canton de vaud
LIBERTÉ ET PATRIE

Cartographie des dangers naturels

Vade-mecum

Unité des dangers naturels
Direction générale de l'environnement

ACRONYMES

CCDN	Commission cantonale des dangers naturels
CDN-VD	Projet cantonal de cartographie intégrale des dangers naturels
CN	Carte nationale
COPIL	Comité de pilotage de chaque lot
DTE	Département du territoire et de l'environnement
DGE	Direction générale de l'environnement
DIRNA	Direction des ressources et du patrimoine naturels
DN	Dangers naturels (périmètre DN = périmètre dans lequel une carte DN sera établie)
ECA	Etablissement cantonal d'assurance
EMPD	Exposé des motifs et projet de décret
GEODE	Division géologie, sols et déchets, dépend de la DIRNA
GExDN	Groupe d'experts en dangers naturels (Etat de Vaud)
IGAR	Institut de géomatique et d'analyse du risque de l'université de Lausanne
LAT	Loi sur l'aménagement du territoire
MNT	Modèle numérique de terrain
MO	Maître de l'ouvrage
OAT	Ordonnance sur l'aménagement du territoire
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OIT	Office de l'information sur le territoire (VD)
OPAM	Ordonnance sur les accidents majeurs
PC	Permis de construire
PDN	Périmètre de dangers naturels dans lequel une carte DN sera établie
PGA	Plan général d'affectation
PPA, PQ	Plan partiel d'affectation, plan de quartier
SESA	Service des sols, eaux et assainissement, dès 2013 DGE DIRNA EAUX
SDT	Service du développement territorial
SFFN	Service des forêts, de la faune et de la nature, dès 2013 DGE DIRNA FORETS
SSCM	Service de la sécurité civile et militaire
SG-DTE	Secrétariat général du Département du territoire et de l'environnement
SIG	Système d'information géographique
UDN	Unité des dangers naturels

Phénomènes (aléas)

AVA	Avalanches
CPB	Chutes de pierres et de blocs
EBO	Eboulements, écroulements
EFF	Effondrements (dolines) et affaissements
ERO	Erosion par les crues
GPP	Glissements de terrain permanents
GSS	Glissements de terrain spontanés et coulées de terre
INO	Inondations par les crues
LTO	Laves torrentielles et coulées de boue

Produits

CCO	Carte des zones de conflits
CDN	Carte de dangers naturels
CEV	Cadastre des événements (carte)
CID	Carte indicative des dangers naturels
CIDE	Carte indicative des dangers naturels liés aux inondations (E pour Eau)
CIN	Carte des intensités
CMP	Carte des points faibles et des mesures de protection
CPH	Carte des phénomènes
CSD	Carte synoptique (ou synthétique) des dangers
CPR	Carte des processus

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 4

1. INTRODUCTION 5

2. PROJET DE CARTOGRAPHIE DES DANGERS NATURELS 6

3. LES DANGERS NATURELS 8

3.1 ALÉAS NATURELS 8

3.2 INONDATIONS PAR LES CRUES DES COURS D'EAU 9

3.3 LAVES TORRENTIELLES ET COULÉES DE BOUE 10

3.4 GLISSEMENTS DE TERRAIN PERMANENTS 12

3.5 GLISSEMENTS DE TERRAIN SPONTANÉS ET COULÉES DE TERRE 13

3.6 CHUTES DE PIERRES ET DE BLOCS, ÉBOULEMENTS, ÉCROULEMENTS 14

3.7 AFFAISSEMENTS ET EFFONDREMENTS 16

3.8 AVALANCHES 17

4. CARTOGRAPHIE DES DANGERS NATURELS 19

4.1 ÉLABORATION DES CARTES 19

4.2 CARTES DE DANGERS NATURELS ET PRODUITS ASSOCIES 23

5. LES CARTES DES DANGERS PAR ALÉA 32

5.1 CARTE DES DANGERS D'INONDATION PAR LES CRUES (INO) 32

5.2 CARTE DES DANGERS DE LAVE TORRENTIELLES (LTO) 33

5.3 CARTE DES DANGERS DE GLISSEMENT DE TERRAIN PERMANENT (GPP) 34

5.4 CARTE DES DANGERS DE GLISSEMENTS DE TERRAIN SPONTANÉS ET COULÉES DE TERRE (GSS) 36

5.5 CARTE DES DANGERS DE CHUTE DE PIERRES ET BLOCS (CPB), D'ÉBOULEMENT ET D'ÉCROULEMENT (EBO) 37

5.6 CARTE DES DANGERS D'AFFAISSEMENT ET EFFONDREMENT (EFF) 38

5.7 CARTE DES DANGERS D'AVALANCHE (AVA) 39

6. LA GESTION DES RISQUES NATURELS 41

6.1 SIGNIFICATION DES DEGRÉS DE DANGER 41

6.2 DANGERS NATURELS, RISQUES ET OBJECTIFS DE PROTECTION 44

6.3 GESTION INTÉGRÉE DU RISQUE 46

7. GLOSSAIRE 48

8. BIBLIOGRAPHIE 49

AVANT-PROPOS

Le canton de Vaud n'est pas à l'abri de catastrophes naturelles. Tout le monde se souvient des ravages des inondations à Roche en 2007. La prévention du danger à la source est donc une priorité pour le Conseil d'État, d'où la nécessité et l'urgence d'élaborer des cartes de dangers naturels qui permettront à la population et aux communes d'être fixées sur les zones potentiellement dangereuses.

Plusieurs raisons expliquent la multiplication des sinistres qui ont touché la Suisse et notre canton ces dernières années : la pression accrue sur l'occupation du territoire et la mobilité de la population, la vulnérabilité des infrastructures et l'utilisation de l'espace inadaptée aux dangers. Il faut y ajouter les changements climatiques. Cette tendance devrait se renforcer selon les experts de l'Office fédéral de l'environnement.

Les cartes des dangers naturels révèlent par exemple que plus de 13'000 hectares de terre sont actuellement menacés d'inondations. Ce qui entraînerait une facture de plus de 10 milliards de francs pour l'ensemble des dommages potentiels, selon l'Office fédéral de l'environnement. Le canton de Vaud doit donc se préparer à affronter ces risques.

On parle de risque lorsque des personnes ou des biens sont menacés par les dangers. Un bloc qui finira dans une forêt ou dans une prairie ne nécessite pas de mesure de protection particulière. Mais la présence d'un village ou d'une infrastructure sur sa trajectoire change complètement son impact et le risque encouru.

