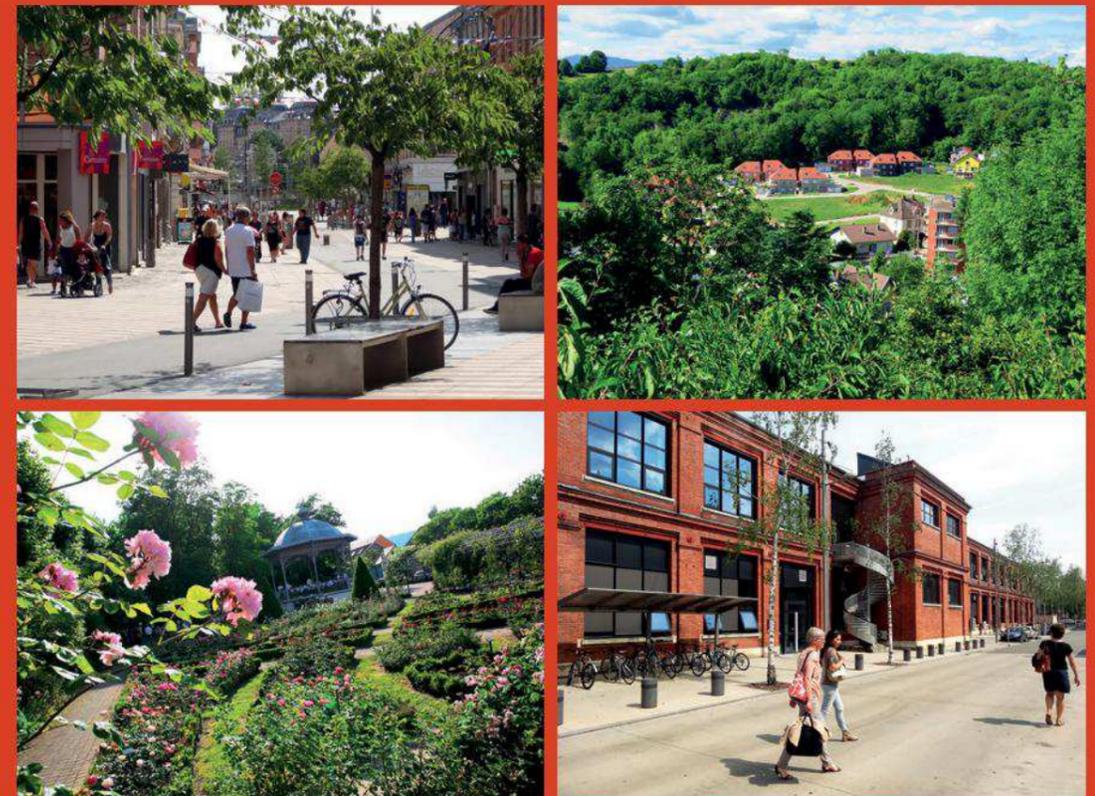


VILLE DE BELFORT

PLAN LOCAL D'URBANISME

ANNEXE

V.8.e : Atlas des « mouvements de terrain » et plaquettes du CETE



