent compliqué. Bien que les spéléologues fassent un travail remarquable, il reste des endroits où les techniques actuelles ne permettent pas d'accéder aisément et sont donc mal connus.

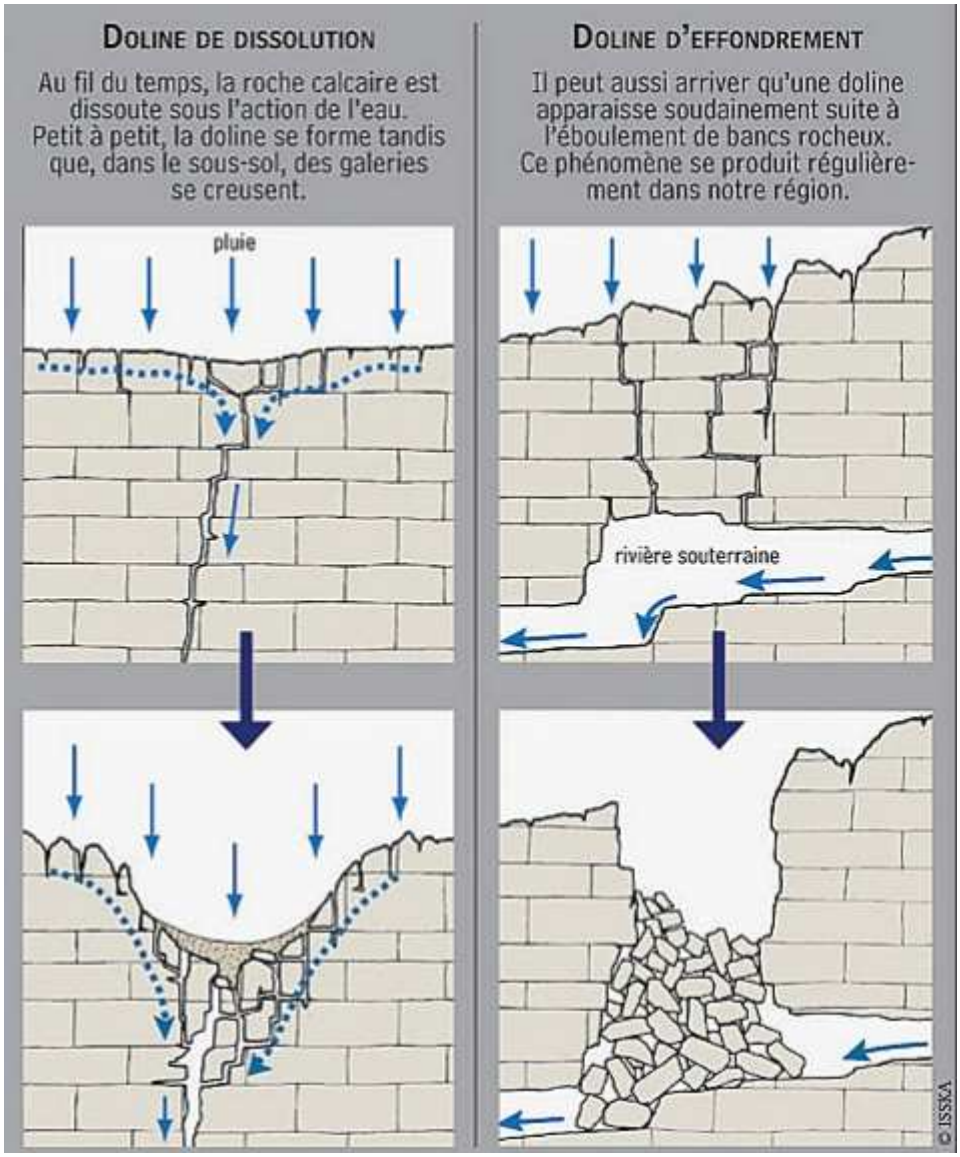
C'est dans ce contexte qu'il est important d'apporter une attention particulière au paysage en tant qu'exokarst, car il est le témoin du réseau souterrain.

Parmi les formes de l'exokarst, la **doline** est une des formes souvent rencontrées et ayant de nombreuses morphologies. Elle est définie comme étant une dépression topographique circulaire ou elliptique de surface dont les dimensions varient de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres.

Les dolines jouent un rôle important, en tant que point d'infiltration des eaux de surface, en apport d'oxygène et de nutriments pour la faune ou flore karstique. Elles témoignent de l'existence d'un réseau souterrain. Les réseaux karstiques, se trouvant dans les zones à forte densité de dolines, ont tendance à se comporter de la même façon qu'une rivière aérienne.

Il existe de nombreuses formes de dolines, mais il est possible de distinguer deux grandes familles suivant leurs mécanismes de formation :

- **les dolines dites d'effondrement** sont liées à la rupture du plafond d'une cavité lorsque la portée de la voûte dépasse sa capacité. Les bords y sont verticaux et le fond est occupé par de gros blocs de pierres et d'éboulis parfois raides provenant du toit effondré de la cavité ;
- **les dolines dites de dissolution et soutirage** résultent du soutirage de matériaux meubles ou de la dissolution lente et diffuse des roches calcaires par les eaux qui stagnent quelque temps après les averses aux abords d'un point absorbant.



Source : ISSKA

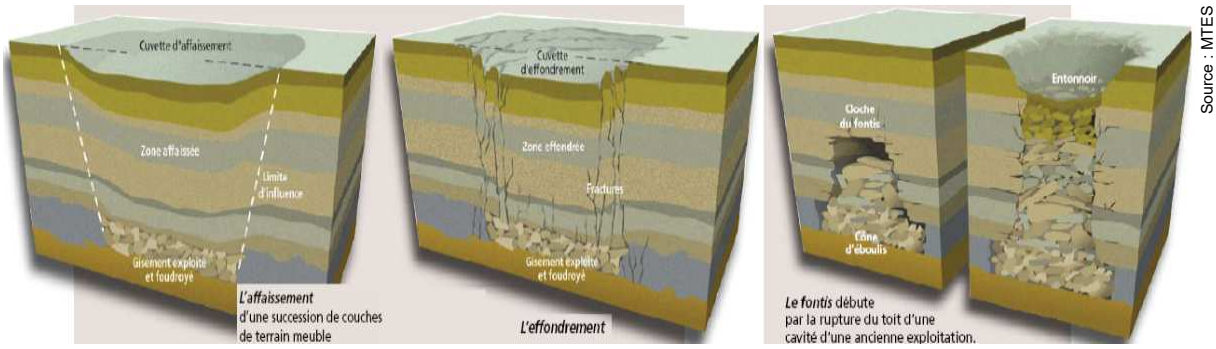
Illustration 7 : Dolines de dissolution et d'effondrement

4.1.2 - Les risques

Les emplacements de cavités représentent des zones de fragilité géotechnique (effondrement, mouvement de la couverture pédologique...). L'évolution naturelle de la cavité peut, petit à petit, mener à un point d'instabilité. Les cavités associées à un réseau de nappes doivent leur stabilité aux appuis et reports de charges sur les matériaux avoisinants, mais également à un maintien d'une teneur en eau minimum.

Suite à une modification de l'organisation de l'infiltration et du ruissellement, qu'elle soit naturelle ou anthropique (imperméabilisation des surfaces d'absorption, réactivation de dolines, colmatage de cavités ou injection d'eaux pluviales), le type de fonctionnalité de la cavité en place peut être transformé. Ces modifications fonctionnelles créent un déséquilibre de forces pouvant engendrer des affaissements et des effondrements (généralisés ou fontis)

qui auront pour conséquence la ruine de constructions et de possibles victimes (Illustration n°8).



Source : MTES

Illustration 8 : Affaissement, effondrement généralisé et fontis

L'action de l'eau peut fragiliser l'ensemble et contribuer au débourrage de matériaux argileux colmatant des conduits. Ce débourrage peut ainsi induire la création rapide de vides mais aussi de coulées boueuses.

Il est à noter que ces désordres n'ont souvent pas lieu dans les zones où les modifications ont été réalisées mais en périphérie ou en contrebas. D'où l'importance de ne pas se focaliser sur le terrain du projet mais d'élargir sa vision aussi à ses alentours.

De plus, la problématique de l'aléa affaissement-effondrement n'est souvent pas liée uniquement à l'aléa en lui-même. Les dolines ou les lieux d'effondrements liés à des cavités anthropiques, constituent des dépressions topographiques pouvant engendrer des problématiques de glissements ou d'éboulements sur les flancs de ces dépressions, mais également des problématiques d'inondation. Ces inondations karstiques peuvent se produire par accumulation des eaux de ruissellement ou par trop-plein et mise en charge des eaux du réseau karstique. Les zones de contact entre couche karstifiable (calcaire, gypse..) et couche imperméable (argile, marne,..) concentre les eaux soit au niveau d'un exutoire (source) soit au niveau d'une perte (doline, gouffre) et engendre souvent des inondations karstiques. Les secteurs concernés sont également très sensibles à la pollution des eaux. Une pollution extérieure peut ainsi passer très rapidement dans les conduits souterrains et se propager sur de grandes distances.

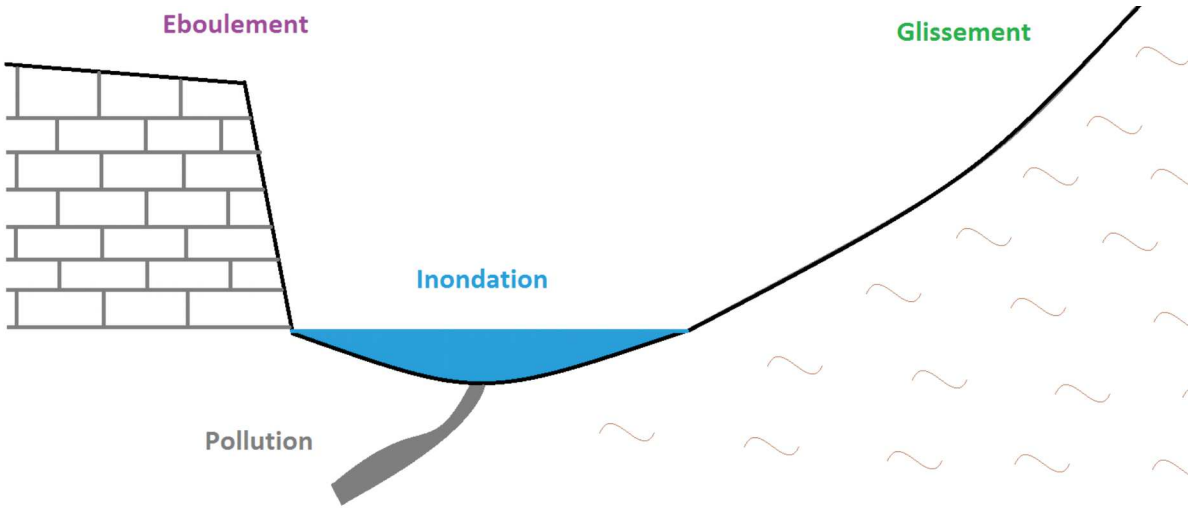


Illustration 9 : Aléas autres que affaissement et effondrement, associés à une dépression topographique

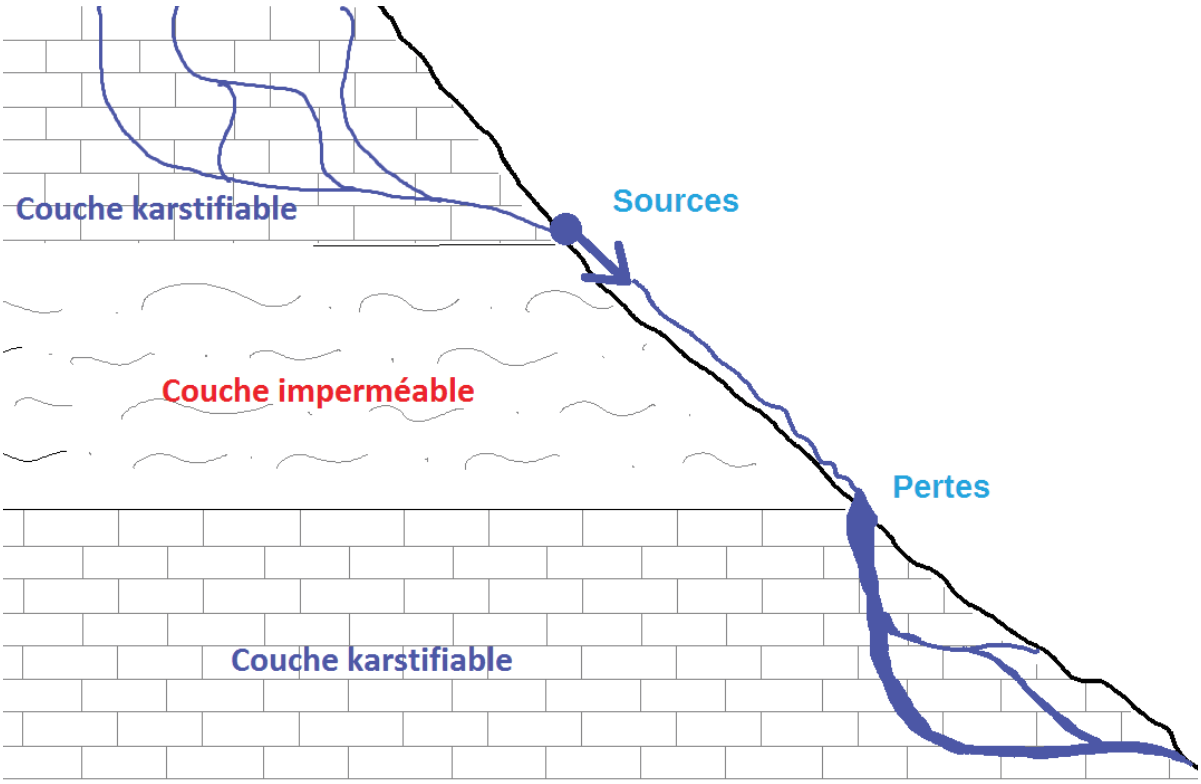


Illustration 10 : Schéma d'une zone de contact entre sol imperméable et karstifiable

L'extraction minière et l'exploitation en carrière peuvent également engendrer d'autres aléas tels que :

- les phénomènes hydrauliques qui, en perturbant les circulations d'eaux superficielles ou souterraines, peuvent modifier l'équilibre d'un bassin versant, créer de nouvelles zones inondables, amplifier des zones préexistantes ou assécher des terrains. Cette

modification hydraulique peut également engendrer **des mouvements de terrains**,

- les remontées de gaz de mine, potentiellement dangereux par leurs toxicités (monoxyde de carbone, dioxyde de carbone et sulfure d'hydrogène) ou par leur inflammabilité (méthane présent dans les mines de charbon et pouvant provoquer des « coups de grisou »),
- les pollutions des eaux et des sols par lessivage des roches dans les galeries (eaux de mine) ou lessivage des stériles par les eaux de pluie.