L'État peut contribuer à limiter ces catastrophes par une gestion intégrée des risques naturels. Cette gestion consiste à prendre toutes les mesures pour en diminuer les conséquences néfastes sur la population. Une fois le risque identifié, il s'agit de prévenir, de réagir en cas d'événement ou de catastrophe, et enfin de reconstruire. C'est la Commission cantonale des dangers naturels qui est chargée d'organiser toute cette gestion.

Plus de 300 communes ont réalisé, avec le soutien du Département du territoire et de l'environnement, les cartes de dangers naturels, afin de mieux prendre en compte la réalité des forces naturelles. Ces cartes se concentrent sur les dangers dits gravitaires comme les crues, les glissements, les avalanches, les chutes de pierres. Ces dangers peuvent être en grande partie maîtrisés par des mesures actives telles que les ouvrages de protection ou par des mesures passives telles que l'aménagement du territoire et les plans d'intervention.

Ces cartes de danger sont aujourd'hui réalisées. Les communes et le canton vont ensemble définir les mesures à prendre. Puis les plans généraux d'affectation (PGA) seront mis à jour en intégrant ces données et ensuite mis à l'enquête publique. Cette démarche est actuellement en cours dans toute la Suisse.

Ce vade-mecum a pour but de présenter les notions de base relatives aux cartes des dangers naturels et aux risques naturels.

Je suis convaincue que cette lecture vous sera d'une grande utilité. Je me réjouis de poursuivre notre collaboration dans le but de mieux connaître les dangers et les risques naturels qui menacent notre population afin de mieux les appréhender. Car nous devons agir aujourd'hui pour faire face aux risques de demain.

Jacqueline de Quattro, Conseillère d'État
Cheffe du Département du territoire et de l'environnement

1. INTRODUCTION

Les **phénomènes naturels** liés à la dynamique de la Terre sont multiples et parfois préjudiciables pour l'homme et son environnement, en particulier lorsqu'ils se traduisent par une libération brutale d'énergie, par une montée du niveau des eaux ou par d'importants mouvements de terrain.

L'histoire récente du canton de Vaud est jalonnée d'**événements** qui rappellent que notre territoire n'est pas épargné par les aléas naturels tels que les crues dévastatrices de la Baye de Montreux et de la Veraye en 1927, le débordement du Rhône par rupture de digue en 1935, la lave torrentielle du Pissot en 1995, les avalanches dans nos Préalpes en 1999, les glissements de terrain sur les communes de Vallamand et Mur en 2001, les crues de la Grande Eau aux Diablerets en 2005 et de l'Eau Froide à Roche en août 2007, sont des exemples d'événements vaudois à l'origine de grosses perturbations, de dommages importants et parfois de pertes humaines.

Ces vingt dernières années, nous avons assisté à une **recrudescence des dommages** liés à des événements critiques qui, sans être vraiment extrêmes, provoquent pourtant toujours plus de dégâts, notamment à cause de l'augmentation et de la concentration des biens de valeur. En effet, l'exiguïté du territoire disponible et l'extension lente, mais constante, des zones à bâtir ont conduit les autorités à autoriser des constructions sur des terrains qui, par la suite, se sont révélés être exposés à des dangers naturels (proximité de cours d'eau, plaines alluviales, pieds de falaises, zones d'avalanches).

Jusqu'à peu, la protection contre les **dangers** naturels était conduite de manière essentiellement réactive et l'on a pu constater clairement que les coûts entraînés par les mesures de protection et de reconstruction après un événement grevaient lourdement les finances publiques que les particuliers.

Face à cette situation, la Confédération et les cantons ont décidé de mettre en œuvre une politique anticipative de **gestion intégrée** des risques naturels, c'est-à-dire planifiée et coordonnée. Les objectifs sont de réduire le danger par la construction d'ouvrages de protection, mesures dites **actives**, mais aussi à l'éviter par des mesures préventives, dites **passives**, intégrant l'affectation de zones à bâtir en dehors de ces secteurs de danger, la mise en place de systèmes d'alarme et d'information à la population et la planification d'interventions en cas de catastrophe.

L'établissement des **cartes de dangers naturels** (CDN) constitue la première étape du processus de gestion intégrée. Chaque canton est tenu d'organiser sa propre démarche, avec le soutien financier de la Confédération. Dans le canton de Vaud, l'acquisition des données de base liées à l'aménagement du territoire est une obligation communale. Cependant, pour activer la réalisation des cartes de dangers naturels, respecter le délai imposé par la Confédération et bénéficier des subventions fédérales, le Grand Conseil a décidé d'appuyer les communes et de piloter la mise en œuvre de cette cartographie. Le territoire du canton a été subdivisé en seize "lots" de dimension comparable, correspondant chacun à une entité géographique et géomorphologique distincte, en général un bassin versant principal ou plusieurs bassins versants limitrophes. Chaque lot rassemble une problématique homogène des dangers naturels et a fait l'objet d'un mandat spécifique avec un consortium doté de compétences multidisciplinaires pour couvrir l'ensemble des dangers.

Ce vade-mecum a été réalisé pour faciliter la compréhension des cartes de dangers naturels dans les communes et pour accompagner leur publication sur le guichet cantonal de cartographie (*www.geoplanet.vd.ch*).

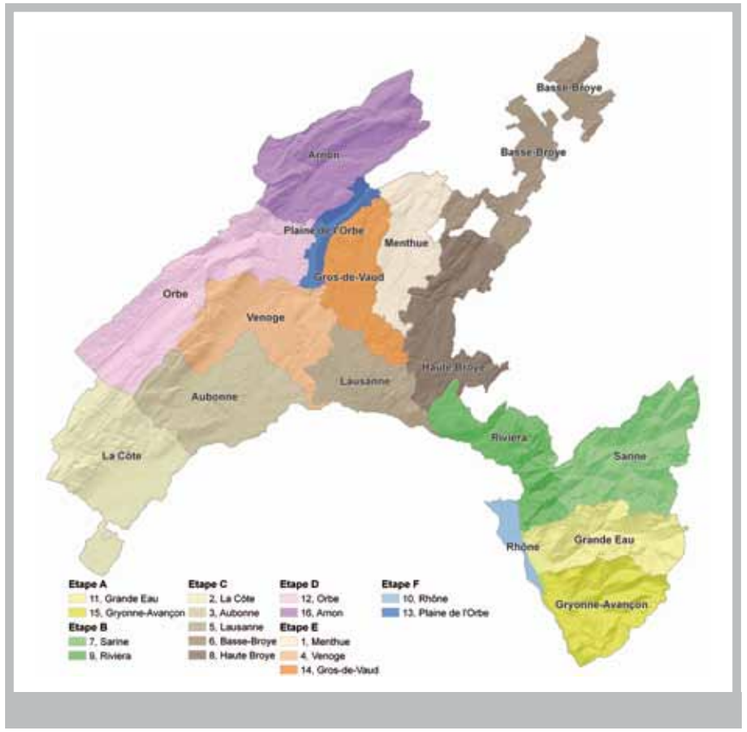
2. PROJET DE CARTOGRAPHIE DES DANGERS NATURELS

Pour couvrir l'ensemble du territoire en un laps de temps restreint (6 ans), une **approche multi-dangers** a été appliquée à tous les lots. Une telle démarche a permis d'imposer une méthodologie et une base de données uniques, d'apporter un standard de classification homogène sur l'ensemble du territoire cantonal, d'exiger la fourniture de toutes les données et d'assurer des économies d'échelle en traitant simultanément tous les dangers d'un même bassin versant.