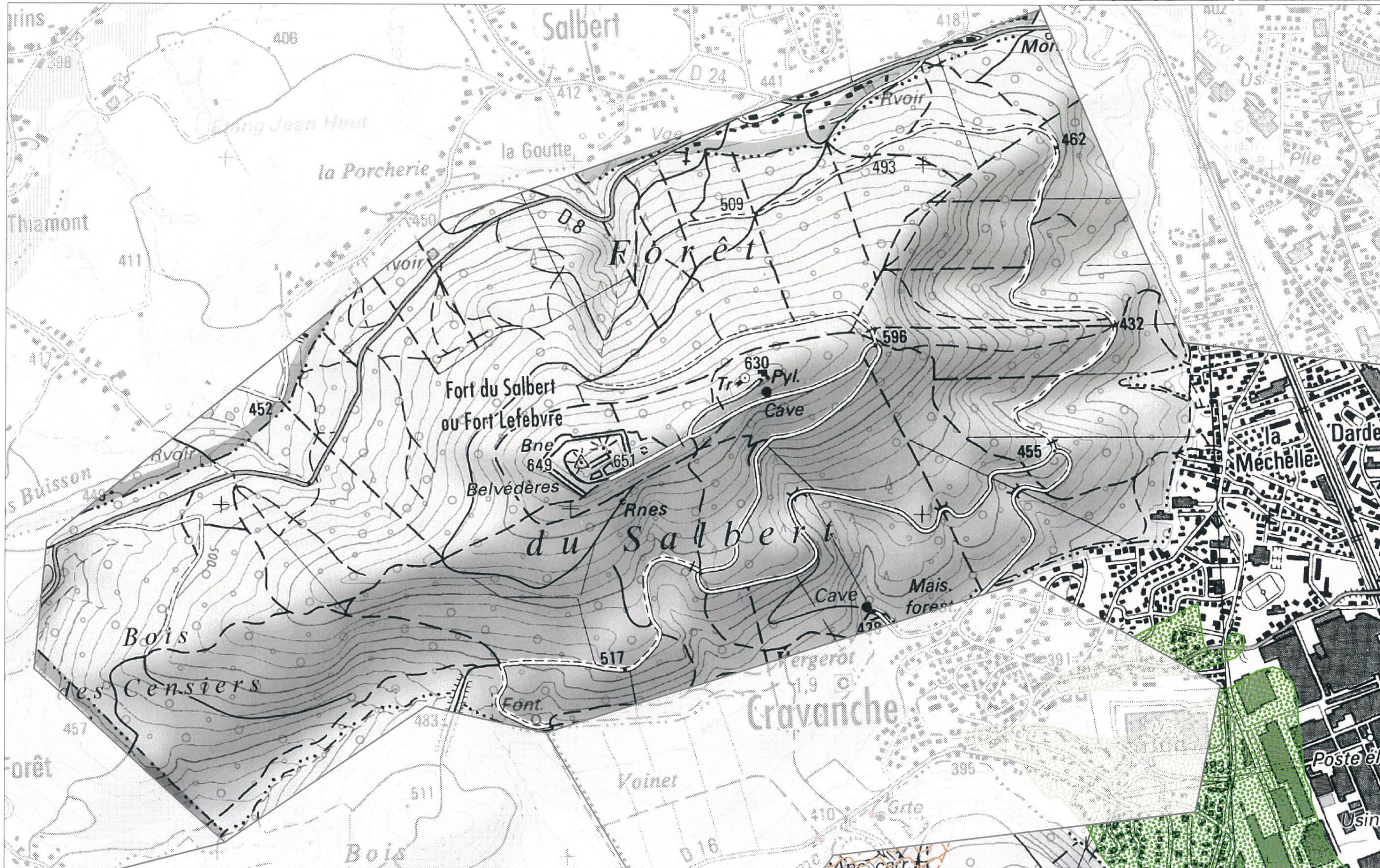
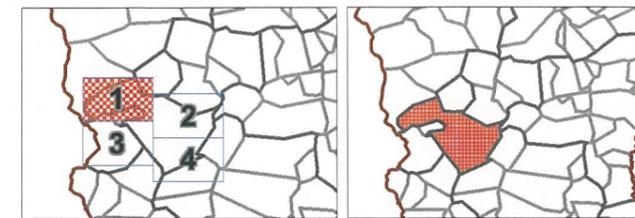
PLU ARRÊTÉ
PAR DÉLIBÉRATION EN DATE DU 25 SEPTEMBRE 2019