4.2 - Les glissements de terrains

Les glissements de terrains sont des déplacements à vitesse variable (quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) d'une masse de terrain le long d'une surface de rupture pouvant être circulaire ou plane. L'évolution des glissements de terrains peut aboutir à la formation de coulées boueuses dans la partie aval. Ces mouvements rapides d'une masse de matériaux remaniés peuvent être amplifiés lors d'épisodes pluvieux (Illustration n°11).

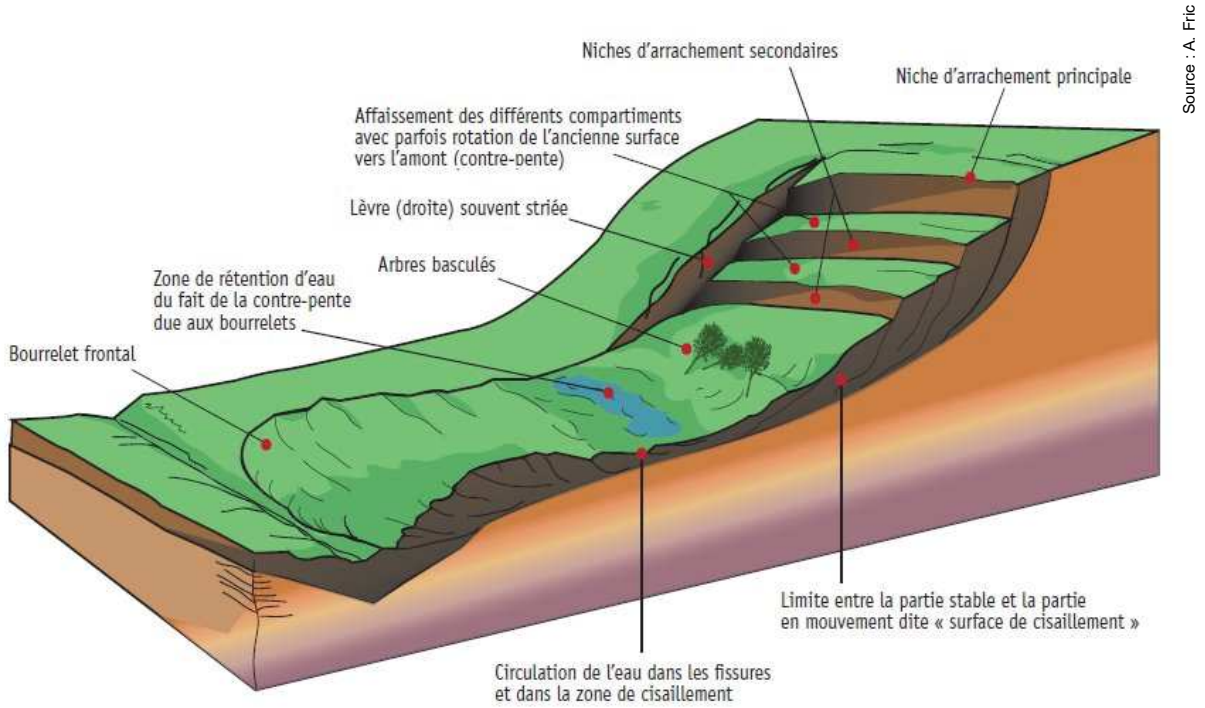


Illustration 11 : Schéma synthétique de glissement de terrains

L'extension des glissements de terrains est variable, allant du simple glissement de talus très localisé au mouvement de grande ampleur pouvant concerner l'ensemble d'un versant. Les profondeurs des surfaces de glissement varient ainsi de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres de profondeur.

Les glissements superficiels ont des signes visibles en surface souvent spectaculaires (fissures dans les murs des habitations, bourrelets dans les champs, poteaux penchés…), alors que les glissements profonds présentent moins d'indices observables et sont donc plus

difficilement détectables.

Trois types de terrains sont directement concernés par cet aléa dans le Territoire de Belfort :

- **les marnes** : roches sédimentaires contenant du calcaire et de l'argile (de 35 à 65 % d'argile) et se situant entre les calcaires argileux (de 5 à 35 % d'argile) et les argiles calcareuses (de 65 à 95 % d'argile) ;
- **les éboulis sur versant marneux** : rencontrés au pied des falaises calcaires et reposant, au moins en partie, sur un substratum marneux. Ils sont constitués d'éléments anguleux de taille variable et sont généralement fixés par la végétation et plus ou moins consolidés ;
- **les dépôts superficiels** : empilements de gravats et de cailloux, de tailles très variables, véhiculés par l'eau, qui se retrouvent déplacés à ses abords (moraines...).

Deux autres paramètres peuvent également influer sur la stabilité des pentes :

- **les zones de solifluxions** : écoulement lent, le long d'une pente, du sol superficiel gorgé d'eau, notamment en climat froid.
- **le fluage** : les roches se déforment sous une contrainte constante en fonction du temps. On dit qu'elles fluent. Le fluage peut être réversible (élastique) si la contrainte cesse ; au-delà d'un certain temps, la déformation peut être permanente ; dans un troisième temps il peut y avoir cassure.

4.2.1 - Les causes

Les conditions d'apparition du phénomène de glissement sont essentiellement liées à la nature géologique, la présence d'eau et la pente. Les phénomènes de solifluxion et de fluage y sont souvent associés.

Les matériaux affectés sont très variés (marneux ou schisteux, formations tertiaires altérées, colluvions fines, moraines argileuses, etc) mais globalement la présence d'argile en forte proportion est toujours un élément défavorable compte tenu de ses mauvaises caractéristiques de stabilité. La saturation des terrains en eau (présence de sources, fortes précipitations, fonte brutale des neiges) joue un rôle moteur dans le déclenchement des glissements de terrains.

Les zones de marnes en pente, d'éboulis sur versant marneux et de dépôts superficiels ou de solifluxions sont « relativement » stables en milieu naturel, mais leur stabilité est fortement remise en cause à la suite :

- d'interventions humaines par la réalisation de terrassements, tranchées, talus ou remblai (surcharge en tête d'un talus ou d'un versant déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice). Cela est d'autant plus notable pour une couche marneuse du fait de son altération rapide lorsqu'elle est soumise aux conditions météorologiques ;
- de l'évolution hydrologique du bassin versant. Les variations de pluviométries, l'érosion, l'urbanisation, les rejets d'eau, le déboisement, certaines pratiques culturales ou le changement climatique peuvent avoir un impact sur les écoulements des eaux et modifier le réseau hydrographique en concentrant les eaux en certains points ;
- de fortes pluies, de la fonte des neiges qui entraînent une augmentation des pressions interstitielles, de l'affouillement des berges, de l'effondrement de cavités

sous-minant le versant ou de séismes.

4.2.2 - Les risques

Du fait des fissures, des déformations et des déplacements en masse, les glissements peuvent entraîner des dégâts importants aux constructions. Dans certains cas, ils peuvent provoquer leur ruine complète (formation d'une niche d'arrachement d'ampleur plurimétrique, poussée des terres incompatible avec la résistance mécanique de la structure). Certains glissements peuvent être de grandes envergures comme celui de Dourbes dans les Alpes de Haute Provence.

Source : France 3

Illustration 12 : Glissement et coulée de boue à Soulce-Cernay (25)

Il est à noter qu'un terrain ayant déjà connu un glissement, même très ancien, est plus vulnérable et que tout aménagement dans cette zone est susceptible de le réactiver. C'est pourquoi il est très important de conserver la connaissance.

L'expérience montre que les accidents de personnes dus aux glissements et coulées sont peu fréquents, mais que les dégâts matériels sont très importants.

4.3 - Les éboulements et les chutes de blocs

Les chutes de masses rocheuses sont des mouvements rapides, discontinus et brutaux, résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides et fracturés tels que calcaires, grès, roches cristallines…

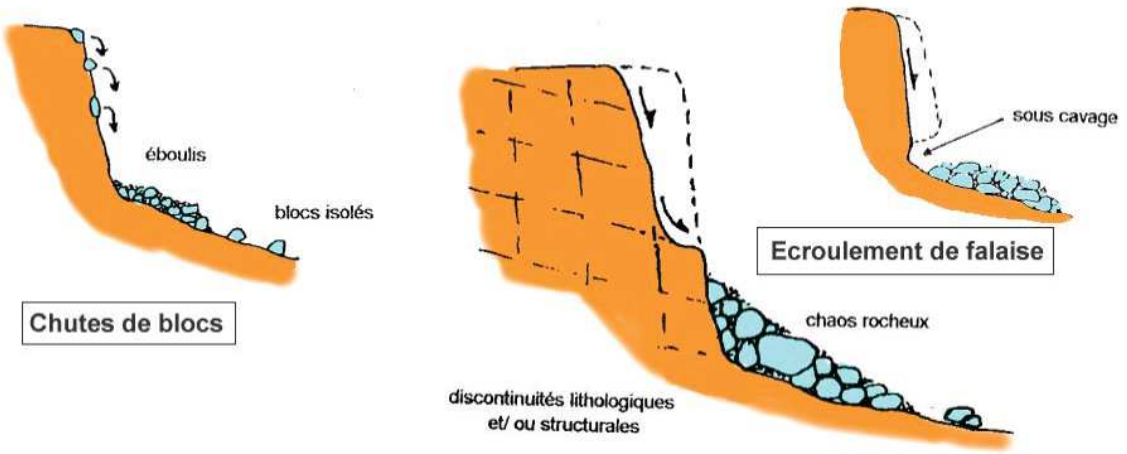
Ces chutes se produisent par basculement, rupture de pied, glissement banc sur banc, à

partir de falaises (escarpements rocheux), de formations meubles à blocs (moraines par exemple), ou de blocs provisoirement immobilisés sur une pente.

Les blocs peuvent rouler et rebondir, puis se stabiliser dans une zone dite d'épandage. La trajectoire la plus fréquente suit la ligne de plus grande pente, mais on peut observer des trajectoires très obliques résultant du changement de direction lors des rebonds.

Les distances parcourues ainsi que les trajectoires sont fonction de la forme, du volume des blocs éboulés, de la pente du versant, de la nature du sol (réflexion ou absorption d'énergie), de la densité de végétation et du type d'espèces végétales.

Le terme « écroulement de falaise » est utilisé lorsque une falaise est fortement sujette aux chutes de pierres et de blocs induisant ainsi la mise en place de chaos rocheux (Illustration n°13).



Source : BRGM

Illustration 13 : Mécanisme des éboulements

On distingue la classification suivante :

- les pierres, d'un volume inférieur à 1 dm^3,
- les blocs, d'un volume compris entre 1 dm^3 et 1 m^3,
- les gros blocs, d'un volume supérieur à 1 m^3.

Et celle définie dans la norme Afnor « NF P 95-307 » :

- chutes de pierres et de blocs si le volume total est inférieur à la centaine de m^3,
- éboulements en masse pour un volume allant de quelques centaines de m^3 à quelques centaines de milliers de m^3,
- éboulements en grande masse (ou écroulements) pour un volume supérieur au million de m^3.

4.3.1 - Les causes

Dans le cas de roches sédimentaires, la stratification accroît le découpage de la roche et donc les prédispositions à l'instabilité. La phase de préparation de la chute d'éléments rocheux est longue et difficile à déceler (altération des joints de stratification, endommagement progressif des roches qui conduit à l'ouverture limitée des fractures, etc).

Les principaux facteurs naturels déclenchants sont les pressions hydrostatiques, dues à la pluviométrie et à la fonte des neiges, l'alternance gel/dégel, la croissance de la végétation, les secousses telluriques, l'affouillement ou le sapement de la falaise.

Il est à noter que la densité, l'orientation des discontinuités, la structure du massif rocheux et la présence de cavités constituent des facteurs de prédisposition à l'instabilité.

Les zones susceptibles de recevoir des pierres et des blocs, en provenance d'une falaise, dépendent d'une façon générale de l'ensemble des paramètres suivants :

- la topographie du versant : pente douce ou abrupte, ruptures de pente, talwegs … ;
- la cinétique des blocs : liée à leur masse, à leur forme et à leur hauteur de chute ;
- la « texture » du versant : rocher affleurant, pente d'éboulis, terrains meubles ;
- la nature et la densité du couvert végétal : prairie, taillis, futaie …

4.3.2 - Les risques

Étant donné la rapidité, la soudaineté et le caractère souvent imprévisible de ces phénomènes, les instabilités rocheuses constituent des dangers pour les vies humaines, même pour de faibles volumes (chutes de pierres). Les chutes de blocs, et a fortiori les éboulements, peuvent causer des dommages importants aux structures pouvant aller jusqu'à leur ruine complète, d'autant que l'énergie (fonction de la masse et de la vitesse) des blocs est grande.

Source : Cerema

Illustration 14 : Éboulement du 17 février 2013 à Pesmes (70)

4.4 - Les érosions de berges

Les érosions de berges sont des phénomènes affectant la morphologie des berges et des bords de cours d'eau. Ces mouvements de vitesses variables peuvent entraîner des glissements de terrain ou des éboulements.

4.4.1 - Les causes

Les érosions de berges peuvent provenir de deux causes principales :

- la force érosive de l'écoulement des eaux, qui sape le pied des rives et conduit au glissement ou à l'éboulement de la berge par suppression de la butée de pied qui assurait l'équilibre,
- l'enfoncement des cours d'eau au fil du temps, qui conduit également au glissement ou à l'éboulement de la berge, du fait de l'augmentation de leurs pentes.

Ces phénomènes peuvent être accentués en cas d'épisodes pluviométriques intenses ou lors d'actions anthropiques (raidissement des berges, modification du lit naturel du cours d'eau, par exemple) ou animales (terriers).