Les communes ont participé, avec le soutien logistique et administratif du Canton, à la réalisation du projet dans le **lot** impliquant leur territoire. Pour consolider cette coopération, le Canton et les communes d'un même lot se sont regroupés au sein d'un partenariat régi par **convention**. Celle-ci fixait le principe du comité de pilotage (COPIL) et les responsabilités de chacun, précisait les conditions de la conduite opérationnelle des mandats (mise en soumission et adjudication, suivi et réception des études, validation des étapes de projet, etc.) et consolidait la clé de répartition des coûts et des subventions. Le projet a été subventionné à hauteur de 93 % par la Confédération, le Canton et l'ECA. Au terme des travaux, les cartes de dangers naturels sont publiées à l'échelon communal.

Quelques chiffres

- 269 communes concernées sur 309 (avant fusions).
- 956 périmètres de dangers naturels représentant 306 km², soit 10.8 % du territoire.
- 638 km de cours d'eau, 265 km de torrent, 145 km de falaises instables, 270 km² de terrain en mouvement et 45 km de zones de départ d'avalanches.
- 2400 événements répertoriés (tous dangers confondus).
- 12'000 cartes et produits dérivés.



Historique du projet de réalisation des cartes de dangers naturels

2000	Le Conseil d'État crée la Commission cantonale en matière de dangers naturels (CCDN) et lui assigne la tâche de piloter le projet d'établissement des cartes de dangers dans le canton de Vaud.
2001-2002	Développement d'une méthodologie d'établissement des cartes de dangers naturels - intitulée CADANAV - par l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) sur la base des recommandations fédérales.
2006	Transmission aux communes par le SESA des cartes indicatives des inondations par les crues (CIDE).
2007	Adoption du décret par le Grand Conseil accordant un crédit de CHF 2'673'000.- pour le projet CDN-VD.
2008	Inscription de la problématique "Dangers naturels" dans le programme de législature. Engagement d'un Chef de projet.
2009	Envoi aux communes des cartes indicatives avalanches, chutes de blocs, laves torrentielles et des glissements de terrain par le SFFN. Établissement des cahiers des charges des études. Prise de contact avec les Préfets, avec les communes dans le cadre des présentations du SSCM concernant les "analyses risques majeurs". Rencontre des Syndics organisées par les Préfectures. Démarrage des mandats des lots "pilotes" Grande Eau et Gryonne-Avançon.
2010	Engagement d'une équipe de projet, délimitation des périmètres à cartographier sur l'ensemble du territoire vaudois. Rencontres dans les communes (par groupe, 66 séances organisées pour présenter le projet, valider les périmètres à cartographier et finaliser les conventions et les clés de répartition). Démarrage des mandats des lots Sarine et Riviera.
2011	Appel d'offres (marchés publics) de tous les lots (préparation des dossiers AO, procédures ouvertes, sur invitation ou de gré à gré selon les lots, analyse des offres, adjudication par les COPIL). Contrats et démarrage des mandats de tous les lots.
2012-2013	Suivi des mandats, séances de COPIL, élaboration des produits finaux, consultation des municipalités.
2014	Publication des cartes des dangers naturels de toutes les communes vaudoises.

3. LES DANGERS NATURELS

3.1 ALÉAS NATURELS

L'**aléa** est la manifestation d'un phénomène ou "processus" naturel d'occurrence et d'intensitédéfinies. Au sens large, les dangers naturels recouvrent trois types de phénomènes dangereux classés selon leur mécanisme et les moyens de prévention à mettre en œuvre pour s'en protéger :

- Les phénomènes **climatiques** (tempête, grêle, foudre, vague de chaleur), qui se développent essentiellement dans la biosphère et s'étendent sur de grandes régions; seules des mesures constructives au niveau des bâtiments peuvent être prises pour s'en prémunir. La localisation et l'intensité de ces phénomènes sont très aléatoires localement, et il est très difficile d'établir des cartes d'exposition suffisamment précises pour être utilisées dans l'aménagement du territoire.
- Les phénomènes **sismiques** ou "tectoniques", générés dans le sous-sol et concernant de vastes portions de territoire (tremblement de terre). Les mesures se prennent ici aussi au niveau des bâtiments avec des normes de construction adaptées. Des cartes d'exposition à grande échelle sont disponibles (carte du zonage sismique de la Suisse et cartes des sols de fondation), mais elles ne sont pas utilisées en terme d'aménagement du territoire et d'affectation des zones en raison de la fréquence extrêmement faible de ces événements.
- Les phénomènes **gravitaires** engendrés par l'action de la gravité, comprenant notamment les aléas hydrologiques et géologiques faisant l'objet de cartes de dangers naturels. Leur zone d'effet est imposée par la topographie et leur intensité peut être évaluée au regard de leur fréquence, c'est pourquoi l'on parle aussi de "dangers naturels **prévisibles**". Des mesures de prévention peuvent être mises en oeuvre. Ils ont donc des conséquences directes dans la gestion du territoire et impliquent fortement les services publics.

On recense aujourd'hui 269 communes vaudoises plus ou moins concernées par la manifestation de phénomènes naturels. Les territoires menacés et leurs problématiques peuvent être très différents : plaines alluviales, montagnes, petites communes ou agglomérations importantes, etc. Mais dans tous les cas, le risque est induit par l'exposition d'une activité ou d'un aménagement à l'un de ces aléas.

Les aléas gravitaires suivants ont été pris en compte et analysés dans les études. Ils font tous l'objet d'une carte de dangers distincte :

Dangers hydrologiques

- Inondations par les crues des cours d'eau.
- Laves torrentielles et coulées de boue.

Dangers géologiques

- Glissements de terrain permanents.
- Glissements de terrain spontanés et coulées de terre.
- Chutes de pierres et de blocs, éboulements de roche, écroulements.
- Affaissements et effondrements (dolines).

Dangers nivologiques

- Avalanches.