Atlas Mouvements de terrains

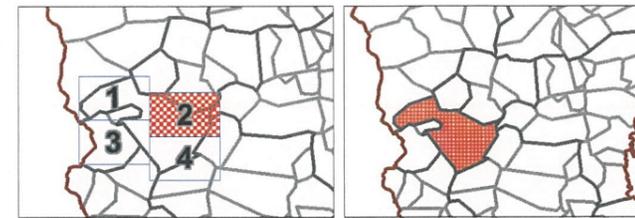
Commune de Belfort - Planche 1 sur 4





Atlas Mouvements de terrains

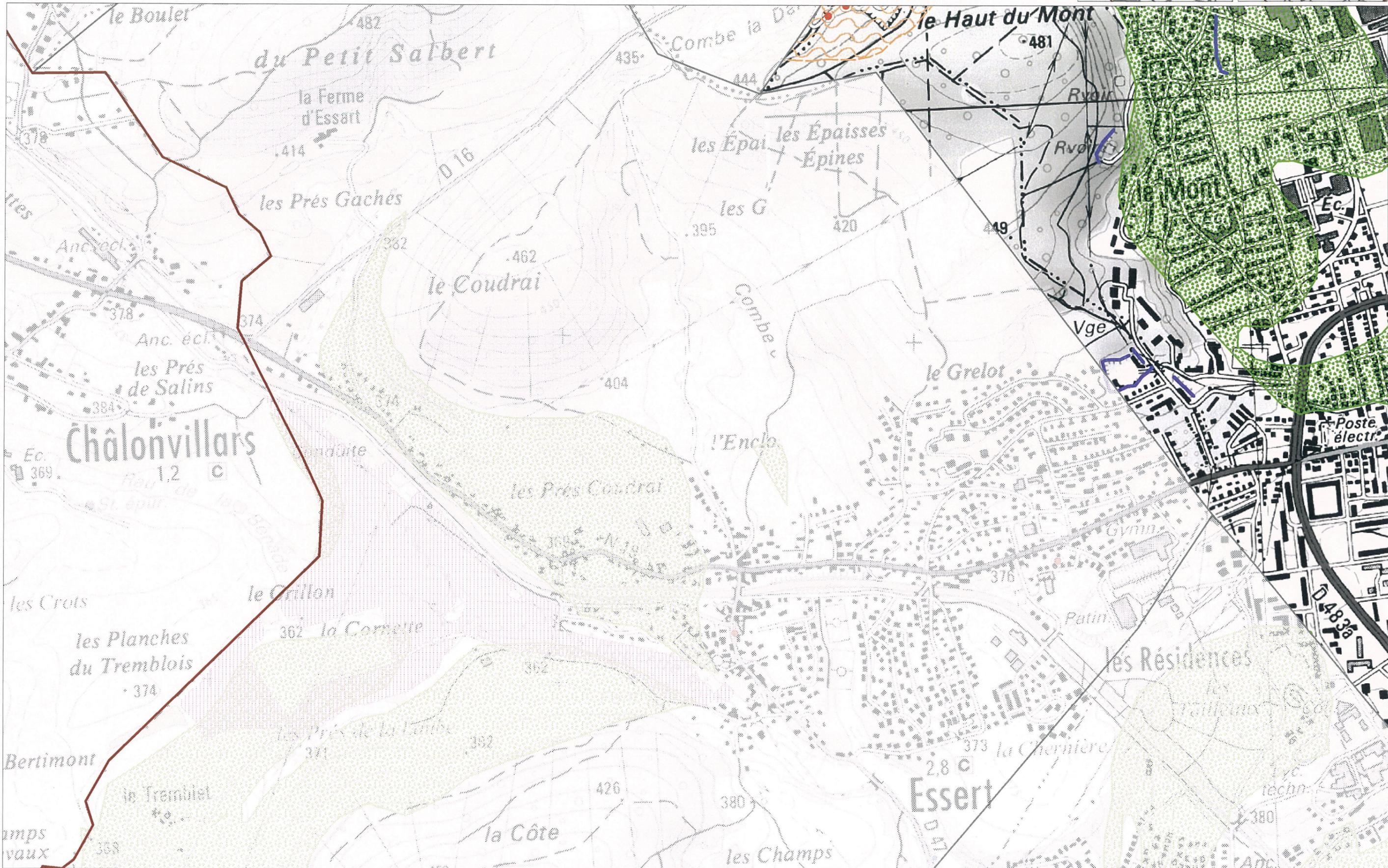
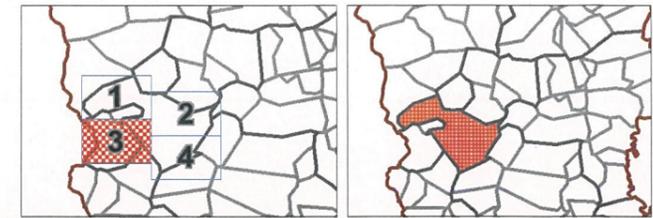
Commune de Belfort - Planche 2 sur 4