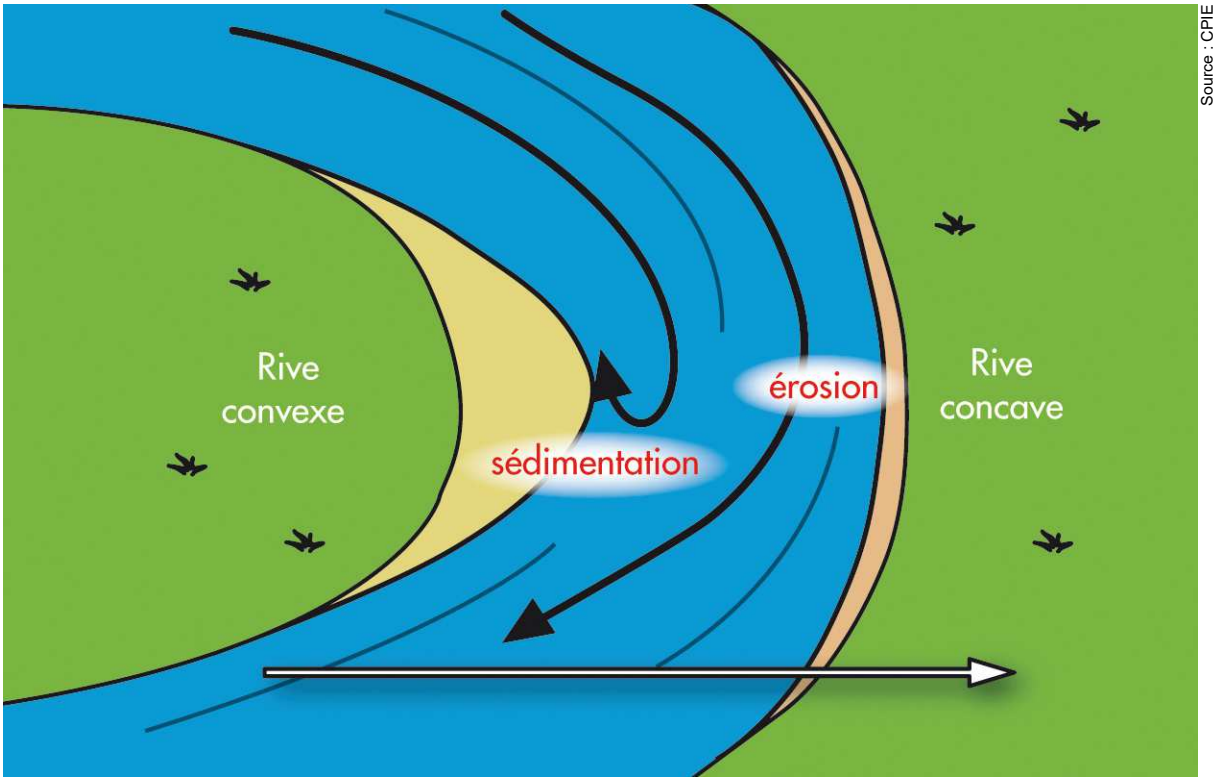


Illustration 15 : Principes de l'érosion des berges

4.4.2 - Les risques

Les berges s'érodant, elles sont alors sujettes aux glissements ou éboulements. Lors de glissements et éboulements brutaux, des vies humaines sont susceptibles d'être concernées. Les constructions peuvent être impactées dès lors que le phénomène de glissement ou d'éboulement se produit.

L'adaptation des techniques d'entretien des berges et une politique d'aménagement prenant en compte l'espace nécessaire à la vie du cours d'eau, peuvent considérablement réduire les risques.

Les Établissements Publics Territoriaux de Bassin (EPTB), les syndicats de rivière et d'autres structures travaillent sur cette thématique avec les communes et les communautés de communes afin de sensibiliser, entre autre, à la nécessité d'entretenir une végétation adaptée en bordure du cours d'eau (ripisylve). Dans le cadre de la Gemapi, les EPCI-FP peuvent être également concernés par ce phénomène.

Parmi les préconisations, il est conseillé d'éviter de laisser les arbres de grande taille pouvant provoquer une érosion brutale lors de leur chute.

Source : Cerema

Illustration 16 : Érosion de berges à Lods (25)

4.5 - La liquéfaction des sols

La liquéfaction des sols est un phénomène généralement brutal et temporaire, lié aux séismes, qui consiste en la perte de cohésion d'un sol saturé en eau.

4.5.1 - Les causes

Pour produire un phénomène de liquéfaction, une onde mécanique importante, généralement sismique, est nécessaire.

Le type de sol est un des facteurs importants de ce phénomène ; les formations sensibles à la liquéfaction sont les sables, limons et vases, généralement peu compacts et saturés en eau.

La présence de nappes souterraines à proximité ou dans ces sols est un facteur aggravant.

Illustration 17 : Exemple de liquéfaction

4.5.2 - Les risques

Étant donné la rapidité, la soudaineté et le caractère souvent imprévisible de ce phénomène, la liquéfaction des sols peut entraîner la ruine partielle ou totale des constructions, voire la perte de vies humaines. Elle provoque aussi l'enfoncement des constructions dans le sol.

Source : Wikhydro

Illustration 18 : Liquéfaction du port de Kobé (Japon – 1995)

5 - Les méthodologies de cartographie

5.1 - Zones de susceptibilité aux désordres d'origine karstique (affaissement – effondrement)

5.1.1 - Les données utilisées pour les affaissements et les effondrements

Bases de données existantes

- Les effondrements de la base de données sur les mouvements de terrain (BD-MVT)*
- Les cavités, grottes, gouffres, pertes, résurgences, entonnoirs, rivières souterraines de la base de données sur les cavités souterraines (BD-cavité)*. Pour mémoire, seules les cavités naturelles ont été répertoriées ; les galeries, puits, ouvrages civils et militaires n'ont pas été pris en compte.

Données géoréférencées par le Cerema à partir de la carte IGN au 1/25 000e (Scan 25) :

- dolines*[1],
- grottes*,
- autres indices (cuvettes et répartition anormale des lignes de niveaux)*.

Symboles	Légende
	Petite Cuvette
	Dépression, Doline
Grte	Grotte

Source : IGN

Illustration 19 : Exemples de symboles géoréférencés de la carte IGN

Pour information, les bosquets présents sur le Scan 25 n'ont pas été pris en compte. Après

1 *Définitions données dans le lexique

de nombreuses vérifications sur le terrain, il s'est avéré que le bosquet ne peut pas être considéré comme un indice karstique.

Données géoréférencées par le Cerema à partir de la carte géologique au 1/50 000e :

- dolines*,
- grottes*,
- pertes*,
- avens*,
- gouffres*,
- entonnoirs*.

Symboles	Légende
	Aven, Gouffre, Entonnoir
	Doline
	Perte
	Grotte

Source : BRGM

Illustration 20 : Exemples de symboles géoréférencés de la carte géologique

Enquête auprès des mairies

Lors de la réalisation du premier atlas mouvements de terrains de 2012, la DDT du Territoire de Belfort avait envoyé aux 102 communes du département un questionnaire pour recenser d'éventuels mouvements de terrains qui auraient eu lieu sur leur territoire.

De nouveaux indices ont été mis à jour à partir de cette enquête.

Pour la révision de cet atlas, de nouvelles demandes ont été réalisées, mais sans nouvel indice de répertorié.

5.1.2 - Méthodologie pour déterminer la susceptibilité à l'affaissement-effondrement

Toutes les données définies au §5.1.1, soit 285 indices ponctuels, ont servi à la cartographie du zonage « affaissement-effondrement ». Afin de mettre en évidence des zones plus ou moins sujettes aux affaissements et aux effondrements, un calcul de densité de ces indices a été réalisé à l'aide d'un système de quadrillage couvrant le département. Le quadrillage a été réalisé avec des mailles de 500 m de côté en utilisant le système de projection géographique « Lambert93 ».

Pour information, l'indice situé sur la commune de Lepuix a été enlevé, de par la quasi-certitude d'une origine minière.

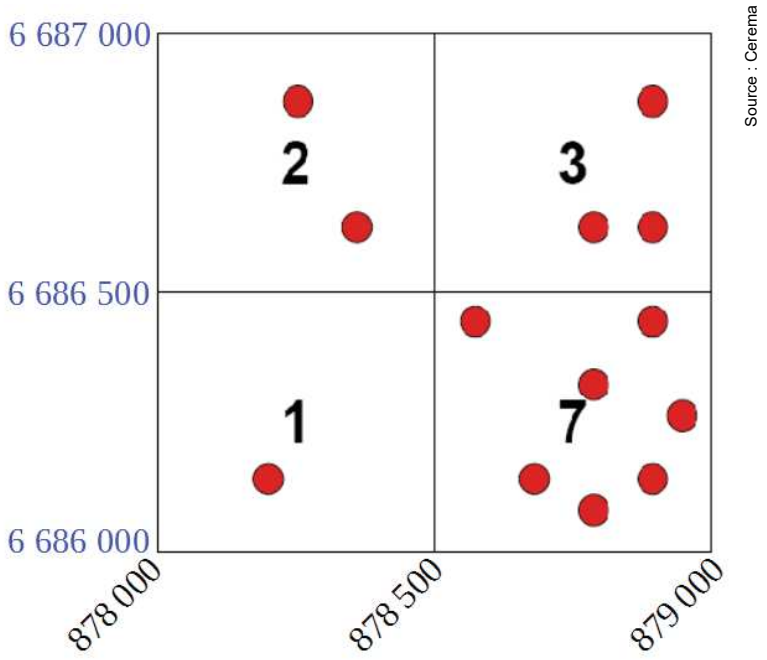


Illustration 21 : Principe de calcul de densité par maille

Le calcul de densité par maille fait apparaître des densités de 1 à 7 indices, la répartition de ces densités est représentée sur la courbe illustration n°22.

Cette courbe de répartition a permis de définir des seuils entre moyenne et forte densité d'indices en fonction des variations de la pente de la courbe.

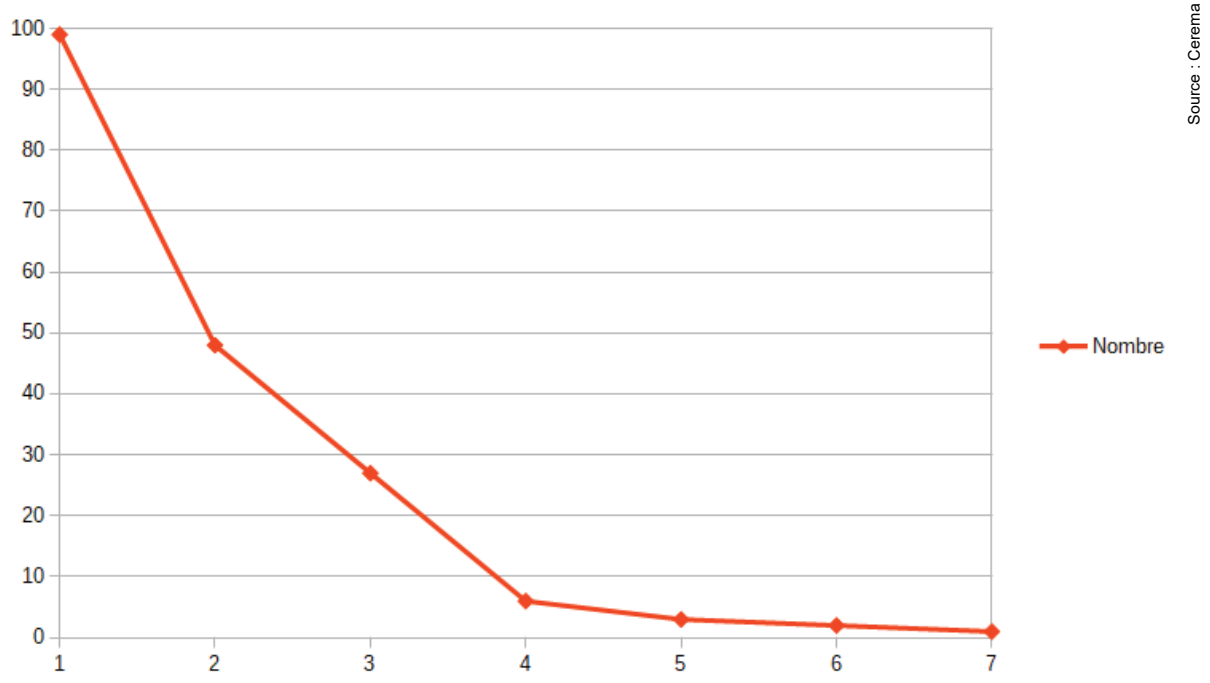


Illustration 22 : Courbe du nombre de mailles en fonction de la densité

Les seuils de densités par maille choisis sont les suivant :

Nombre d'indices	Niveau de densité
Indice isolé	Faible densité
De 2 à 3 indices	Moyenne densité
4 à 7 indices	Forte densité

Une fois les mailles réparties en faible, moyenne et forte densité, les contours ont été redéfinis manuellement en tenant compte des indices et de la lecture d'indices topographiques tels que les lignes de niveaux, fournissant des informations complémentaires sur les zones potentielles d'affaissements et d'effondrements et sur les phénomènes karstiques apparents.

5.2 - Zones de susceptibilité à l'éboulement

5.2.1 - Les zones d'éboulements avérés

Tout d'abord, les informations des éboulements avérés ont été récupérées et cartographiées à partir des données suivantes :

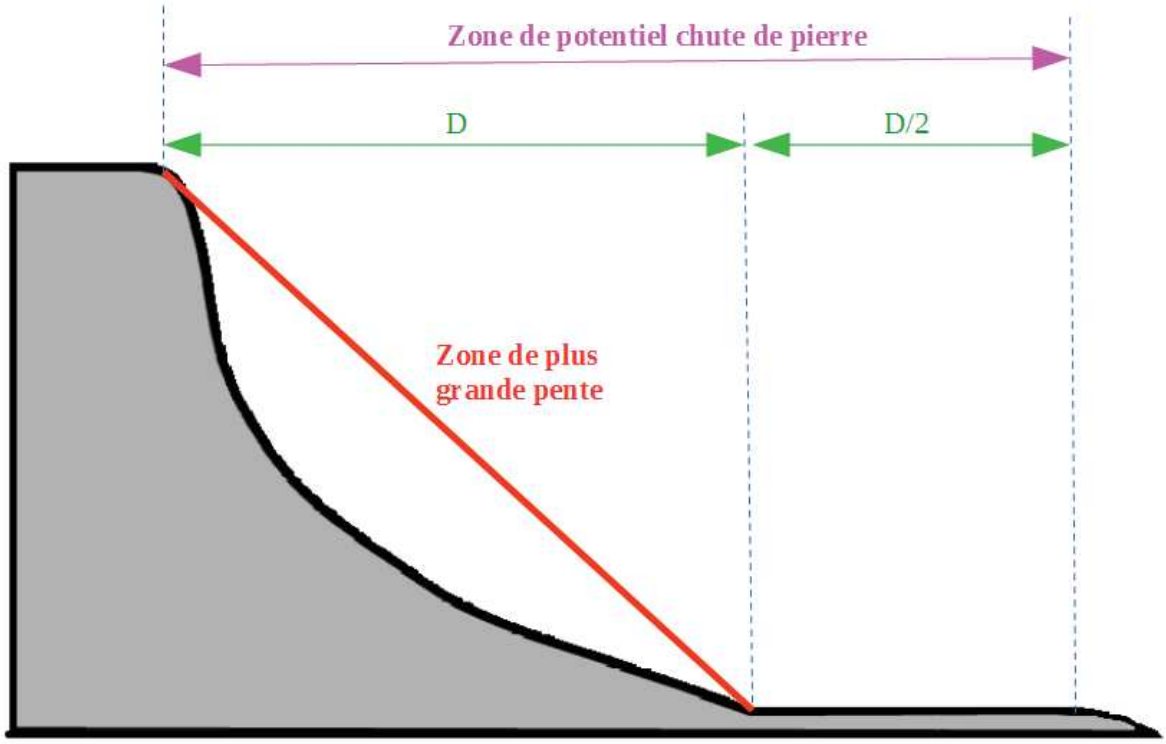
- éboulements provenant de la base de données sur les mouvements de terrain (BD-MVT) ;
- éboulements issus de l'inventaire auprès des communes.

5.2.2 - Méthodologie de cartographie de la susceptibilité à l'éboulement ou aux chutes de blocs

Les zones de susceptibilité aux éboulements ont été cartographiées en 2 étapes :

- cartographie à partir des éléments sur la carte IGN au 1/25 000e et confirmation ou infirmation à partir de visites sur le terrain ;
- estimation des zones potentielles de chutes de blocs à partir de la hauteur de la falaise et du positionnement des ruptures de pentes.