Les dangers suivants ne font pas – ou pas encore – l'objet d'une cartographie systématique :

- Les phénomènes d'**érosion dans les cours d'eau** ne font plus l'objet d'une carte de danger. Leurs effets sur les cours d'eau, de même que l'érosion des lits, sont traités dans le thème Inondations comme processus associé à corréler avec l'hydraulique.
- Les dangers naturels induits par les **crues des lacs**, les **remontées de nappe aquifère** et les concentrations d'**eau de ruissellement**.
- Les phénomènes de **solifluxion** ou de **reptation**, ainsi que les **tassements par retrait des argiles**, liés au fluage des couches superficielles des sols argileux qui ne constituent pas un réel danger au sens de l'aménagement du territoire.

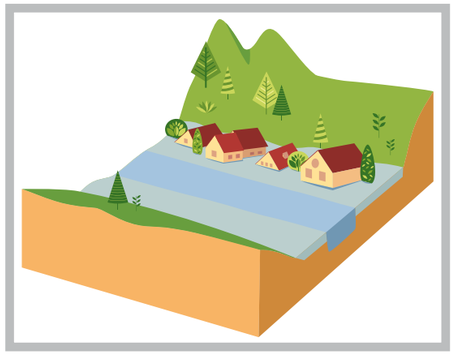
- Les **chutes de séracs** et de glacier, les **éboulements de glace** (les zones concernées sont extrêmement limitées dans le canton de Vaud).
- Les **dangers biologiques** tels que les épidémies, épizooties ou invasions d'insectes. Des mesures de prévention, médicales ou biologiques, peuvent être prises selon la caractéristique du danger couru.
- Les **dangers anthropiques** ou le déclenchement de phénomènes par un humain ne sont pas pris en compte. Cela concerne en particulier :
  - Des chutes de pierres déclenchées par des grimpeurs ou des randonneurs.
  - Des avalanches déclenchées par des skieurs ou des minages.
  - Des fuites de canalisations générant des glissements de terrain ou des coulées de boue.
  - Des accidents liés à l'affaissement ou l'effondrement des galeries souterraines d'origine humaine (anciennes exploitations minières)
  - Des dangers dits "technologiques" liés aux activités humaines (centrale chimique, accident de transport, attentats, etc.). Les accidents majeurs font l'objet d'une planification et d'une législation spécifique (Ordonnance fédérale sur la prévention des accidents majeurs OPAM). Dans ces cas, on mesure le risque lors de l'implantation de l'installation critique pour prévoir des mesures préventives ou d'alertes en cas d'événements.

3.2 INONDATIONS PAR LES CRUES DES COURS D'EAU

Une **crue** est caractérisée par l'augmentation rapide du débit et du niveau de l'eau d'un cours d'eau. Les crues peuvent charrier d'importantes quantités de sédiments (blocs, galets, sable) et de débris végétaux (branches, arbres). Elles sont principalement dépendantes des caractéristiques du bassin versant, de la saturation du sol en eau, de la végétation et de la quantité de matériaux mobilisables. On distingue deux types de crues :

- Les **crues lentes** qui résultent de longues périodes de pluie lors desquelles l'augmentation puis la diminution du niveau de l'eau se fait de façon progressive sur plusieurs jours.
- Les **crues rapides ou torrentielles** qui se forment en peu de temps suite à un événement pluvieux très court mais de forte intensité. Les variations du niveau de l'eau sont brutales et de courte durée.

Les principaux phénomènes dangereux liés aux crues sont les inondations et l'érosion des berges.



- Les **inondations** se produisent lorsque le cours d'eau déborde de son lit, naturel ou artificiel, et inonde les terrains alentours, en raison soit d'un déficit de capacité, soit d'une obstruction partielle ou totale de sa section. Les inondations peuvent avoir un caractère **statique**, lorsque l'eau stagne ou s'écoule très lentement avec une prédominance de la montée du niveau d'eau, ou un caractère **dynamique** avec des écoulements hors du lit mineur à vitesse élevée pouvant emporter des biens et des personnes.

- **L'érosion des berges** est liée à un fort débit qui emporte les éléments solides des berges - en provoquant parfois leur écroulement - et modifie le tracé des cours d'eau. Les installations proches des cours d'eau peuvent être menacées, endommagées, voire détruites par cette érosion des berges.

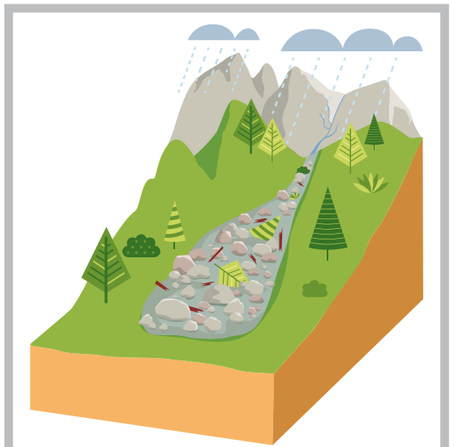
Types de dommages

- Emportement de personnes, noyades.
- Dégâts aux constructions.
- Destruction et emportement de biens matériels.
- Coupures de voies de communication.
- Dégradation des terres arables.

Débordement de l'Arbogne, à Corcelles-près-Payerne, avril 2006
Photo : C.-A. Davoli, SESA.

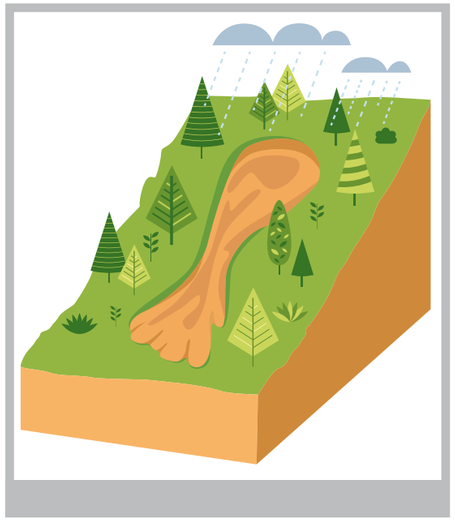
3.3 LAVES TORRENTIELLES ET COULÉES DE BOUE

Une **lave torrentielle** est un mélange d'eau, de sédiments et de bois comprenant une proportion élevée de matériaux solides (environ 30 à 60 %) et qui s'écoule à grande vitesse (jusqu'à 60 km/h) dans le lit de certains torrents ou cours d'eau. Lorsque le lit du torrent est peu marqué, on parle plutôt de **coulées de boue**. Les laves torrentielles se produisent dans les zones où un sous-sol géologique sensible à l'érosion fournit de grandes quantités de matériaux meubles. Pour les provoquer, il faut beaucoup d'eau (pluie, fonte de neige voire le dégel du permafrost qui est un phénomène limité à l'est vaudois) et une déclivité d'au moins 15 %. Ces diverses conditions sont réunies dans un grand nombre de bassins versants présentant un relief marqué.