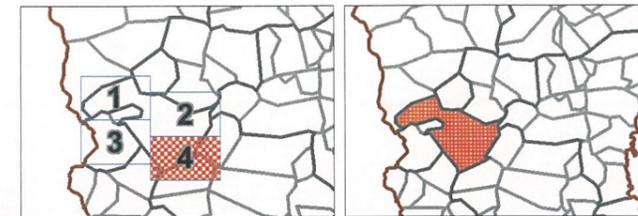
Atlas Mouvements de terrains

Commune de Belfort - Planche 3 sur 4



Atlas Mouvements de terrains

Commune de Belfort - Planche 4 sur 4



Aléa affaissement effondrement

-  Éléments ponctuels (doline, effondrement...)
-  Faible densité des indices
-  Moyenne densité des indices

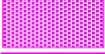
Aléa éboulement

-  Chute de bloc
-  Falaises

Aléa glissement

-  Glissement
-  Zone marneuse sur pente faible
-  Zone marneuse sur pente moyenne

Aléa liquéfaction

-  Zones de tourbières et boisements tourbeux
-  Formation de solifluxion

Aléa érosion de berge

-  Érosion de berge

Limite du département

-  Limite du Département

Description des phénomènes

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 s'effondrant d'un coup. La zone effondrée est limitée par des fractures sub-verticales.

Les affaissements et les effondrements surviennent au niveau de cavités souterraines qu'elles soient d'origines anthropiques (carrières, mines) ou naturelles (phénomènes de karstification et de suffosion). Ces cavités restent souvent invisibles en surface, sont de tailles variables (du mètre à la dizaine de mètres) et peuvent être interconnectées ou isolées.

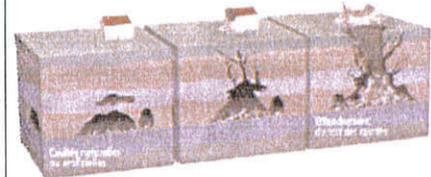


Schéma de principe d'un
affaissement – effondrement
(Source Graphies MEDDAT)

Conditions d'apparition

Il existe deux phénomènes naturels pouvant créer des cavités : la karstification et la suffosion.

La karstification est le phénomène de dissolution des **calcaires**, du **gypse** ou du **sel** par des eaux chargées en dioxyde de carbone.

L'intensité de ce phénomène s'accroît en fonction de la quantité d'eau, de sa teneur en dioxyde de carbone et de sa basse température. En effet, plus une eau est froide plus la teneur en gaz dissout peut y être élevée et ainsi rendre cette eau plus acide.

Ce phénomène permet la mise en place de faciès particuliers que l'on retrouve dans la partie souterraine (endokarst) sous forme de gouffres, grottes ou galeries, et à la surface (exokarst) sous forme de dolines, aven (gouffre) ou lapiaz.

La suffosion est un phénomène mécanique. 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 (sables fins et silts). Ce transport de matériaux engendre des instabilités et favorise le développement de vides pouvant parfois atteindre plusieurs mètres cubes. 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, etc...).

Effets et conséquences

Les emplacements de cavités représentent des zones de fragilité géotechnique (effondrement, déstabilisation 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 au maintien des écoulements.

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 transformée. Ces modifications fonctionnelles créent un déséquilibre de forces pouvant engendrer des effondrements brutaux ainsi que des affaissements qui auront pour conséquence la ruine de constructions et de possibles victimes. La perturbation des réseaux hydriques peut également créer de nouvelles zones inondables ou amplifier des zones préexistantes.



Conséquence d'un affaissement (Somme) – (Source : BRGM)

Principales techniques de protection et de prévention

Il conviendra de penser autant en protection et prévention des biens et infrastructures que de la préservation du milieu souterrain (sols et eaux).

Autant du point de vue de la protection que de la prévention, il est fortement déconseillé (lorsqu'il n'est pas possible de l'interdire) de construire dans les zones d'influence des dolines et autres phénomènes karstiques.

Il est aussi important de ne pas obstruer ou reboucher les dolines, les avens, les pertes, ...