Dans l'illustration suivante, **D** correspond à la distance horizontale de la zone de plus grande pente et **D/2** est la distance horizontale divisée par 2. La zone de potentielle chute de pierre correspond à **D +D/2** soit **1,5D**.



Source : Cerema

Illustration 23 : Méthodologie de détermination de la zone de potentielle chute de roches

Afin de faciliter la détection des zones de falaise, la couche des pentes de terrains supérieure à 21°, employée lors de l'étude de la susceptibilité au « glissement de terrain » a été utilisée.

Ainsi les niveaux de susceptibilité à « éboulement » cartographiés sont les suivants :

Zones concernées	Niveau de susceptibilité
zones d'éboulements avérés	Susceptibilité forte
zones de falaises	Susceptibilité forte
zones de potentielle chute de blocs	Susceptibilité forte

5.3 - Zones de susceptibilité aux glissements de terrain

5.3.1 - Les zones de glissements avérés

Les informations concernant les glissements avérés ont été récupérées et cartographiées à partir des données suivantes :

- zones d'éboulis de la carte géologique au 1/50 000e ;
- zones de glissement ancien de la carte géologique au 1/50 000e ;
- zones de solifluxion de la carte géologique au 1/50 000e ;
- glissements de la base de données sur les mouvements de terrain (BD-MVT).

Ainsi, pour les glissements avérés, la susceptibilité sera considérée comme très forte, et cartographiée dans l'atlas en surimposition aux zones définies selon les pentes (cf §5.3.2)

5.3.2 - Méthodologie de cartographie de la susceptibilité aux glissements

D'une part, les couches géologiques indiquées au tableau ci-dessous, extraites des couches utilisées par le BRGM, pour établir en 2010 la cartographie de l'atlas retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Territoire de Belfort, ont été identifiées comme des terrains potentiellement sujets aux glissements de terrains. Cette sélection a pu se faire par l'identification de la nature géologique des terrains et par le retour d'expérience sur les différents comportements des sols lors de travaux dans ces secteurs géologiques.

Notation	Formation
E	Eboulis
C	Colluvions de fond de vallons et formations de versants
S/g2	Formation de solifluxion sur marnes oligocènes
DM	Drumlins ou moraines
Fw-x-y	Alluvions anciennes
G – FG	Formations glaciaires et fluvio-glaciaires du Pléistocène
LP	Limons des plateaux, loess, lehms

Notation	Formation
e7-g1	Marnes altérées du tertiaire indifférencié du Fossé rhénan (Eocène à Oligocène)
j5-6	Calcaires argileux et marnes (Oxfordien moyen – Kimméridgien)
j4-5	Alternance de calcaires et de marnes (Callovien – Oxfordien inférieur)
j3	Marnes à rhynchonelles (Bathonien)
j2c	Alternance de calcaires argileux et de marnes, calcaires oolitiques et bioclastiques (Bajocien supérieur)
l4	Marnes grasses et schistes (Toarcien)
l2-3	Faciès marneux (Sinémurien – Pliensbachien)
t6-7	Marnes rouges et irisées (Trias)
t3	Marnes grises (Muschelkalk)
rB	Siltites argileuses rouge (Permien)

D'autre part, une carte des pentes des terrains du département a été réalisée à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de maille 25 m de l'IGN.

Ces pentes ont alors été classées en 4 familles :

- de 0 à 8°,
- de 8 à 14°,
- de 14 à 21°,
- au-delà de 21°.

Pour finir, le niveau de susceptibilité a été déterminé graphiquement en croisant les valeurs de pentes avec les couches sujettes aux glissements de terrains. Le tableau ci-dessous indique les niveaux de susceptibilités résultants, pris en compte dans la cartographie de l'atlas.

Pentes des couches sujettes aux glissements de terrain	Niveaux de susceptibilité au glissement
de 0 à 8 °	Susceptibilité faible
de 8 à 14 °	Susceptibilité moyenne
de 14 à 21 °	Susceptibilité forte
plus de 21 °	Susceptibilité très forte

5.4 - Zones de susceptibilité à l'érosion de berges

Seules les données qui suivent ont été reportées sur l'atlas mouvement de terrain du Territoire de Belfort :

- érosion de berges de la base de données sur les mouvements de terrain (BD-MVT).

De ce fait, l'aléa « érosion de berges » cartographié est le suivant :

Zones concernées	Niveau d'aléa
zones d'érosion de berges	aléa fort

5.5 - Zones de susceptibilité à la liquéfaction des sols

Pour l'aléa liquéfaction des sols, ce sont essentiellement les zones humides, terrains les plus propices à ce phénomène, qui ont été répertoriés.

Les zones humides considérées sont extraites de l'inventaire de la DREAL (2017), basé sur la cartographie homogénéisée des habitats naturels de Franche-Comté.

De plus, les formations géologiques indiquées au tableau ci-dessous ont été identifiées comme des terrains potentiellement sujets à la liquéfaction.

Notation	Formation
T	Tourbe
Fz	Alluvions récentes sablo-limoneuses et formations colluviales et alluvions peu élaborées des vallées secondaires (Würm à Holocène)

Pour finir, le niveau de susceptibilité a été déterminé graphiquement en concaténant les formations géologiques identifiées avec les zones humides prises en compte, puis en croisant les zones retenues avec les niveaux de sismicité les concernant. Les niveaux de sismicité pour les communes du département du Territoire de Belfort sont représentés dans l'illustration 24.

Le tableau ci-dessous indique les niveaux de susceptibilités pris en compte dans la cartographie de l'atlas.

Zones de sismicité	Niveau d'aléa
Zone 4	Aléa moyen
Zone 3	Aléa modéré

Source : Cerema

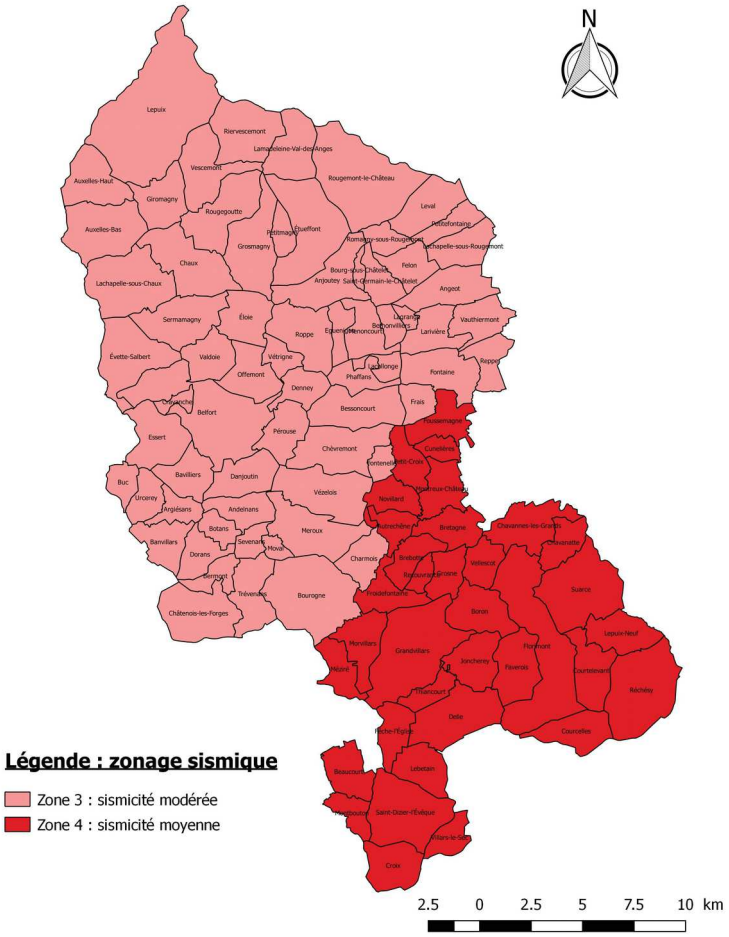


Illustration 24 : Cartographie de l'aléa sismique du Territoire de Belfort

6 - Recommandations et propositions de mesures de prévention et règles de bonnes pratiques dans le cadre des procédures d'urbanisme

6.1 - Préambule

Les mouvements de terrains cartographiés et présentés dans les chapitres précédents sont des phénomènes naturels, dont la probabilité d'occurrence et l'intensité sont difficiles à réduire. Afin de limiter les risques, il convient donc d'agir sur les enjeux et leur développement.

L'exploitation de cet atlas départemental ne peut en aucune manière engager la responsabilité de l'État. En effet, le document est élaboré à partir des éléments de connaissance non exhaustifs détenus par les services ou communiqués par les collectivités. Il est, par ailleurs, établi à l'échelle départementale sans précision à la parcelle. **Les porteurs de projet (collectivités, particuliers, maîtres d'œuvre) doivent mener toutes les investigations préalables nécessaires à la bonne prise en compte des sujétions géologiques dans la conception des ouvrages ou dans leurs études (planification par exemple).** Le lecteur prendra connaissance des informations données dans le présent chapitre applicable au Territoire de Belfort.

Les mesures, détaillées dans le présent chapitre, permettent, en revanche, d'éclairer les autorités compétentes en matière d'aménagement du territoire (études de projet, études d'urbanisme …).

L'atlas permet également d'informer les citoyens sur les mouvements de terrains auxquels ils peuvent être confrontés.

Ce document sera également très utile aux porteurs de projets (collectivités, particuliers, maîtres d'œuvre) pour acquérir les premières connaissances relatives aux spécificités locales du milieu naturel.

Lorsqu'un secteur empiète sur deux zones de mouvements de terrains différents, les deux mouvements de terrain seront à pendre en compte. De plus, si un secteur empiète, pour un mouvement de terrain donné, sur deux zones d'intensités différentes, la zone la plus contraignante sera à considérer.

Les recommandations et propositions qui suivent ne sont pas réglementaires. Malgré cela, conformément à l'article R111-2 du code de l'urbanisme, *« le projet peut être refusé ou n'être accepté que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales s'il est de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique du fait de sa situation, de ses caractéristiques, de son importance ou de son implantation à proximité d'autres installations »*.

Les autorités compétentes peuvent donc refuser un projet ou émettre des prescriptions particulières pour l'autoriser. Ces prescriptions sont par exemple, la réalisation d'une étude géotechnique appropriée (précision partie 6.2), la production d'une étude de faisabilité, l'adoption de dispositifs de réduction de la vulnérabilité ...

Le document n'étant pas opposable, si le porteur de projet ne respecte pas scrupuleusement les grands principes édictés dans ce document, il devra alors apporter la preuve que son projet (construction, ouverture à l'urbanisme) est acceptable vis-à-vis de la thématique des mouvements de terrains. Pour ce faire, une étude réalisée par un spécialiste devra permettre de :

- recenser et évaluer avec précision les différents risques géologiques et hydrauliques associés auxquels le territoire d'étude est soumis ou apporter la preuve de l'inexistence de risque géologique ;
- prouver que le projet intègre parfaitement la problématique des risques et conduira à garantir la sécurité des personnes et des biens (en périphérie du projet ou pour la zone de projet) ;
- prouver que le projet n'aura pas d'impact négatif sur le milieu naturel proche ou éloigné (stabilité des sols, fonctionnement hydraulique, pollution du milieu, etc.).

Ce type d'étude peut également être demandé pour les projets acceptables au regard de la partie du chapitre 6 ci-après.

Des informations utiles sont également présentes sur le site suivant :

- www.georisques.gouv.fr/

Les chapitres suivants reprendront pour partie les éléments notifiés dans le **Guide de recommandations pour l'instruction du droit des sols et la planification du territoire**, et qui a pour but d'harmoniser les pratiques à l'échelle de la région Bourgogne-Franche-Comté.

6.2 - Qu’est-ce qu’une étude géotechnique

Une étude géotechnique a pour objectifs d’attester de la non vulnérabilité de la construction, ainsi que des habitations voisines, à tous les risques naturels à court et à long terme. Si toutefois des vulnérabilités sont détectées, cette étude devra également proposer des dispositions constructives ou des infrastructures permettant de s’adapter au terrain. Le choix de ces infrastructures, qui devront être efficaces, devra se faire en veillant à ne pas impacter de façon démesurée l’environnement (eau, paysage...).

Ces études sont réalisées par un géotechnicien d’un bureau d’études spécialisé au moyen d’enquêtes, de sondages et d’essais se rapportant au sol de fondation ; elles sont destinées à fournir et à interpréter les données (physiques, mécaniques, hydrogéologiques) indispensables à la compréhension du sol et donc à l’anticipation des aléas lors de la conception ou lors de la vie d’un ouvrage. Une étude géotechnique peut également permettre de poser un diagnostic face à un aléa dans l’objectif de définir les techniques d’entretien ou les ouvrages adaptés à la mise en sécurité du secteur.

La réalisation d’une telle étude est à prévoir **au moment du projet** car, comme mentionné ci-dessus, des essais et investigations peuvent être nécessaires afin de comprendre le mécanisme du sol. Ces investigations nécessitent parfois un suivi sur au moins un an pour pouvoir avoir des mesures en période sèche et pluvieuse.

Le contenu d’une étude géotechnique dépend bien évidemment de la nature des sols et de l’hydrogéologie de la zone du projet, ainsi que de ses environs qui seront ou pourront être impactés. La nature et le type de projet est également largement pris en compte, car la stabilité du terrain est directement liée aux sollicitations du projet induit par sa géométrie et ses techniques de mise en place.

En France, ***la norme NF P 94-500 de novembre 2013*** est le document de référence définissant le cadre réglementaire de travail du géotechnicien. Elle définit plusieurs types de missions géotechniques permettant au géotechnicien d’adapter son intervention en fonction du niveau d’avancement du projet et en fonction de la finalité recherchée par son étude. Ces missions se divisent en 5 grandes étapes :

- G1 : Étude géotechnique préalable ;
- G2 : Étude géotechnique de conception ;
- G3 : Étude géotechnique de réalisation (étude et suivi géotechniques d’exécution) ;
- G4 : Étude géotechnique de réalisation (supervision géotechnique d’exécution) ;
- G5 : Diagnostic géotechnique.

Beaucoup de sinistres géotechniques sont dus à l’absence ou à l’insuffisance d’étude, ou à l’absence d’une des missions géotechniques.

6.3 - Les zones soumises à l'aléa désordres d'origine karstique

Principes applicables à la totalité du chapitre 6.3 :

Les études géotechniques sont normalisées, mais cette norme est d'application volontaire, c'est-à-dire non obligatoire. Pour qu'elle soit appliquée par les bureaux d'étude, le Maître d'Ouvrage doit préciser dans son marché ou sa consultation que les études devront être menées en respectant la norme. Les éléments de mission sont donnés dans la partie 6.2 ; il est fortement conseillé de suivre l'ordre des missions lors d'un projet. Cependant, lorsque un mouvement de terrain a lieu, il est courant et préférable de commencer par une mission de type G5 pour réaliser un diagnostic, puis de reprendre une mission G1 lorsque un aménagement ou des confortements sont prévus. Les études géotechniques devront délimiter les secteurs où les constructions sont admissibles, définir les caractéristiques du sol, sa vulnérabilité face à l'aléa « affaissement – effondrement » et fournir les techniques constructives à adopter pour s'affranchir de l'aléa et assurer la pérennité des constructions et des secteurs périphériques. Elles devront également prouver que le projet est viable au regard de la sécurité des personnes et des biens (existants ou projetés) et au regard de la protection de l'environnement. Les services de l'État et communaux se réservent un droit de regard sur les études produites en particulier concernant l'objectif de résultat des-dites études.