Lave torrentielle

Les laves torrentielles ont un fort pouvoir érosif et sont capables de charrier d'importants volumes de matériaux, dont des blocs de plusieurs tonnes, des troncs d'arbres, des véhicules etc. Elles ont régulièrement pour conséquence secondaire une érosion profonde du lit des torrents et une déstabilisation des berges et des versants. Une obstruction du lit de rivière par le matériel transporté peut générer des débordements, en particulier sur les cônes alluviaux, causant un épandage des matériaux entraînés et des dommages très importants.



Types de dommages

- Emportement et ensevelissement de personnes.
- Dégâts aux bâtiments.
- Ensevelissement, destruction et emportement de biens matériels.
- Coupures et destruction des voies de communication et autres réseaux.
- Importants dépôts de matériel érodé et de bois transportés.

Lave torrentielle à Villeneuve, Plan Cudrey, août 2007
Photo : J.-L. Gay, SFFN

3.4 GLISSEMENTS DE TERRAIN PERMANENTS

Un **glissement de terrain permanent** est un mouvement de terrains meubles ou rocheux sur une pente, actionné par la gravité et des forces extérieures (notamment hydrauliques et hydrogéologiques) suite à une modification des conditions aux limites et à une rupture de l'état d'équilibre.

Il se produit sur des pentes moyennes à fortes, le plus souvent entre 10° et 40°, le long d'une ou plusieurs surfaces de glissement plus ou moins continues. Les mouvements sont généralement lents – de quelques millimètres par an à quelques mètres par jour - et les profondeurs très variables – de quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres. Les glissements permanents présentent, à long terme, des déplacements continus avec des phases d'accélération et de réactivation. Leur déclenchement est fortement influencé par les infiltrations et les circulations d'eaux souterraines. Les travaux anthropiques, tels que les fouilles et les terrassements, peuvent aussi être des facteurs de déclenchement.

Dans la plupart des cas, les glissements permanents sont connus et répertoriés ("glissements avérés").

Types de dommages

- Les personnes sont rarement menacées.
- Déformations, fissures ou affaissements lents des bâtiments et des infrastructures (ouvrages, conduites, voies de circulation).

Route Aigle - Le Sépey déformée par le glissement de terrain de La Frasse.
Photo : NCG-Norbert.

3.5 GLISSEMENTS DE TERRAIN SPONTANÉS ET COULÉES DE TERRE

Un **glissement de terrain spontané** est un mouvement de terrain se déclenchant de façon subite avec une vitesse instantanée élevée dans des pentes où la couche superficielle se trouve à la limite de son état d'équilibre.

Une **coulée de terre** est un déplacement rapide d'un mélange de couverture végétale, de matériaux meubles et d'eau sur des pentes relativement raides, sans qu'une surface de glissement ne soit visible.

Ces phénomènes sont très sensibles aux précipitations intenses qui leur procurent un caractère inattendu. Ils affectent en général les sols récents d'origine glaciaire présentant de fortes pentes. La dégradation temporaire de la qualité du sol, notamment par saturation d'eau, entraîne soit des glissements avec des arrachements superficiels mettant à nu la surface, soit des épanchements sans limites nettes.

Contrairement aux glissements de terrain permanents, la masse des glissements spontanés ne conserve que partiellement sa consistance et sa physionomie, voire plus du tout dans le cas des coulées de terre et de boue.

Types de dommages

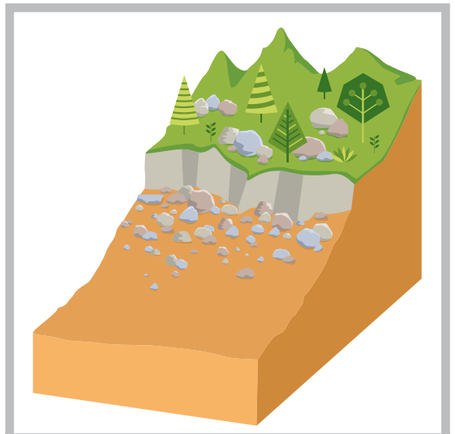
- Ensevelissement de personnes.
- Dommages aux bâtiments et aux infrastructures se situant dans les niches d'arrachement.
- Dégâts par les matériaux charriés dans les zones de transit ou de dépôt.
- Emportement, destruction et ensevelissement de biens matériels, mise hors-service des infrastructures.

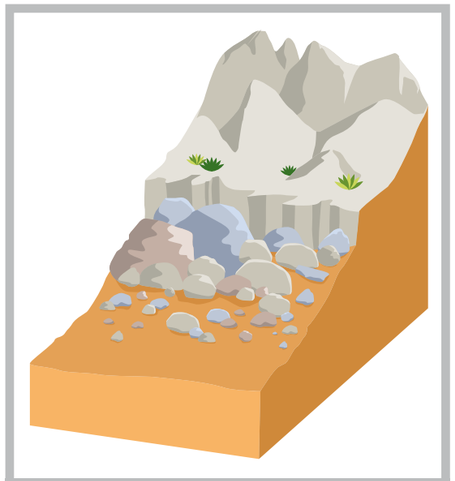
Glissement de terrain spontané à Erniaule (Vallon de la Tinière, Villeneuve), août 2002
Photo : J.-L. Gay, SFFN.

3.6 CHUTES DE PIERRES ET DE BLOCS, ÉBOULEMENTS, ÉCROULEMENTS

Ces différents phénomènes sont des mouvements brusques et rapides de masses rocheuses, fragilisées par l'action de l'érosion et des processus d'altération et soudainement mises en mouvement. On distingue les phénomènes suivants, en fonction de leur volume et de leur récurrence :

- Les **chutes de pierres et de blocs** sont des événements sporadiques et récurrents de relativement faibles volumes. Les vitesses de chute varient généralement entre 5 et 30 m/s.
- Les **éboulements** sont des volumes de roche importants (entre 100 et 100'000 m^3 par événement), plus ou moins fragmentés et qui se détachent en bloc du massif rocheux. Les vitesses de transport varient entre 10 et 40 m/s. La récurrence des événements dans un même massif rocheux est peu évidente et difficile à déterminer. C'est très souvent cet aspect de l'instabilité qui permet de différencier l'éboulement d'une chute de blocs ; dès lors, on parle de petit éboulement pour des volumes de 20 à 100 m^3.
- Les **écroulements** sont des éboulements de très grande ampleur caractérisés par des volumes supérieurs à 1'000'000 m^3, des vitesses de chutes d'au moins 40 m/s et une propagation sur des étendues beaucoup plus importantes ; sauf cas très particuliers, ils ne font pas l'objet d'une carte de dangers car leur détection est presque impossible.