Dans le cas de projets de constructions ou d'aménagements dans des zones potentiellement karstifiées, il conviendra de réaliser une étude destinée à analyser l'aléa. Outre un volet géologique et géotechnique, cette étude devra impérativement comporter un volet hydro-géologique (recherche des éventuelles venues d'eau et autres nappes, description précise des adaptations techniques pour la prise en compte de ces dernières dans le cadre du projet, y compris des rejets) à l'échelle plus large que la parcelle. Le programme d'investigation de l'étude géotechnique devra clairement montrer la prise en compte du volet hydro-géologique. Cette étude devra faire apparaître les conséquences des aménagements envisagés, ainsi que les mesures de prévention à prendre pour garantir la pérennité des aménagements.

Les terrains aux abords des dolines sont en général très hétérogènes et de mauvaises caractéristiques géotechniques. Ainsi, on s'abstiendra autant que faire se peut, d'aménager le fond et le bord d'une doline.

Les systèmes de protection et de prévention doivent être déterminés et dimensionnés par une étude spécifique de l'aléa. Chaque cas a sa solution spécifique.

Description des phénomènes

Les glissements de terrain sont des déplacements lents (quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) d'une masse de terrain cohérente le long d'une surface de rupture généralement courbe ou plane. Les coulées de boues résultent de l'évolution des glissements et prennent naissance dans leur partie aval. Ce sont des mouvements rapides d'une masse de matériaux remaniés.

L'extension des glissements de terrain 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.

On parle de glissements superficiels dont les signes visibles en surface sont souvent spectaculaires (fissures dans les murs des habitations, bourrelets dans les champs, poteaux penchés...) et de glissements profonds qui présentent moins d'indices observables et qui sont donc plus difficilement détectables.

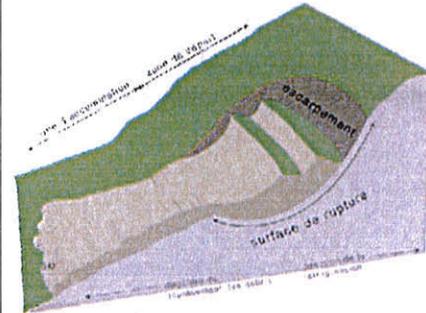


Schéma d'un glissement « parfait »
(Source : DDT71)

Conditions d'apparition

Les conditions d'apparition du phénomène sont liées à la nature et à la structure des terrains, à la morphologie du site, à la pente topographique et à la présence d'eau.

Les matériaux affectés sont très variés (roches marneuses ou schisteuses, 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 mécaniques. La saturation des terrains en eau (présences de sources, fortes précipitations, fonte des neiges brutales) joue aussi un rôle moteur dans le déclenchement de ces phénomènes.

D'autre part, des facteurs déclenchant peuvent être la source d'un glissement. Ces facteurs peuvent être d'origine naturelle (fortes pluies, fonte des neiges qui entraînent une augmentation des pressions interstitielles, affouillement des berges, effondrement de cavités sous-minant le versant, ou séisme, etc.), ou d'origine anthropique suite à des travaux (surcharge en tête d'un talus ou d'un versant déjà instable, décharge en pied supprimant une butée stabilisatrice, rejets d'eau, certaines pratiques culturelles, déboisement, etc.).

Effets et conséquences

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). L'expérience montre que les accidents de personnes dus aux glissements et coulées sont peu fréquents, mais possibles.



Conséquence d'un glissement de terrain (Calvados) – (Source : DIREN)

Principales techniques de protection et de prévention

Les techniques de protections collectives sont à privilégier par rapport aux techniques de protections individuelles. C'est-à-dire que, lors d'une étude, il convient dans un premier temps d'agir sur l'aléa. Si, techniquement et/ou financièrement, cela n'est pas possible, alors l'action sera orientée vers les enjeux.

Il existe 3 grandes familles de techniques de protection et de prévention, qui, de la moins chère à la plus onéreuse, sont :

- les drainages,
- les terrassements,
- la mise en place d'inclusions rigides.

D'un glissement déclaré ou d'une zone à glissements potentiels dépendra l'utilisation d'une technique ou d'une autre. En effet, pour un glissement déclaré d'ampleur maîtrisable, les trois familles sont utilisables alors que pour une zone sensible, un drainage est parfois suffisant.