L'étude géotechnique comprendra au minimum :

- une étude historique poussée de la zone, afin de mettre en évidence les différents aléas ayant déjà impacté le secteur, ainsi que les dates et méthodes d'exploitation dans le cas des carrières souterraines ;
- le positionnement des cavités potentielles, ainsi que les directions et les sens de circulation des eaux souterraines entre le projet et les exutoires (bien au-delà de la zone d'emprise du futur aménagement) ;
- la prise en compte de l'impact de l'aménagement sur les constructions existantes se situant au-dessus des circulations souterraines qui seront potentiellement modifiées par le projet ;
- l'examen de la structure géologique, hydrologique et géotechnique du sous-sol, pour estimer les potentialités d'aménagement et rechercher les anomalies structurales éventuelles ainsi que les cavités potentielles. Le choix de la profondeur et du nombre de forages devront se faire en fonction du projet et de la géométrie attendue des cavités afin de gérer au mieux le risque d'effondrement ;
- la faisabilité géotechnique du projet, y compris des aménagements de gestion des eaux (réseaux, bassins…).

La réalisation des éléments de mission donnés par la norme NF P 94-500, en respectant leurs enchaînements, devrait permettre de cibler les projets risqués vis-à-vis des aléas géotechniques. Pour les projets réalisables, la prise en compte de l'aléa, dans la conception et la vie de l'ouvrage, la particularité des sols permet d'éviter ainsi les sinistres.

L'étude doit prouver que le projet n'a pas d'impact préjudiciable sur les personnes, les biens (existants ou projetés) et les milieux (sol, sous-sol et eaux) et que les milieux n'impacteront en aucune façon le projet.

Infiltration dans les zones karstiques :

D'après le guide technique de 2009 « Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain », l'infiltration dans un milieu karstique est à proscrire. Les essais de perméabilité permettant d'évaluer la capacité d'infiltration des eaux de pluie sur des terrains imperméables, de type couverture karstique, ne seront pas retenus.

Une attention particulière est demandée dans les cas suivants :

- **l'évacuation des eaux pluviales ou usées** dans les secteurs concernés par l'aléa « affaissement – effondrement ». En effet, les écoulements d'eau ont une influence dans le développement des cavités (débourrage de conduits par exemple). Par ailleurs, les secteurs karstiques sont très vulnérables aux pollutions. Par conséquent, la gestion de ces écoulements doit être réalisée de façon soignée. Toutes les conduites des eaux pluviales ou usées, devront être étanches, leur pose réalisée de façon soignée et inspectée régulièrement, afin de garantir la pérennité des installations et l'absence de désordres locaux.

- **l'écoulement de surface,** qui ne doit pas (ou peu) être modifié (déplacement de fossés, changement de point de rejet…) ; l'infiltration des eaux usées et pluviales n'est tolérée qu'en l'absence d'une possibilité de raccordement sur un réseau et, si cette infiltration ne se traduit pas par une augmentation des risques. L'imperméabilisation et la concentration des eaux doivent rester limitées, des techniques de réemplois des eaux pluviales localement sont à préférer ainsi que l'utilisation de matériaux drainants.

- **l'infiltration directe dans des indices avérés** (failles, gouffres, dolines, pertes, etc.) reste en principe à proscrire si une solution alternative existe. Si ce n'est pas le cas, elle sera tolérée pour les petits projets sous les conditions suivantes :
    - le réseau karstique est capable d'absorber la quantité d'eau supplémentaire apportée par le projet ;
    - le point d'injection doit se trouver à plus de 10 m en aval de toute construction ou aménagement ;
    - l'injection doit se faire obligatoirement dans le substratum rocheux et non dans les terrains de couverture meubles de types éboulis, colluvions, moraines ou autre ;
    - l'injection doit se faire progressivement afin de ne pas saturer le réseau (présence d'un bassin écrêteur correctement dimensionné et isolé du sol) ;

- **le comblement, remblaiement d'indices karstiques** (failles, gouffres, dolines, pertes, etc.) est en principe à proscrire même avec des matériaux meubles ou perméables.

Dans chacun des cas cités ci-dessus, une étude réalisée par un spécialiste en hydrogéologie peut être demandée. Cette étude permettra de vérifier que le projet envisagé n'entraînera pas de conséquences négatives ni sur le plan géologique (par exemple, apparition de zones d'effondrement supplémentaires), ni sur le plan environnemental (par exemple, pollution du milieu).

Pour les aménagements autorisés, il est nécessaire de privilégier leur implantation hors zone d'aléa ou en aléa le plus faible.

Afin d'améliorer la gestion des aménagements vis-à-vis des risques tout en intégrant le concept de développement durable, quelques conseils sont délivrés ci-dessous :

- mise en place de méthodes de suivi collaboratif (commune, riverain, gestionnaire de canalisations, agriculteurs,…), par prise de photos avec échelle ou mesures topographiques, afin de suivre l'évolution des terrains et détecter des signes précurseurs avant l'incident ;
- aménagement raisonné des terrains naturels, agricoles ou des parcs ;
- gestion raisonnée et adaptée de la végétation afin de rendre les sols plus filtrants, de favoriser l'évapotranspiration et d'éviter l'imperméabilisation des sols ;
- mise en place de réseaux étanches et de qualité, destinés à la collecte des eaux usées et des eaux pluviales ;
- inspection des réseaux existants, et recherche d'un meilleur fonctionnement et d'une plus grande étanchéité ;
- développement des techniques de réemploi des eaux pluviales pour les eaux domestiques (arrosage, sanitaires…) ;

6.3.1 - Les indices avérés

Dans les zones d'**indices avérés** d'affaissement et d'effondrement, les recommandations sont les suivantes :

- ouverture à l'urbanisation : non
- nouvelles constructions (bâtiments divers, abris, auvents, piscines, équipements de service public …) : non
- extensions de bâtiment à proximité de l'indice : non
- terrains de camping caravaning et accueils des gens du voyage, avec installations associées : non
- entretien des bâtiments existants : l'entretien de l'existant est autorisé
- infiltration ou pompage : non si une solution alternative existe
- installations de fosse à lisier, stations de traitements de déchets, lixiviat : non

- comblement ou remblaiement : non, même avec des matériaux meubles ou perméables
- végétalisation accordée uniquement pour une végétation de petite taille (moins de 2 m de hauteur)

Il convient pour les indices avérés ponctuels, symbolisés par un point dans l'atlas, de considérer toute la surface de la dépression réelle auquel sera ajouté un périmètre de 20 m. Si cet indice a été comblé, les contours pourront être retrouvés par une étude d'anciennes photographies aériennes. Lorsque, malgré cela pour les dépressions comblées, aucune information sur leur géométrie n'est retrouvée, un contour déterminé à partir de la morphologie des indices proches et de même origine (source, effondrement, pertes…) pourra être appliqué.

Les nouveaux indices (effondrement, source…) seront assimilés à des indices avérés. Pour ces nouveaux secteurs, augmentés d'un périmètre de 20 m (périmètre de sécurité de l'indice), les principes formulés ci-dessus s'appliqueront également.

6.3.2 - Les zones à forte densité d'indices (hors des indices avérés présents dans ce zonage, augmentés d'un périmètre de 20 m autour de l'indice)

Dans ces zones les recommandations sont les suivantes :

- ouverture à l'urbanisation : non
- nouvelle construction : en principe non, mais admis :
    - pour certains projets impossibles à construire hors zone d'aléa ou en aléa plus faible, uniquement en dehors du périmètre de sécurité, (hangars agricoles ou forestiers, unités de méthanisation, pylônes, transformateurs centraux téléphoniques…)
    - si les projets n'accueillent pas de personne de façon permanente,
    - si une étude géotechnique est produite ; à défaut d'étude géotechnique, seuls les très petits projets tels que des abris de jardin, des auvents (< 10 m²) sont autorisés sans présence humaine permanente,
    - si la gestion des eaux est prise en compte,
- reconstruction de bâtiment admise :
    - si le sinistre n'est pas dû à l'aléa,
    - s'il n'y a pas d'augmentation des enjeux ou de la vulnérabilité,
    - si production d'une étude, intégrant également la gestion des eaux,
- extension de bâtiment à proximité de l'indice admise :
    - si elle est limitée à 20 m² d'emprise au sol cumulé par bâtiment, sans création de logement supplémentaire,
    - si production d'une étude d'aléa et d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.3 et définissant les zones constructibles, les mouvements de terrains prévisibles et les dispositions constructives

nécessaires ; l'augmentation de la vulnérabilité et des enjeux à surface équivalente n'est pas recommandée (exemple : augmentation du nombre de logements, transformation d'un garage en habitation, etc.),

    - l'étude devra inclure la gestion des eaux du projet et l'influence d'un éventuel rejet ou pompage sur le bassin versant karstique,

- entretien des bâtiments existants : l'entretien de l'existant est autorisé
- pompage, relèvement STEP :
    - à proscrire en règle générale, mais admis pour certains projets impossibles à construire hors zone d'aléa ou en aléa plus faible,
    - produire une étude,
    - signaler l'importance de la surveillance régulière d'éventuelles fuites d'eau,
- terrains de camping, caravaning et accueil des gens du voyage avec installations associées : non
- végétalisation : il n'y a pas d'interdiction ; les recommandations générales de taille sont appliquées (moins de 2 m de hauteur)
- piscine : en principe à proscrire du fait des risques de départs d'eau dans le milieu karstique
- fosse à lisier, stations de traitements de déchets : oui, sous réserve de porter une attention particulière à l'étanchéité.

6.3.3 - Les zones à moyenne densité d'indices (hors des indices avérés présents dans ce zonage)

Dans ces zones, les recommandations sont les suivantes :

- en l'absence d'étude géotechnique et hydrogéologique répondant aux exigences du paragraphe 6.3, la création de lotissements et la construction d'immeubles (bâtiment supérieur à un étage) ne sont en principe pas autorisés,
- nouvelles constructions :
    - oui, uniquement en dehors du périmètre de sécurité de l'indice et, si impossibilité de construire hors zone d'aléa ou en aléa plus faible,
    - produire une étude d'aléa et une étude géotechnique, incluant également la gestion des eaux du projet,
    - les pylônes, centraux téléphoniques, bâtiments agricoles et forestiers, et les transformateurs peuvent être également autorisés après production d'études,
    - les très petits projets (< 10 m²) sans présence humaine, sont dispensés d'étude,
- reconstruction de bâtiment :
    - pour une surface identique, peut être tolérée, si le sinistre n'est pas dû à l'aléa effondrement de terrain et après production d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.3,

    - l'augmentation de la vulnérabilité et des enjeux à surface équivalente n'est pas recommandée (par exemple augmentation du nombre de logements, transformation d'un garage en habitation, etc.),
    - l'étude devra inclure la gestion des eaux du projet et l'influence d'un éventuel rejet ou pompage sur le bassin versant karstique,
- extension de bâtiment à proximité de l'indice :
    - tolérée après production d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.3 définissant les zones constructibles et les dispositions constructives nécessaires,
    - l'étude devra inclure la gestion des eaux du projet et l'influence d'un éventuel rejet ou pompage sur le bassin versant karstique,
- entretien des bâtiments existants : l'entretien de l'existant est autorisé
- pompage, relèvement STEP :
    - également à proscrire sauf si elles ne peuvent pas être réalisées hors zone d'aléa ou en zone d'aléa plus faible,
    - produire une étude géotechnique,
- terrains de camping, caravaning et accueil des gens du voyage avec installations associées :
    - non sauf si impossibilité d'implanter hors zone d'aléa ou en zone d'aléa plus faible,
    - production d'une étude pour les bâtiments inclus dans le Permis d'Aménager,
- végétalisation : autorisée
- piscine : à proscrire sauf si réalisation d'une étude géotechnique intégrant les conséquences d'une fuite et les modalités de vidange,
- fosse à lisier, stations de traitements de déchets : oui sous réserve de porter une attention particulière à l'étanchéité.

6.4 - Les zones soumises au phénomène d'éboulement et de chutes de blocs

Les **zones potentielles de chutes de pierres et de blocs, comme les zones ayant déjà connu un éboulement,** affectent les biens mais aussi les personnes. Ces zones doivent en principe être strictement protégées de toute urbanisation nouvelle.

Les recommandations qui suivent valent également pour les constructions prévues en **bordure de falaise ;** il va de soi qu'un périmètre raisonnable en fonction du contexte devra être respecté. Une attention particulière devra se porter sur :

- la gestion de la végétation, en prévoyant un débroussaillage régulier de la falaise afin de ne pas amplifier la déstabilisation des blocs par les racines et en végétalisant le pied de talus si cela est possible afin de retenir les petits blocs. Ne pas faire de plantations nécessitant des interventions humaines fréquentes en pied de talus.
- la gestion des eaux usées et de ruissellement des nouveaux projets, en particulier en milieu karstique (l'apport d'eau en amont de la falaise favorise son érosion),

Pour tout aménagement ou mise en sécurité, **une étude de faisabilité face à l'aléa chute de bloc** réalisée par un spécialiste pourra être demandée. Elle contiendra a minima :

- un diagnostic de la falaise relevant les indices d'instabilité, les crevasses, la stratification, les fracturations, leurs orientations ainsi que leurs densités,
- les données caractéristiques de l'environnement : topographie, présence d'eau éventuelle, pente, présence de zones d'éboulis ou de pierriers,
- une étude trajectographique selon l'importance des volumes susceptibles de s'ébouler et de la pente de la zone en pied de falaise,
- des préconisations en matière de dispositifs adaptés à la réduction de la vulnérabilité :
    - adapter l'affectation des espaces intérieurs du logement en limitant les pièces à vivre côté façade exposée,
    - adapter l'utilisation de l'espace extérieur du logement (terrasse contre la paroi extérieure à l'abri des chutes de pierres ou de blocs),
    - éviter les ouvertures du côté de la face exposée,
    - gérer la végétation et prévoir un entretien régulier.
- la proposition et le dimensionnement du projet par lui-même et des ouvrages de protection à mettre en œuvre pour limiter la survenance d'un événement.

La règle générale est d'interdire toute constructibilité de la zone d'aléa avéré.

Les petits projets (par exemple les extensions de moins de 20 m²) et les piscines sont en principe à proscrire.

Les stations de pompage et de relèvement peuvent être tolérées après production d'une étude de faisabilité dressée par un bureau d'études spécialisé, décrite ci-dessus, et à condition qu'elles ne puissent pas être réalisées en dehors de ce zonage.

La reconstruction de bâtiments sinistrés peut être tolérée, si le sinistre n'est pas dû à l'aléa éboulement, et uniquement après la production d'une étude de faisabilité dressée par un bureau d'études spécialisé, décrite ci-dessus. L'augmentation de la vulnérabilité et des enjeux à surface équivalente n'est pas recommandée (par exemple augmentation du nombre de logements, transformation d'un garage en habitation, etc.).