Les mouvements géologiques du sous-sol et les processus chimiques de dissolution provoquent de très fines fissures et des fentes dans lesquelles l'eau s'infiltre. La roche éclate et se disloque sous l'alternance du gel et du dégel, et les pierres et blocs de la masse devenus instables se mettent en mouvement sous l'effet de vibrations, des précipitations ou de leur propre poids.

Selon la déclivité et la rugosité du terrain, les pierres et les blocs de rochers en mouvement se fragmentent et se déplacent en direction de la vallée en tombant, en rebondissant, en sautant, en roulant, ou en glissant. Les vitesses observées dans la zone de transit se situent entre 20 et 100 km/h.

En principe, les pierres et blocs de rochers s'immobilisent lorsque la déclivité de la pente devient inférieure à 30°. La zone d'atterrissement se couvre alors progressivement d'éboulis, de pierres ou de blocs.

Types de dommages

- Décès de personnes suite à des impacts, y compris par des pierres de petite taille.
- Dégâts aux bâtiments.
- Dégâts aux biens matériels.
- Dégâts aux infrastructures et coupures de voies de communications.

Bloc retenu par les ouvrages de protection à Veytaux, juillet 2003
Photo : J.-L. Gay, SFFN.

3.7 AFFAISSEMENTS ET EFFONDREMENTS

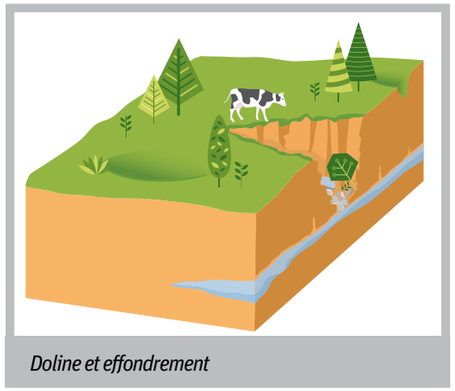
Certaines roches, tels les calcaires, les dolomies ou le gypse, sont facilement dissoutes par des eaux météoriques ou souterraines chargées en gaz carbonique. Dans ces roches, des cavités et des conduits souterrains peuvent se former et s'élargir au fil du temps, en particulier lorsque les écoulements d'eau se concentrent en certains endroits (processus de "karstification"). Ce phénomène conduit entre autre à la formation de grottes, avens, lapiez et autres formes bizarroïdes bien connues dans les zones à gypse du Chablais ou les plateaux calcaires du Jura.

La création de vide au sein du massif rocheux diminue sa résistance à la charge, et il peut s'ensuivre un effondrement partiel ou total des terrains meubles situés au-dessus des cavités. Les effondrements ponctuels et bien localisés sont marqués dans le paysage par la présence de **dolines**, alors que la signature des effondrements généralisés est souvent plus diffuse.

On distingue les affaissements des effondrements par leur dynamique de formation :

- Les **affaissements** ont une évolution lente et régulière (formation de dolines et de cuvettes dues au fléchissement lent et progressif des terrains de couverture).
- Les **effondrements** se manifestent de manière spontanée et brutale (formation d'excavations grossièrement cylindriques).

Ces dynamiques sont évolutives et difficilement prévisibles et les mesures de protection ne sont pas



Doline et effondrement

évidentes à mettre en place. En terrain calcaire, la dissolution est relativement lente et n'évolue guère à l'échelle humaine. Dans des terrains salins ou gypseux, cette karstification peut être beaucoup plus rapide (quelques dizaines d'années) et entraîner des dommages aux bâtiments et aux infrastructures.

L'entraînement de matériau fin par érosion interne dans les sols hétérogènes (suffosion) ou la fusion lente de glacier rocheux ou de masse de glace dans les sols (pied du Jura) entraînent aussi des phénomènes similaires.

Types de dommages

- Ensevelissement de personnes et de biens matériels.
- Déformation ou effondrement des bâtiments et des infrastructures.

Effondrement d'une doline à Bex, juin 2005
Photo : ECA.

3.8 AVALANCHES

Une **avalanche** est le mouvement soudain et rapide d'une masse de neige ou de glace. Cette masse peut couler, glisser par plaques ou présenter l'aspect d'un nuage de neige tourbillonnant (aérosol). Les avalanches sont susceptibles de charrier des matériaux étrangers tels que des pierres, des arbres ou de la terre.

Le déclenchement d'une avalanche dépend de divers facteurs, notamment des précipitations neigeuses, du vent, de la température, de la structure du manteau neigeux et des caractéristiques du terrain (en particulier les pentes supérieures à 28°). Son ampleur dépend de la quantité de neige mise en mouvement ainsi que de la topographie du site.

On distingue trois principaux types d'avalanches :

- **L'avalanche de plaque de neige** se déclenche lorsque le manteau neigeux présente une structure en strates peu solidaires les unes des autres, souvent à la suite d'épisodes neigeux et/ou venteux. Le déclenchement se fait de manière spontanée ou à la suite du passage d'un skieur, mais reste relativement peu prévisible, les faiblesses dans la structure du manteau neigeux pouvant persister sur de longues périodes. Des portions importantes du versant peuvent se détacher et la plaque de neige, une fois en mouvement, se fragmente de deux manières en fonction de la qualité de la neige :

- Avalanches coulantes : lorsque le manteau neigeux est chargé en eau, suite à des précipitations ou à une hausse des températures. Sa vitesse d'écoulement est en général de l'ordre de 20 à 80 km/h et son déclenchement se produit le plus souvent au printemps.
- Avalanches sèches : se déclenchent généralement juste après ou pendant de fortes précipitations de neige générant un important manteau qui n'a pas le temps de se stabiliser. Elles se déplacent surtout par écoulement, avec des

Avalanche sur un bâtiment agricole à Champillon, Les Mosses, janvier 2008
Photo : J.-L. Gay, SFFN

vitesses de 50 à 100 km/h. Dans les fortes pentes, la plaque de neige peut rapidement perdre sa cohésion, évoluer sous forme d'aérosol mêlant air et neige et se transformer en avalanche poudreuse pouvant atteindre des vitesses de 200 à 300 km/h.