La prévention la plus simple (donc la moins onéreuse) consiste à maîtriser tous les rejets d'eau (eaux usées, eaux pluviales, eaux de drainage) et à éviter tout terrassement susceptible de déstabiliser le terrain.

Les systèmes de protection et de prévention doivent être déterminés et dimensionnés par une étude spécifique de l'aléa. Chaque cas a sa solution spécifique.

Description des phénomènes

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, etc. 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). La phase d'accélération qui va jusqu'à la rupture est brève ce qui rend ces phénomènes très difficilement prévisibles.

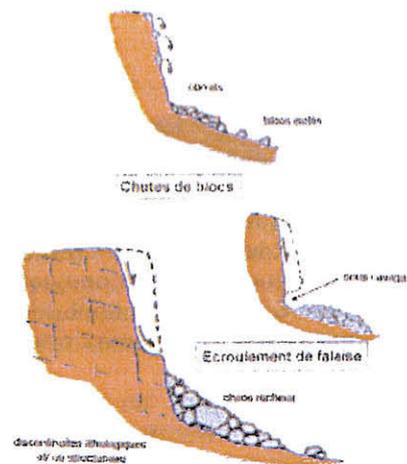
Ces chutes se produisent par basculement, rupture de pied, glissement banc sur banc, à partir de falaises, escarpements rocheux, formations meubles à blocs (moraines par exemple), blocs provisoirement immobilisés sur une pente.

Les blocs peuvent rouler et rebondir, puis se stabiliser dans une zone dite d'épandage. La trajectoire la plus fréquente suit en général la ligne de plus grande pente, mais on peut observer des trajectoires très obliques résultant de la forme géométrique de certains blocs (plaque roulant sur la tranche). Les distances parcourues sont fonction de la taille, de la forme et du volume des blocs éboulés, de la pente du versant, de la nature du sol, de la densité et de la nature de la végétation.

On distingue :

- 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 .

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



Principe des éboulements – (Source BRGM)

Conditions d'apparition

La densité, l'orientation des discontinuités d'origine tectonique, la structure du massif rocheux et la présence de cavités constituent des facteurs de prédisposition à l'instabilité.

La phase de préparation, caractérisée par l'altération et l'endommagement progressif du matériau et accompagnée d'ouvertures limitées des fractures difficiles à déceler, peut être longue.

Le démantèlement des falaises est favorisé par les pressions hydrostatiques (présence de nappes), le développement des systèmes racinaires, le lessivage des fissures par les eaux de pluie ou de ruissellement et l'alternance des cycles gel/dégel.

Effets et conséquences

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 à 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.



Éboulement d'un rocher le 02/12/2009, Plaimbois-(25) – (Source gendarmerie)

Principales techniques de protection et de prévention

Les techniques de protections collectives sont à privilégier par rapport aux techniques de protections individuelles. C'est-à-dire que, lors d'une étude, il convient dans un premier temps d'agir sur l'aléa. Si, techniquement et/ou financièrement, cela n'est pas possible, alors l'action sera orientée vers les enjeux.

Il existe deux types de parades, actives orientées protections collectives et passives destinées autant pour les protections individuelles que collectives.

Les parades actives, qui consistent à s'opposer à la manifestation du phénomène, sont appliquées dans la zone de départ.

Les parades actives comportent les suppressions de masses (purges, reprofilages), la stabilisation et le confortement (soutènements, ancrages, béton projeté, filets et grillages ancrés), la végétalisation, les drainages.

Les parades passives sont destinées à protéger une construction ou un site exposé à des blocs, en interceptant les trajectoires de ces derniers sans empêcher leur départ.

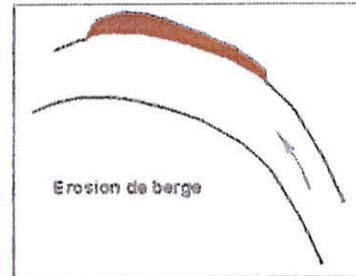
Les parades passives comportent les barrages (merlons avec ou sans fossés), les écrans (écrans rigides, écrans peu déformables, écrans déformables), les déviateurs (déflecteurs, déviateurs latéraux, galeries, casquettes, nappes de grillages ou de filets pendus) et les dissipateurs d'énergie (dispositifs amortisseurs et boisements).