Les extensions peuvent être réalisables sous réserve de ne pas augmenter les enjeux (par exemple augmentation du nombre de logements, transformation d'un garage en habitation, etc.).

Les extensions ne peuvent être tolérées qu'après production d'une étude de faisabilité dressée par un bureau d'études spécialisé, décrite ci-dessus. Ces études ont pour objectif de réduire la vulnérabilité (exemple : pas de création d'ouverture face à l'amont de la pente, pas de chambre côté falaise…).

L'entretien classique des bâtiments est autorisé.

6.5 - Les zones soumises au phénomène de glissement de terrain

Principes applicables à la totalité du chapitre 6.5 :

Les études géotechniques décrites sont normalisées (cf 6.2). Les éléments de mission sont donnés au paragraphe 6.5. Ces études géotechniques devront délimiter les secteurs où les constructions sont admissibles, définir les caractéristiques du sol, sa vulnérabilité face à l'aléa glissement de terrain et fournir les techniques constructives à adopter pour s'affranchir du risque, assurer la sécurité des personnes et des biens et assurer la pérennité des constructions et des secteurs périphériques. Une telle étude appréhendera l'ensemble de la zone de glissement ou d'instabilité et ne se limitera pas à la parcelle du projet. Elle devra également prouver que le projet est viable au regard de la sécurité des personnes et des biens (existants ou projetés) et au regard de la protection de l'environnement.

L'étude géotechnique comprendra au minimum :

- la géométrie des masses en mouvements ou susceptibles de l'être, en précisant la répartition des différentes couches géologiques,
- la vitesse des mouvements actuels en procédant à des levés topographiques et/ou une instrumentation inclinométrique (cas des glissements actifs),
- les caractéristiques géotechniques des sols en identifiant les paramètres mécaniques des sols (angle de frottement, cohésion),
- la présence de l'eau (localisation, circulation, répartition des pressions interstitielles aux différentes saisons),
- l'évaluation de la stabilité du site,
- les dispositifs possibles de confortement du terrain en prenant en compte les données du projet et l'évaluation de leurs coûts,
- la prise en compte des contraintes dans le dimensionnement des structures de l'ouvrage,
- la proposition et le dimensionnement du type de fondation à mettre en place et des dispositifs constructifs permettant de pallier à l'aléa.

La réalisation des éléments de mission donnés par la norme NF P 94-500, en respectant leurs enchaînements, devrait permettre de cibler les projets risqués vis-à-vis des aléas géotechniques et pour les projets réalisables de bien prendre en compte la particularité des sols et d'éviter ainsi les risques de sinistres.

<u>Préconisations générales de bon sens pouvant être nécessaires lors de travaux sur des terrains en pentes sujets aux glissements :</u>

- ***adapter la construction à la pente :***
  - ne pas créer de pente plus forte que la pente naturelle ;
  - éviter les talus de hauteur importante (supérieure à 2 m) ;
  - privilégier les constructions en redans et les sous-sols partiels ;
  - éviter les surcharges type remblais en tête et en pied de talus ;
  - si un déblaiement est nécessaire, ne pas laisser la fouille ouverte longtemps inutilement, réaliser une étude géotechnique de stabilité à court terme (phase travaux) et à long terme (phase finale) ;
  - remblayer les fouilles avec des matériaux drainants propres immédiatement après la réalisation de la partie enterrée de l'ouvrage ;
  - considérer la stabilité de l'ensemble du versant, par exemple lorsqu'il y a un autre talus en haut de celui impacté (versant avec des risbermes) ;
  - ne pas faire de terrassement de plus de 1 m sans étude ;
  - ancrer les fondations dans le sol en respectant les cotes hors gel et hors influence du retrait gonflement des argiles.

- ***bien gérer la présence d'eau :***
  - réaliser les travaux à la période de l'année la plus adaptée météorologiquement si cela est possible (temps sec conseillé) ;
  - prêter une attention particulière à la présence de sources en particulier en tête de talus ;
  - bien drainer le terrain, aussi bien en bas de talus qu'en haut de celui-ci et penser à mettre en place des drainages provisoires si nécessaire pendant la phase chantier ;
  - bien dimensionner et positionner l'exutoire de ces drains et leurs entretiens (fréquence, durée de vie des matériaux, possibilité d'accès,...) ;
  - vérifier l'impact de ces déplacements d'eau sur les terrains avoisinants.
  - l'infiltration des eaux usées et pluviales n'est tolérée qu'en l'absence d'une possibilité de raccordement sur un réseau et, si cette infiltration ne se traduit pas par une augmentation des risques pour le site ou son environnement (à prouver par l'étude géotechnique).

Quelle que soit la sensibilité du secteur aux glissements, l'exécution de terrassements importants (par exemple supérieur à 1 m de profondeur et/ou ayant une surface supérieure à 5 m²) nécessitera la production d'une étude géotechnique. Les terrassements sont en effet de nature à déstabiliser la tenue des sols. Il est rappelé la nécessité de mettre en œuvre les règles de sécurité (soutènements par exemple) lors de l'exécution de ces terrassements. Toute création de surpoids (remblais, aménagements divers, constructions…) en tête de talus est en principe proscrit.

Une attention particulière est demandée quant à l'évacuation des eaux pluviales dans ces secteurs. En effet, la teneur en eau des sols a une grande influence sur leur stabilité. Par conséquent, la gestion de ces écoulements doit être réalisée de façon soignée. Les écoulements de surface ne doivent pas être modifiés (déplacement de fossés, concentration des eaux, changement de point de rejet...), l'infiltration des eaux usées et pluviales n'est tolérée qu'en l'absence d'une possibilité de raccordement sur un réseau et, si cette infiltration ne se traduit pas par une augmentation des risques pour le site ou son environnement (à prouver par l'étude hydrogéotechnique). Toutes les conduites devront être étanches et la pose réalisée de façon soignée afin de garantir la pérennité des installations et l'absence de désordres géologiques locaux. Une vérification et un entretien des conduites est aussi demandé pour éviter toutes fuites. L'entretien de la végétation présente sur les terrains sujets aux glissements, se fera de façon raisonnée pour ne pas modifier les équilibres qui se sont établis. Les défrichements massifs sont ainsi proscrits.

Pour les aménagements autorisés, il est nécessaire de privilégier leur implantation hors zone d'aléa ou en aléa le plus faible.

Les propositions de préconisations données dans le présent chapitre doivent permettre d'éviter le déclenchement d'un glissement de terrain. L'attention du lecteur est attiré sur le fait que lorsqu'un sol a bougé, il devient compliqué et coûteux d'envisager des aménagements pérennes.

En complément de la cartographie de l'atlas, des informations supplémentaires, mais non exhaustives, sur les glissements recensés peuvent être trouvées en consultant le site internet www.georisques.gouv.fr.

6.5.1 - Les zones de glissements avérés

Les zones de glissements avérés sont des zones où la constructibilité est en principe à proscrire (y compris pour les petits projets et les petits équipements de service public), car il existe une forte probabilité de réactiver l'instabilité. Il en est de même pour les constructions, l'aménagement de lotissements et les extensions de bâtiments.

En revanche, la reconstruction de bâtiments sinistrés peut être tolérée, pour une surface identique, si le sinistre n'est pas dû à l'aléa glissement de terrain et après production d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5. L'augmentation de la vulnérabilité et des enjeux à surface équivalente n'est pas recommandée (par exemple augmentation du nombre de logements, transformation d'un garage en habitation, etc.). Le bâtiment reconstruit veillera à être de faible vulnérabilité par rapport au phénomène (absence de sous-sol enterré, peu de terrassement, gestion des rejets).

Les piscines, les stations de pompage et de relèvement sont en principe également à proscrire du fait des risques relatifs à l'étanchéité des ouvrages et de départs d'eau dans le milieu naturel.

L'entretien classique des bâtiments existants peut être autorisé.

6.5.2 - Les zones sensibles aux glissements

Dans les zones sensibles aux glissements, et pour une bonne prise en compte du risque « mouvements de terrains » lors de l'instruction des actes d'urbanisme, il est indispensable de détenir des informations précises sur la pente des sols. Le projet de construction, soumis à permis de construire ou à autorisation, devra être accompagné de photographies, d'un profil en travers topographique ou d'un relevé topographique du terrain suffisamment précis pour appréhender la pente des sols. Ces informations complémentaires permettront de déterminer les zones de susceptibilité telles que définies ci-après.

A – Les zones de susceptibilité très forte (pente supérieure à 21°)

L'urbanisation nouvelle, la création de lotissements et la construction d'immeubles (bâtiments supérieurs à un étage) et de bâtiments (maisons individuelles, hangars, ateliers, magasins) sont en principe à proscrire.

Les piscines, les stations de pompage et de relèvement sont en principe à proscrire du fait des risques de départs d'eau dans le milieu.

Tout aménagement pouvant entraîner la concentration de grande quantité d'eau est à éviter, d'autant plus si des enjeux sont situés en contrebas.

La reconstruction de bâtiments sinistrés pourra être tolérée, si le sinistre n'est pas dû à un glissement de terrain, et après production d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5. L'augmentation de la vulnérabilité et des enjeux à surface équivalente est en principe à proscrire (par exemple augmentation du nombre de logements, transformation d'un garage en habitation, etc.). Le bâtiment veillera à être de faible vulnérabilité (absence de sous-sol enterré, peu de terrassement). La gestion des eaux sera également à étudier.

Les extensions limitées (<20 m²) peuvent être tolérées après production d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5. L'augmentation de la vulnérabilité et des enjeux à surface équivalente est en principe à proscrire (par exemple augmentation du nombre de logements, transformation d'un garage en habitation, etc.). L'extension devra être de faible vulnérabilité (absence de sous-sol enterré, peu de terrassement). La gestion des eaux sera également à étudier.

L'entretien classique des bâtiments est autorisé.

B – Les zones de susceptibilité forte (pente comprise entre 14° et 21°)

La création de lotissements et la construction d'immeubles (bâtiments supérieurs à un étage) sont en principe à proscrire, notamment si une implantation est possible dans la commune hors zone d'aléa ou en zone d'aléa plus faible.

Les nouvelles constructions (maisons individuelles, hangars, ateliers, magasins,..) peuvent être autorisées après production d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5 et sous réserve que le bâtiment ait une faible vulnérabilité (construction isolée, absence de sous-sol enterré, peu de terrassement, gestion des rejets).

Les piscines, les stations de pompage et de relèvement sont en principe à proscrire du fait des risques de départs d'eau dans le milieu.

Tout aménagement pouvant entraîner la concentration de grande quantité d'eau n'est pas recommandé, d'autant plus s'il y a des enjeux en contrebas.

La construction des petits équipements de service public, non habitables, tels que les pylônes, les postes de transformation électrique, les centraux téléphoniques, peut être tolérée après production d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5 et sous réserve que les équipements présentent une faible vulnérabilité (construction isolée, absence de sous-sol enterré, peu de terrassement) et qu'ils ne puissent pas être construits hors de la zone de susceptibilité forte.

La reconstruction de bâtiments sinistrés pourra être tolérée, si le sinistre n'est pas dû à un glissement de terrain et après production d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5. Le bâtiment veillera à être de faible vulnérabilité (construction isolée, absence de sous-sol enterré, peu de terrassement, gestion des rejets) et à ne pas augmenter les enjeux.

Les extensions limitées (<20 m²) peuvent être tolérées après production d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5 et pour une extension de faible vulnérabilité (absence de sous-sol enterré, peu de terrassement, gestion des rejets).

L'entretien classique des bâtiments est autorisé.

C – Les zones de susceptibilité moyenne (pente comprise entre 8° et 14°)

Les nouveaux projets (lotissements, immeubles, maisons individuelles, hangars, ateliers, magasins,..) à faible vulnérabilité (construction isolée, absence de sous-sol enterré, peu de

terrassement) peuvent être permis. La réalisation d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5 est vivement recommandée. À défaut, il convient de respecter les préconisations générales notées dans le paragraphe 6.5.

Les très petits projets non habitables et ne nécessitant pas de terrassement, tels que les abris et les auvents dont la surface cumulée pour une propriété ne dépasse pas 10 m^2 (une propriété peut être composée de plusieurs parcelles) peuvent être tolérés sans production d'étude géotechnique mais devront à minima s'engager à suivre les préconisations générales de bon sens du paragraphe 6.5.

Les piscines, les stations de pompage et de relèvement sont en principe à proscrire du fait des risques de départs d'eau dans le milieu.

Tout aménagement pouvant entraîner la concentration de grande quantité d'eau n'est pas recommandé, d'autant plus s'il y a des enjeux en contrebas.

La construction des petits équipements de service public, non habitables, tels que les pylônes, les postes de transformation électrique, les centraux téléphoniques, peut être tolérée après production d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5 et sous réserve que ces équipements présentent une faible vulnérabilité (construction isolée, absence de sous-sol enterré, peu de terrassement) et qu'ils ne puissent pas être construits hors de la zone de susceptibilité moyenne.

La reconstruction de bâtiments sinistrés peut être tolérée, si le sinistre n'est pas dû à l'aléa glissement de terrain. La réalisation d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5 est vivement recommandée. À défaut, il convient de respecter les préconisations générales de bon sens paragraphe 6.5. La construction veillera à avoir une faible vulnérabilité (construction isolée, absence de sous-sol enterré, peu de terrassement, gestion des rejets).

Les extensions limitées (<20 m²) pourront être tolérées. La réalisation d'une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5 est vivement recommandée. À défaut il convient de respecter les préconisations générales de bon sens du paragraphe 6.5. L'extension veillera à avoir une faible vulnérabilité (construction isolée, absence de sous-sol enterré, peu de terrassement, gestion des rejets).

L'entretien classique des bâtiments est autorisé.

D – Les zones de susceptibilité faible (pente inférieure à 8°)

Pour tout projet, il est vivement recommandé de réaliser une étude géotechnique répondant aux exigences du paragraphe 6.5. À défaut, il convient de respecter les préconisations générales de bon sens données en 6.5.

6.6 - Les zones soumises au phénomène d'érosion de berges

Constructions et extensions :

Il est recommandé de ne pas construire en bordures immédiates des berges et de laisser de la place au cours d'eau pour qu'il puisse se déplacer naturellement.

En tout état de cause la zone de constructibilité doit respecter les servitudes de libre passage, les Plans de Surfaces Submersibles (PSS) et les Plans de Prévention des Risques d'inondation (PPRi). En l'absence de plan, le porteur de projet devra également se renseigner sur les niveaux des crues historiques attendus auprès des services municipaux. La libre expansion des crues et le libre écoulement des eaux devront être obligatoirement maintenus.

La mise en place d'un aménagement de berges maçonné engendre la création d'un « point dur ». Ainsi la rivière tendra toujours à éroder en aval de celui-ci. Les conséquences d'un tel aménagement sur ses environs impose de se poser la question de l'intérêt d'une telle intervention.