- **Avalanche de neige sans cohésion** : zone de déclenchement ponctuelle, avec une extension en forme de cône. Elles peuvent êtres constituées de neige mouillée ou sèche. Elles se déclenchent souvent de manière spontanée pendant ou juste après des chutes de neige.
- **Le glissement de neige** est un déplacement relativement lent (plusieurs millimètres ou mètres par jour) de toute l'épaisseur du manteau neigeux sur un substrat lisse - talus herbeux ou dalle rocheuse, lubrifié par la fonte de sa base après que le sol se soit réchauffé. La perte d'adhésion du manteau neigeux au sol entraîne sa masse vers l'aval, des fissures apparaissent sur toute son épaisseur et s'élargissent au fil des jours (phénomène de "gueule de baleine"). Le processus peut rapidement s'accélérer et donner lieu à une avalanche de glissement pouvant se produire à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit et toujours de manière spontanée. Elles ne peuvent pratiquement pas être déclenchées par explosifs ou par des personnes.

Types de dommages

- Ensevelissement de personnes, souvent mortel.
- Endommagement, voire destruction, de bâtiments.
- Ensevelissement et destruction de biens matériels.
- Endommagement, voire destruction d'infrastructures et coupures des voies de communication.
- Endommagement et destruction de forêts.

4. CARTOGRAPHIE DES DANGERS NATURELS

4.1 ÉLABORATION DES CARTES

Généralités

Les cartes de dangers naturels sont établies par des **experts**, sur la base des recommandations édictées par l'Office fédéral de l'environnement. Ce sont des produits techniques et scientifiques découlant de l'analyse détaillée des événements connus, de la configuration du territoire et des relevés de terrain, des données spécifiques au phénomène, de calculs et de modélisations, et de vérification des résultats sur le terrain.

Les cartes de dangers naturels indiquent des **degrés de danger** qui qualifient le potentiel des événements en fonction de leur intensité et de leur récurrence. Les degrés de danger ont été fixés par l'Office fédéral de l'environnement de manière à établir une correspondance avec des comportements ou des prescriptions à adopter (cf. chapitre 4).

L'**intensité** est la force d'un événement. Elle est formulée en hauteur d'eau ou pression (inondations), en hauteur de dépôt et vitesse (laves torrentielles), en énergie (chutes de pierre), en vitesse (glissements de terrain), en hauteur de terre (glissements spontanés) ou en pression (avalanches).

La **récurrence** d'un événement est définie par sa fréquence ou - autrement dit - la probabilité de son occurrence sur une certaine période. Elle est exprimée en temps de retour, c'est-à-dire la probabilité qu'un événement se passe en moyenne au moins une fois durant ce laps de temps. Les valeurs jalons pour les dangers naturels sont 30 ans (T_r30), 100 ans (T_r100) et 300 ans (T_r300).

Les indications suivantes permettent de caler un événement particulier sur l'échelle des fréquences : le T_r30 ans se passe en moyenne une fois tous les 30 ans (une personne peut l'observer 2-3 fois dans sa vie), le T_r100 peut être observé une fois dans une vie mais pas forcément ; le T_r300 se rapproche de l'événement historique le plus grave jamais répertorié.

Les événements à **très faible probabilité** (T_{ex}) sont qualifiés d'extrêmes, d'imprévisibles, de majeurs, ou d'extraordinaires. Ils sont souvent assimilés à du "danger résiduel", mais ce terme[1] ne devrait pas être utilisés dans ce contexte car il renvoie à des notions de risque et d'assurance. Ces événements n'ont lieu qu'une seule fois et peuvent avoir des conséquences dramatiques sur la population et sur les infrastructures. Bien qu'il soit possible d'imaginer les causes et les effets de tels scénarios, il est beaucoup plus délicat de prédire scientifiquement leur occurrence, et donc de justifier économiquement la réalisation de mesures pour s'en protéger. Pour cette raison, les territoires exposés à ce type d'événement sont représentés, à titre informatif, en hachuré jaune et blanc.

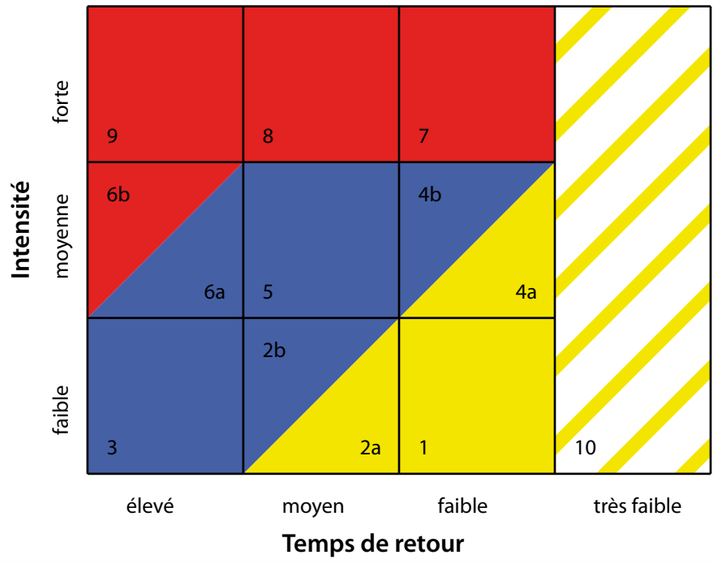
[1] le risque résiduel est le risque subsistant lorsque toutes les mesures de sécurité prévues ont été mises en œuvre ; il se compose des risques acceptés consciemment, des risques mal évalués et des risques non identifiés.

Degré de danger et matrice générale de danger

Cinq degrés de danger ont été prédéfinis par l'OFEV :

Degré	Couleur	Danger	Zone
Élevé	Rouge	Fort	Interdiction
Moyen	Bleu	Moyen	Réglementation
Faible	Jaune	Faible	Sensibilisation
"Résiduel"	Jaune/blanc	Imprévisible	Information
Nul	Blanc	Aucun connu ou négligeable	Pas de zone

Les degrés de danger sont représentés dans une matrice Intensité vs. Fréquence (matrice I/F) à **neuf cases** (9 classes de dangers). Les degrés sont définis spécifiquement pour chaque aléa, en particulier les grandeurs d'intensité sur l'axe des ordonnées, mais leur matrice reste toujours basée sur la matrice générale. Les degrés et la couleur du danger ne changent pas quel que soit l'aléa.