Ces techniques, autant passives qu'actives, ne peuvent être utilisées que pour des phénomènes maîtrisables et non pour des mouvements de versants de grande ampleur. Pour ces derniers, il n'existe pas de solutions techniques. Ils ne peuvent faire l'objet que d'une auscultation ou d'une surveillance dans le cadre de la mise en œuvre d'un plan d'évacuation et de secours.

Les systèmes de protection et de prévention doivent être déterminés et dimensionnés par une étude spécifique de l'aléa. Chaque cas a sa solution spécifique.

Description des phénomènes

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



Principe de l'érosion de berge (Source BRGM)

Conditions d'apparition

Ce phénomène peut provenir de deux causes principales :

- de 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,
- de l'enfoncement des cours d'eau au fil du temps qui conduit également au glissement ou à l'éboulement de la berge.

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).

Effets et conséquences

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.



Érosion de berges à Lods (25) - 2006
(Source DLA)

Principales techniques de protection et de prévention

La mise en place d'une protection de berge engendre la création d'un "point dur". Ainsi la rivière cherchera toujours à éroder en aval de ce « point dur ». Il est donc indispensable avant tout de se poser la question de l'intérêt d'une telle intervention.

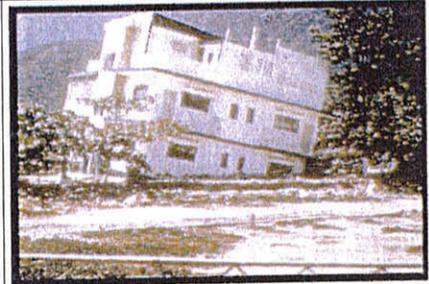
Selon les cas, deux types de techniques sont employées :

- **les techniques "minérales"**, dites d'enrochement. Elles 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. 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 ...).
- **les techniques "végétales"**. Ces techniques 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 (mise en place de plants issus de pépinières) ou le bouturage (opération moins coûteuse qui consiste à prélever des rameaux sur des arbres (aulnes, saules) à proximité).
- **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 matériau 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).

Les systèmes de protection et de prévention doivent être déterminés et dimensionnés par une étude spécifique de l'aléa. Chaque cas a sa solution spécifique.

Description des phénomènes

Le phénomène de liquéfaction des sols peut être un effet induit des séismes. Sous l'effet d'une onde sismique, le sol perd une partie ou la totalité de sa portance. Le sol se comporte alors comme un liquide. Ce phénomène est généralement brutal et temporaire, les sols reprenant leur consistance solide après.



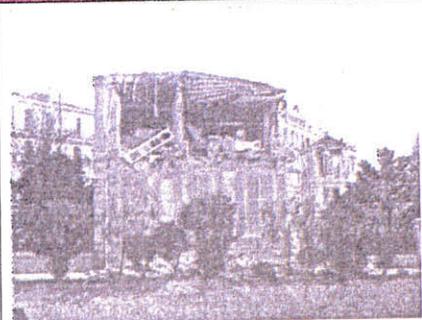
Liquéfaction des sols suite au séisme de Caracas (Vénézuéla) en 1967 (Source USGS)

Conditions d'apparition

Pour produire le phénomène de liquéfaction, une onde mécanique, généralement sismique, importante est nécessaire. Le type de sol est un des facteurs importants de la liquéfaction ; de type sables, limons et vases, ils sont peu compacts et saturés en eau. La présence de nappes souterraines à proximité ou dans ces sols est un facteur aggravant.

Effets et conséquences

Étant donné la rapidité, la soudaineté et le caractère souvent imprévisible de ces phénomènes, 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.



Destruction de bâtiments à Menton (06) suite au séisme de 1887 et à la liquéfaction des sols (Source : Les Tremblements de Terre - FA Fouqué)

Principales techniques de protection et de prévention

Dans le cas des sols liquéfiables, la seule technique de prévention et de protection consiste en une bonne identification des sols, suivie d'un dimensionnement adapté des fondations et de la structure du bâtiment et autres aménagements.

Les systèmes de protection et de prévention doivent être déterminés et dimensionnés par une étude spécifique de l'aléa. Chaque cas a sa solution spécifique.