L'implantation d'un projet le long d'une rive concave (cf illustration n°15) nécessitera des précautions, car ce sont des zones régulièrement soumises à l'érosion. La présence de points singuliers (ouvrages par exemple) favorise les érosions en concentrant les écoulements ce qui a pour conséquence d'augmenter les vitesses d'écoulement.

Protection des berges :

Les systèmes de protection et de prévention doivent être déterminés et dimensionnés par une étude spécifique de l'aléa. Il n'y a pas de solution générale et chacun des cas nécessite une étude spécifique.

Il est vivement conseillé de prendre attache avec le service « Police de l'eau » de la DDT du Territoire de Belfort afin de s'assurer de la faisabilité du projet vis-à-vis des techniques envisagées et des procédures. Certains aménagements de berges nécessitent une déclaration ou une autorisation au titre de la loi sur l'eau. Conformément à la rubrique 6A-12 du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) Rhône-Méditerranée, les mesures de protections contre l'érosion latérale doivent être réservées à la prévention des populations et des ouvrages existants.

Selon les cas, différentes techniques de protection peuvent être employées, en voici quelques-unes :

- **les techniques “végétales”** reposent sur l’utilisation de végétaux pour renforcer la tenue de la berge. Les plus simples sont l’ensemencement avec ou sans pose d’un géotextile biodégradable qui permet de protéger les semences de l’érosion avant leur développement complet et les plantations. Ces techniques peu coûteuses et plus durables demandent néanmoins :
  - l’avis d’un spécialiste (EPTB, syndicats de rivières, syndicats mixtes, communautés de communes ou communautés d’agglomérations, services de l’État, et autre) afin d’adapter la ripisylve (végétation bordant les cours d’eau) au milieu,
  - un entretien régulier afin de ne pas laisser les arbres atteindre une hauteur pouvant endommager la berge.

- **les techniques “minérales”**, dites d’enrochement, consistent à disposer des gros blocs de roches depuis le pied jusqu’en haut de berge. Dans certains cas, ces enrochements peuvent être liés par du béton sous forme de gabions (cage grillagée remplie de blocs). On peut aussi disposer un géotextile sous les blocs afin d’éviter le départ des éléments fins du sol et une nouvelle déstabilisation de la berge. Cette technique doit être limitée aux zones à forts enjeux (proximité d’un bâtiment ou d’un ouvrage existant...). Enfin, il faut préciser que ces aménagements peuvent perturber le fonctionnement hydraulique du secteur (augmentation des vitesses localement, déstabilisation d’autres parties de berges, etc...). La décision d’utiliser des techniques minérales doit donc être précédée d’un examen des conditions locales.

- **les techniques particulières** comme la mise en place de lits de branches (branches plaquées au sol et maintenues par des pieux enfoncés dans la berge généralement recouverte de géotextile biodégradable), de boudins végétalisés (boudins de matériaux terreux renforcés par du géotextile et végétalisés), de caissons végétalisés (rondins de bois entrecroisés formant un caisson rempli de matériaux terreux parfois renforcé par un géotextile et végétalisé par des branches), de fascines (boudin en géotextile rempli de matériaux terreux fixé à la berge par des pieux et végétalisé par ensemencement ou bouturage) ou de tressage de branches de saules bouturées.

6.7 - Les zones soumises au phénomène de liquéfaction des sols

Ce phénomène étant lié aux séismes, les recommandations seront issues de la nouvelle réglementation parasismique applicable aux bâtiments, qu'ils soient neufs ou déjà existants.

Cette réglementation repose essentiellement sur les articles L563-1 du Code de l'Environnement et L112-18 du Code de la Construction et de l'Habitat ; elle concerne les bâtiments à risque normal, pour lesquels les conséquences d'un séisme ne seront limitées qu'à la structure même du bâtiment et à ses occupants.

Préalablement à l'application de cette réglementation constructive, une étude géotechnique sera nécessaire. Elle devra délimiter les secteurs où les constructions sont admissibles, définir les caractéristiques du sol, sa vulnérabilité face à l'aléa liquéfaction et fournir les techniques constructives à adopter pour s'affranchir du risque, assurer la sécurité des personnes et des biens et assurer la pérennité des constructions et des secteurs périphériques. Une telle étude appréhendera l'ensemble de la zone d'instabilité et ne se limitera pas à la parcelle du projet. Elle devra également prouver que le projet est viable au regard de la sécurité des personnes et des biens (existants ou projetés) et au regard de la protection de l'environnement.

L'étude géotechnique comprendra au minimum :

- la géométrie des masses concernées par l'aléa, en précisant la répartition des différentes couches géologiques,
- les caractéristiques géotechniques des sols en identifiant les paramètres mécaniques des sols (angle de frottement, cohésion),
- la présence de l'eau (localisation, circulation, répartition des pressions interstitielles aux différentes saisons),
- les dispositifs possibles de confortement du terrain en prenant en compte les données du projet et l'évaluation de leurs coûts,
- la prise en compte des contraintes (force, accélération) dans le dimensionnement des structures de l'ouvrage,
- la proposition et le dimensionnement du type de fondation à mettre en place et des dispositifs constructifs permettant de pallier à l'aléa.

La réalisation des éléments de mission donnés par la norme NF P 94-500, en respectant leurs enchaînements, devraient permettre de cibler les projets risqués vis-à-vis des aléas géotechniques et pour les projets réalisables de bien prendre en compte la particularité des sols et d'éviter ainsi les risques de sinistres.

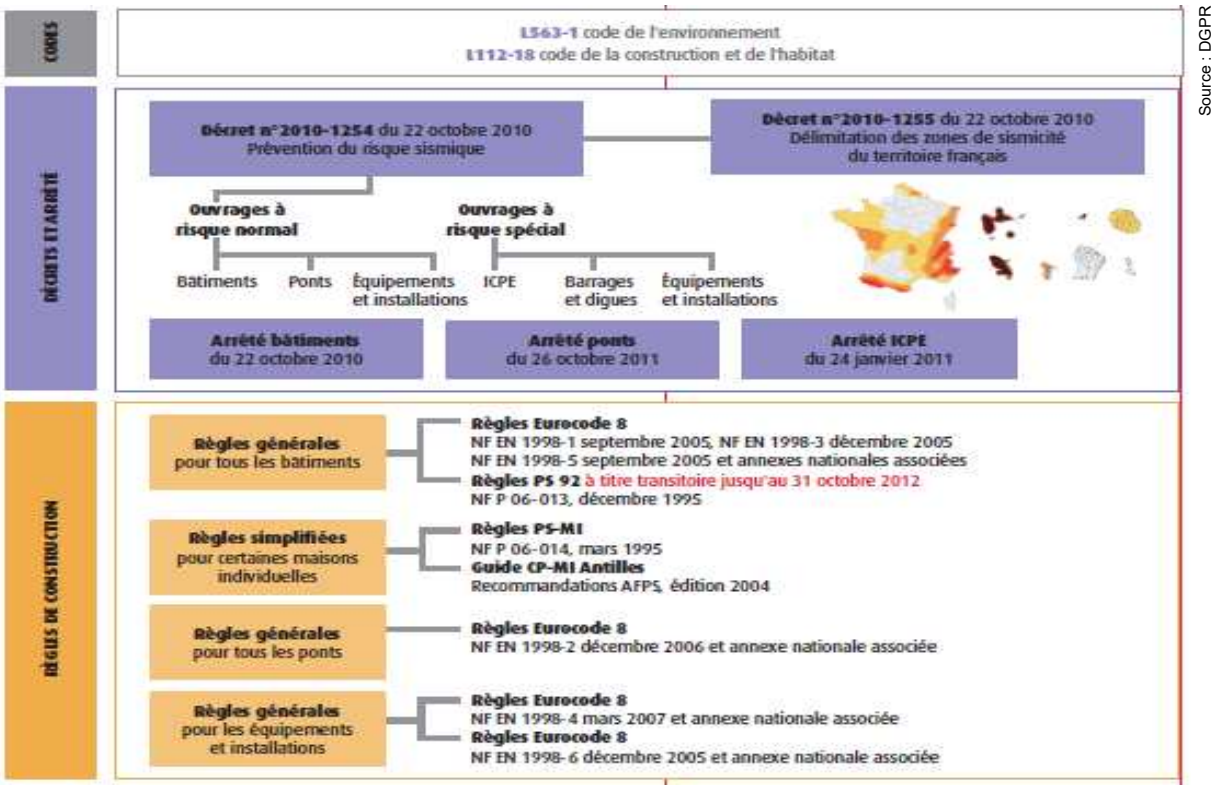
Réglementation sur les bâtiments neufs

L'Eurocode 8 s'impose comme la règle de construction de référence. La réglementation conserve la possibilité de recourir à des règles forfaitaires dans le cas de certaines structures simples.

Réglementation sur les bâtiments existants

La réglementation n'impose pas de travaux sur les bâtiments existants. Si des travaux conséquents sont envisagés, un dimensionnement est nécessaire avec une minoration de l'action sismique à 60 % de celle du neuf.

Le document ci-dessous reprend la structure de la réglementation relative à la prévention du risque sismique



Source : DGPR

Illustration 25 : Structure de la réglementation relative à la prévention du risque sismique

Des informations complémentaires sur la réglementation sismique peuvent être trouvées en consultant le site internet www.planseisme.fr

6.8 - Exploitation du document en matière de planification (PLU, PLUi, cartes communales) ou de projet

Il convient de prendre en compte le plus en amont possible l'existence des aléas naturels sur le territoire d'étude. Une bonne connaissance des aléas permet de localiser les secteurs non propices à l'ouverture à l'urbanisation, ou les secteurs où l'urbanisation est admissible mais en respectant certaines prescriptions afin de limiter leur vulnérabilité aux aléas mouvements de terrains. Cette bonne connaissance des aléas permettra également leur bonne prise en compte dans l'élaboration des projets.

Le présent atlas a été dressé à l'échelle départementale. Le bureau d'études chargé d'établir un document d'urbanisme ou un projet devra donc mener des investigations plus fines, en rapport avec l'échelle du projet, pour préciser les contours des différents secteurs, compléter les zones d'aléas et éventuellement revoir leurs niveaux. Cet exercice sera classiquement mené par un spécialiste en étudiant les cartes géologiques, en recensant les documents et les études disponibles, en visitant le secteur d'étude et en interrogeant les personnes qui détiennent une bonne connaissance des lieux.

Il conviendra ensuite de faire figurer, dans les différentes pièces du document d'urbanisme (note de présentation, cartographies du zonage, règlement, etc.), toutes les informations nécessaires à la connaissance des risques. Les différentes études menées par le bureau spécialisé seront résumées, des cartographies détaillées seront remises et les conclusions générales dûment justifiées. Les études menées permettront également de tenir compte dans l'établissement des projets des différents aléas géologiques.

En aucune manière le bureau d'études chargé de l'élaboration d'un document d'urbanisme ne pourra reprendre simplement les éléments contenus dans l'atlas sans réaliser d'études complémentaires. En effet, comme précisé ci-dessus, l'atlas résulte d'un travail mené à l'échelle du département. Il appartient donc au cabinet chargé du document d'urbanisme de tenir compte de cet élément et de réaliser des études complémentaires pour affiner la connaissance.

6.9 - Exploitation du document en matière d'application du droit des sols (ADS)

Il sera fait application du document d'urbanisme local, s'il contient des interdictions ou prescriptions relatives au risque de mouvement de terrain.

Si, dans le document d'urbanisme, il n'existe pas de rubrique relative aux mouvements de terrains, l'instructeur repérera le secteur où le projet doit s'implanter et vérifiera s'il est concerné par un ou plusieurs aléas géologiques. Il consultera alors la présente doctrine et fera si nécessaire application de l'article R111-2 du code de l'urbanisme, pour les projets incompatibles avec les principes de prévention. Une aide de la cellule risques pourra être apportée pour cet examen.

7 - Synthèse

La Direction Départementale des Territoires du Territoire de Belfort (DDT 90), Cellule Risques, a confié au Cerema Centre Est, Département Laboratoire d'Autun, la réalisation d'un atlas départemental des secteurs à susceptibilités d'aléas mouvements de terrains.

Cet atlas a pour objectif de compléter et de faciliter l'utilisation et l'interprétation des données ponctuelles des bases de données BD-MVT et BD-Cavité. Le but étant de garder la connaissance et d'aider à l'aménagement du territoire sans pour autant, dans l'immédiat, réaliser des Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN) sur toutes les communes.

Ce document recense, localise, caractérise et hiérarchise, sur le département du Territoire de Belfort, les aléas mouvements de terrains suivants :

- les **indices d'origine karstique** (**affaissements** et **effondrements)** induits par des cavités souterraines naturelles (notamment phénomènes de karstification et de suffosion),
- les **éboulements**, **chutes de blocs** ou phénomènes aggravants (falaises…),
- les **glissements de terrains** sur des terrains tels que les marnes en pentes, les moraines et les éboulis sur versants marneux,
- les **érosions de berges**,
- les **liquéfactions de sols**.

Une cartographie de ces phénomènes a été réalisée suivant la méthodologie détaillée dans le présent rapport. Les données utilisées ont été recueillies auprès de la DDT 90, créées à partir du géoréférencement d'indices géomorphologiques de la couche raster de la carte IGN au 1/25 000e, de la carte géologique réalisée par le BRGM, ainsi que des bases de données BD-MVT et BD-CARTO. Cet atlas cartographique se présente sous la forme de planches par commune, où sont représentées les familles de mouvements de terrains du département, citées ci-dessus, associées à un niveau d'intensité.

Le zonage a été réalisé à l'échelle du 1/25 000e, et doit donc être utilisé avec précaution pour des échelles plus précises. L'atlas cartographique ainsi composé est associé à des mesures de prévention adaptées à chaque phénomène et à son niveau d'aléa.

Ce document constitue donc, pour les autorités compétentes, un outil d'aide à la décision dans le cadre de la mise en œuvre de la politique de prévention des risques naturels, et dans un souci d'aménagement durable du territoire. Il fera partie des documents à communiquer au bureau d'études chargé de l'établissement des documents d'urbanismes

Il peut utilement servir de base quant aux choix d'élaborer, dans un second temps, des Plans de Prévention des Risques Naturels (P.P.R.N) mouvements de terrains.

Enfin, il permet à chaque citoyen, maître d'ouvrage ou maître d'œuvre, d'avoir connaissance des risques naturels mouvements de terrains auxquels ils peuvent être confrontés.

Rédigé, le 18 septembre 2020

Le chargé d'Étude

Vincent VANCRAENENBROECK

Vu et vérifié, le 09/12/2020

Le chargé d'Affaire

Sylvain HAUSSARD

Vu et vérifié, le 09/12/2020

La responsable de l'unité

Marie DESABRES

Vu et approuvé, le 09/12/2020

Le responsable de groupe

Christophe AUBAGNAC

Lexique :

Aven, Gouffre, Entonnoir :	Vide en forme d'entonnoir s'ouvrant sur une cavité souterraine et résultant de la dissolution de couches carbonatée.
BD-MVT :	Base de Données sur les Mouvements de Terrains http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/mouvements-de-terrain#/
BD-Cavité :	Base de Données sur les Cavités http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/cavites-souterraines#/
Calcaire :	Roche sédimentaire carbonatée, se formant soit par accumulation de fragments de squelettes ou de coquilles calcaires (coraux, bivalves, foraminifères, etc.), soit par précipitation chimique ou biochimique de carbonates de calcium.
Doline :	Dépression circulaire, morphologie typique des terrains karstifiables (calcaire, gypse, sel…)
Fluage :	Mouvement lent et irrégulier sur des pentes faibles. Il affecte essentiellement les argiles et entraîne des tassements locaux.
Géomorphologie :	Étude scientifique des formes de la surface terrestre (relief et modelé) et de leur évolution. Se fait souvent à partir du SCAN25*.
Géoréférencement :	Système de localisation des objets terrestres par rapport aux coordonnées géographiques.
Grotte :	Cavité naturelle souterraine, plus ou moins grande et profonde.
Orogenèse :	Mécanismes de formation des montagnes, par extension ou compression des plaques tectoniques.
Perte :	Endroit où l'eau de surface (ruissellement, rivière …) disparaît totalement ou partiellement dans le sol pour alimenter, le plus souvent, une rivière souterraine. Cette eau réapparaît souvent plus loin sous forme de résurgence.
Raster (couche) :	Le terme raster, ou image raster, est employé pour définir le support informatique d'une image, sous forme de pixels. Cette image peut être géolocalisée en format SIG et ainsi créer une couche.
Retrait-gonflement :	Effets sur les sols et sous-sols argileux des variations de teneur en eau liquide, se manifestant notamment par l'apparition et la disparition de fentes de dessiccation.
Résilience :	Capacité d'un système à pouvoir intégrer dans son fonctionnement une perturbation
Résurgence, source :	Correspond à la réapparition en surface, d'une eau ayant effectué un parcours souterrain.
SCAN 25 :	Scan de la carte IGN au 1/25 000e géoréférencé servant de couche raster pour la cartographie SIG.
SIG :	Système d'information géographique
Solifluxion :	Phénomène d'écoulement des sols en surface sur des pentes très faibles.
Thalweg ou Talweg :	Ligne du fond d'une vallée, suivie par le cours d'eau lorsqu'il en existe un. De façon plus générale, c'est le lieu géométrique du point le plus bas de chaque section transversale d'une vallée.
Vulnérabilité :	Degré d'exposition des biens ou des personnes à un risque.

Table des illustrations

Illustration 1 : Schéma caractéristique du risque....6
Illustration 2: Position du Territoire de Belfort....11
Illustration 3 : Carte géologique du Territoire de Belfort, d'après P. Rosenthal, 2003....12
Illustration 4 : Création d'une cavité et effondrement....16
Illustration 5 : Paysage karstique....18
Illustration 6 : Schéma du principe d'entraînement des particules fines par suffosion....19
Illustration 7 : Dolines de dissolution et d'effondrement....20
Illustration 8 : Affaissement, effondrement généralisé et fontis....21
Illustration 9 : Aléas autres que affaissement et effondrement, associés à une dépression topographique....22
Illustration 10 : Schéma d'une zone de contact entre sol imperméable et karstifiable....22
Illustration 11 : Schéma synthétique de glissement de terrains....23
Illustration 12 : Glissement et coulée de boue à Soulce-Cernay (25)....25
Illustration 13 : Mécanisme des éboulements....26
Illustration 14 : Éboulement du 17 février 2013 à Pesmes (70)....28
Illustration 15 : Principes de l'érosion des berges....29
Illustration 16 : Érosion de berges à Lods (25)....30
Illustration 17 : Exemple de liquéfaction....31
Illustration 18 : Liquéfaction du port de Kobé (Japon – 1995)....31
Illustration 19 : Exemples de symboles géoréférencés de la carte IGN....32
Illustration 20 : Exemples de symboles géoréférencés de la carte géologique....33
Illustration 21 : Principe de calcul de densité par maille....34
Illustration 22 : Courbe du nombre de mailles en fonction de la densité....35
Illustration 23 : Méthodologie de détermination de la zone de potentielle chute de roches....36
Illustration 24 : Cartographie de l'aléa sismique du Territoire de Belfort....40
Illustration 25 : Structure de la réglementation relative à la prévention du risque sismique....61
Illustration 26 : Exploitation à ciel ouvert, chambres et piliers et en chambres magasins....69
Illustration 27 : Exploitation par foudroyage, longue taille et dissolution....70

Annexes

Annexe A - Méthodes d'exploitations (mines et carrières)

Source : Cerema

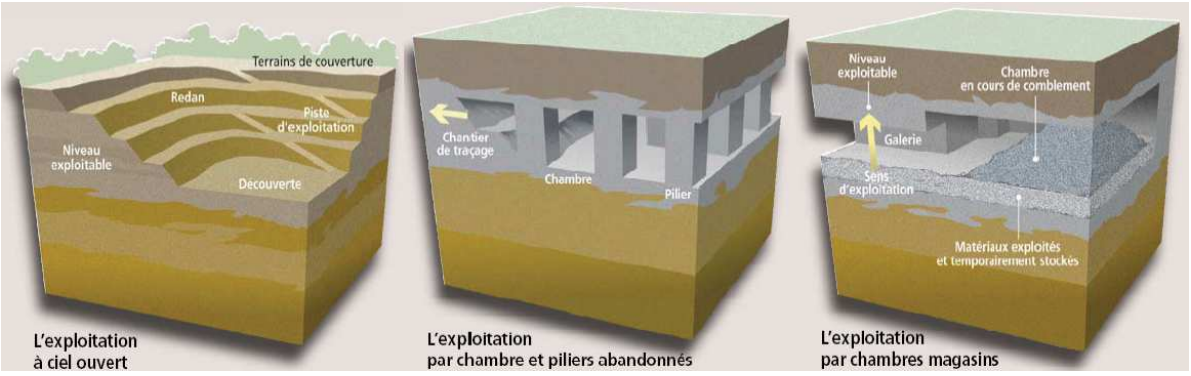


Illustration 26 : Exploitation à ciel ouvert, chambres et piliers et en chambres magasins

(a) Exploitation à ciel ouvert

Lorsque le gisement est superficiel et que les conditions géologiques et mécaniques le permettent, l'exploitation peut se faire à ciel ouvert (Illustration n°26).

(b) Exploitation par chambre et piliers abandonnés

Cette méthode consiste à creuser dans la couche exploitable, à partir d'un puits, un réseau de galeries ou chambres se coupant à angle droit. Cela permet de laisser en place, suivant un schéma pré-établi, des piliers aux dimensions calculées de telle sorte que les terrains sus-jacents demeurent stables. Le matériau restant est donc utilisé pour assurer un soutènement et une stabilité de la structure tant en surface qu'au fond de la mine ou de la carrière. Dans des gisements où l'épaisseur de la couche exploitable est très importante, il est possible de travailler par étages. Cette technique d'exploitation laisse de nombreux vides qui pourront évoluer à la suite de la destruction naturelle des piliers et l'effondrement du toit de la cavité (Illustration n°26).

(c) Exploitation par chambres magasins

La technique consiste à abattre le matériau exploité et à le stocker provisoirement dans le chantier. Elle permet de garantir la sécurité des travailleurs qui sont, de ce fait, protégés des chutes du toit.

Dans un premier temps, seul est évacué l'excédent de matériau provenant du foisonnement de la roche à partir d'une galerie basse. L'abattage progresse en montant. La surface supérieure du matériau abattu sert de plan de travail. En fin d'exploitation, la chambre est intégralement vidée. Elle peut être remblayée, laissée vide ou se foudroyer d'elle-même (Illustration n°26).

Source : Cerema

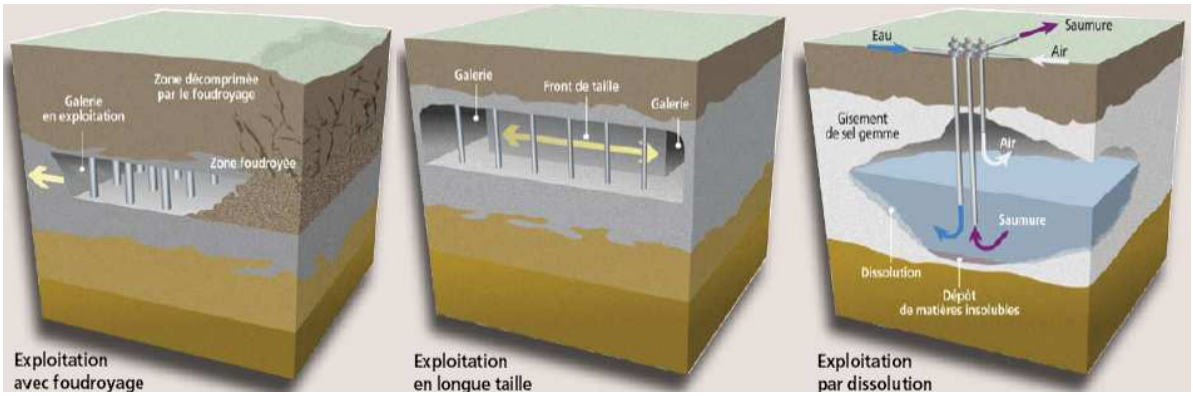


Illustration 27 : Exploitation par foudroyage, longue taille et dissolution

(d) Exploitation par foudroyage

L'exploitation s'apparente à celles de chambres et piliers. On procède ici, en outre, à la fermeture des vides dans les travaux souterrains, au fur et à mesure de leur progression. Plusieurs méthodes de foudroyage sont utilisées en fonction du contexte géologique, notamment du pendage et de l'épaisseur des couches à exploiter. Cette technique concerne des exploitations en dépilage (exploitation d'un gisement sur toute son épaisseur). On recherche ensuite l'obstruction contrôlée des galeries après exploitation. Une méthode consiste en la suppression des piliers résiduels par un torpillage à l'explosif. Les opérations bien menées conduisent à une suppression pratiquement totale des vides. Ces derniers peuvent également être comblés par auto-remblayage. Dans ce cas, l'exploitant laisse les roches s'effondrer sous leur propre poids.

Au-dessus des travaux foudroyés, se forme une zone déconsolidée, appelée cloche de foudroyage. Les roches y sont désorganisées, laissant subsister entre elles un vide. Des réajustements de terrains de couverture déconsolidés entraînent inévitablement des tassements différés de la surface qui peuvent se poursuivre quelques années après l'exploitation (Illustration n°27).

(e) Exploitation par longue taille

Elle peut être définie comme une galerie en couche, d'une longueur de 100 à 250 m, qui se déplace parallèlement à elle-même dans la veine, en étant constamment reliée à deux autres galeries ou voies qui lui sont perpendiculaires.

Le soutènement est déplacé au fur et à mesure de l'avancement. Ceci peut provoquer le foudroyage naturel et l'effondrement des couches supérieures décomprimées dans la cavité. L'affaissement peut se répercuter jusqu'en surface (Illustration n°27).

(f) Exploitation par dissolution

Le sel gemme est une roche soluble. L'exploitation utilise le principe de la dissolution. Après forage du sol jusqu'au gisement en un point unique, on injecte de l'eau pour dissoudre le sel et produire de la saumure. Quand on a dissout la quantité prévue, on pompe la saumure vers l'usine où elle est épurée et stockée. Elle est ensuite dirigée vers l'installation d'évaporation où l'on exploite le sel cristallisé (Illustration n°27).

Annexe B - Liste des communes possédant des études plus fines

Communes	Aléa(s)	Échelle	Date et auteur
Belfort	• Affaissement – Effondrement • Glissement de terrains • Chute de blocs	1/5 000e	2019 – BRGM

Annexe C - Liste des aléas par commune

Commune	Éboulement	Érosion de berges	Affaissement Effondrement	Liquéfaction	Glissement
Andelnans	X		X		X
Angeot				X	X
Anjoutey				X	X
Argiesans	X		X		X
Autrechêne					
Auxelles-Bas				X	X
Auxelles-Haut	X				X
Banvillars	X				X
Bavilliers	X		X		X
Beaucourt	X		X		X
Belfort	X		X		X
Bermont	X		X		X
Bessoncourt				X	X
Bethonvilliers	X			X	X
Boron					X
Botans	X		X		X
Bourg-sous-Châtelet				X	X
Bourogne	X				X
Brebotte					X
Bretagne					X
Buc					X
Charmois					
Châtenois-les-Forges	X		X		X
Chaux	X			X	X
Chavanatte			X		X
Chavannes-les-Grands					X
Chèvremont	X			X	X
Courcelles	X		X		X
Courtelevant				X	X
Cravanche			X		X

Commune	Éboulement	Érosion de berges	Affaissement Effondrement	Liquéfaction	Glissement
Croix			X		X
Cunelières				X	X
Danjoutin					X
Delle	X		X		X
Denney	X		X		X
Dorans			X		X
Eguenigue	X		X		X
Eloie				X	X
Essert	X	X	X		X
Etueffont	X			X	X
Evette-Salbert					X
Faverois	X				X
Fêche-l'Eglise	X				X
Felon					X
Florimont	X	X			X
Fontaine				X	X
Fontenelle					X
Foussemagne				X	X
Frais			X	X	X
Froidefontaine					X
Giromagny			X		X
Grandvillars	X				X
Grosmagny	X				X
Grosne					X
Joncherey					X
Lachapelle-sous-Chaux				X	X
Lachapelle-sous-Rougemont				X	X
Lacollonge				X	X
Lagrange				X	X
Lamadeleine-Val-des-Anges				X	X
Larivière				X	X
Lebetain			X		X
Lepuix	X				X
Lepuix-Neuf				X	X

Commune	Éboulement	Érosion de berges	Affaissement Effondrement	Liquéfaction	Glissement
Leval				X	X
Menoncourt				X	X
Meroux					X
Méziré					X
Montbouton			X		X
Montreux-Château				X	X
Morvillars					X
Moval					X
Novillard					
Offemont	X				X
Pérouse	X				X
Petit-Croix				X	X
Petitefontaine				X	X
Petitmagny					X
Phaffans			X	X	X
Réchésy	X		X		X
Recouvrance			X		X
Reppe					X
Riervescemont	X				X
Romagny-sous-Rougemont	X				X
Roppe	X		X		X
Rougegoutte					X
Rougemont-le-Château	X			X	X
Saint-Dizier l'Evêque	X		X		X
Saint-Germain-le-Châtelet				X	X
Sermamagny				X	X
Sevenans		X	X		X
Suarce				X	X
Thiancourt					X
Trevenans					X
Urcerey	X		X		X
Valdoie				X	X
Vauthiermont				X	X
Vellescot					X

Commune	Éboulement	Érosion de berges	Affaissement Effondrement	Liquéfaction	Glissement
Vescemont	X				X
Vétrigne	X		X		X
Vézélois					X
Villars-le-Sec			X		X

Annexe D - Fiches informatives sur les aléas mouvements de terrains

Cerema

Conception ; Réalisation ; Edition ; Date

Cerema Centre-Est
Département Laboratoire d'Autun - 1 Boulevard Bernard Giberstein - ZI de Saint Andoche - BP 141 - 71404 AUTUN CEDEX - +33 (0)3 85 86 67 67
Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30
Établissement public - Siret 130 018 310 00123 - TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310