Matrice générale des dangers naturels

Les classes de danger sont des indicateurs importants de l'aménagement du territoire car elles permettent de situer l'exposition au danger par rapport au niveau de sécurité recherché pour différentes utilisations du sol (cf. chapitre 4 objectifs de protection). Certaines cases présentent des diagonales avec deux degrés de danger (2a/2b, 4a/4b 6a/6b) pour laisser une marge d'appréciation à l'auteur de la carte. On trouve, dans l'ordre croissant de dangerosité :

	Danger		Evénement		Qualification
	Degré	Classe	Temps de retour	Intensité	
Dangerosité ↑	Résiduel	10	Très rare	Indéterminée	Evénement exceptionnel d'intensité indéterminée.
	Faible	1	Rare	Faible	Evénement rare de faible ampleur.
		2a	Moyen	Faible	Evénement peu fréquent de faible ampleur.
		4a	Rare	Moyenne	Evénement rare d'ampleur moyenne, dégradé en jaune lorsque l'exposition au danger peut être gérée aisément.
	Moyen	2b	Moyen	Faible	Evénement peu fréquent de faible ampleur, classé en danger moyen lorsque l'exposition au danger ne peut pas être maîtrisée aisément.
		3	Elevé	Faible	Evénement fréquent de faible ampleur. A l'origine de beaucoup de dommage. Parfois coloré en bleu clair pour le différencier du bleu lié aux intensités moyennes.
		4b	Rare	Moyenne	Evénement rare d'ampleur moyenne.
		5	Moyen	Moyenne	Evénement peu fréquent d'ampleur moyenne.
		6a	Elevé	Moyenne	Evénement récurrent d'ampleur moyenne.
	Fort	6b	Elevé	Moyenne	Evénement récurent d'ampleur moyenne, classé en danger fort lorsque la situation de danger ne peut pas être maîtrisée aisément.
		7	Rare	Forte	Evénement rare de forte ampleur.
		8	Moyen	Forte	Evénement peu fréquent de forte ampleur.
↓		9	Elevé	Forte	Evénement récurrent de forte ampleur. Situation la plus dangereuse.

Danger résiduel

La construction d'ouvrages de protection **efficaces** et **pérennes** permet dans certains cas de dégrader le degré de danger d'un secteur. On parle alors d'un danger résiduel (ou danger "restant") représenté avec un hachuré de la couleur du nouveau degré de danger sur un fond conservant le degré de danger initial.

Le degré de danger initial est maintenu sur la carte car si l'effet de la mesure n'est plus reconnu, le niveau de danger est reclassé à son niveau initial. Cette représentation permet ainsi de garder en mémoire l'exposition au danger et l'effet de la mesure.

Code	Danger		Carte		
	Initial	Après mesure	Fond	Hachuré	
RB	Fort	Moyen	Rouge	Bleu	
RJ	Fort	Faible	Rouge	Jaune	
RW	Fort	Aucun	Rouge	Blanc	
BJ	Moyen	Faible	Bleu	Jaune	
BW	Moyen	Aucun	Bleu	Blanc	
JW	Faible	Aucun	Jaune	Blanc	

Les dangers qui demeurent malgré les mesures engagées doivent faire l'objet d'une réévaluation régulière.

Le degré de danger dans un secteur ne tient pas compte de l'effet des mesures réalisées sur la parcelle[1] ou sur les constructions elles-mêmes[2]. Ces aménagements sont des mesures de "protection individuelle à l'objet", qui diminuent la vulnérabilité des constructions et améliorent la sécurité des personnes, mais qui ne réduisent pas l'intensité de l'aléa, ni le degré de danger. Au contraire des ouvrages de protection actifs[3] à la source de l'aléa ou dans son corridor de transit, pour lesquels une diminution du degré de danger est possible quand l'ouvrage a un effet durable, pérenne et permanent.

Précision des études

Les études pour l'établissement des cartes de dangers naturels sont réalisées à l'échelle locale sur des secteurs prédéfinis (PDN), mais pas à l'échelle d'un site ou de la parcelle. Elles ne constituent en aucun cas des études de détail permettant de déterminer l'effet des processus et leur incidence sur des objets, par exemple dans le cadre d'un permis de construire ou de la réalisation d'un ouvrage de protection. Pour répondre à ces besoins, des études de détail ciblées par rapport à l'enjeu doivent être mises en œuvre.

Le tableau ci-dessous permet de situer le type d'études et de prestations en rapport avec la précision attendue des résultats. Les études du projet CDN-VD sont menées à l'échelon local.

	Échelon	Type d'études	Études DN	Prix DN Géologie (exemples)
1	Régional (territoire)	Balayage, scannage du territoire	Cartes indicatives **CID**	120'000 CHF pour tout VD
2	Local (zone, secteur)	Études générales, ± détaillées	Cartes de dangers **CDN**	300'000 CHF pour lot 11 Grande Eau
3	Site (parcelle)	Études ciblées détaillées, expertise, dimensionnement	Expertises locales **DN**	Pont-Bourquin > 300'000 CHF (de 5'000 à >>)

[1] mur d'enceinte, seuil à l'entrée de la parcelle, réseau de drainage des eaux de surface, etc.

[2] renforcement d'une façade, étanchéisation des ouvertures, construction sur remblais, construction de type boîte rigide sur radier général, fondations adaptées, seuils et bordures, etc.

[3] digues contre les inondations, filets contre les chutes de pierres certifiés ISO, assainissement d'un glissement de terrain, etc.

Périmètres de dangers naturels (PDN)

Les "périmètres DN" ou "PDN" sont les secteurs vulnérables du territoire qui font l'objet d'une carte de dangers. Ils ont été examinés et discutés avec les communes, puis validés par le COPIL de chaque lot. La délimitation des périmètres DN repose en principe sur :

- La présence d'un risque potentiel de dommages. Les zones à bâtir, les voies de communications principales (routes cantonales et routes communales principales, lignes de chemins de fer, infrastructures critiques) font l'objet d'une cartographie systématique.
- Les problématiques particulières en lien avec l'aménagement du territoire (PPA, PQ, zone intermédiaire, plans spéciaux) font l'objet d'une décision au cas par cas en fonction de l'exposition et des enjeux.
- Les projets d'importance cantonale.
- Les problèmes ponctuels nécessitant des bases pour la planification de mesures.
- La présence d'un danger globalement très faible, mais pouvant avoir des conséquences importantes en fonction de l'occupation du sol (objets à forte vulnérabilité tels que les écoles ou les hôpitaux).
- Dans certains cas, les zones agricoles exposées et situées en périphérie des zones constructibles sont incluses dans les périmètres pour éviter aux propriétaires de devoir mandater eux-mêmes une expertise en cas de transformation de leurs bâtiments.

En résumé :

Territoire considéré	Description
Périmètre de la carte des dangers (PDN)	Dans la zone à bâtir d'une commune, ainsi que pour des objets individuels désignés en plus (habitat dispersé, installations de transports occupées par du personnel, etc.), la carte des dangers est établie et représentée à l'aide de la matrice.
Zones sans appréciation du degré de danger	Pour le reste du territoire communal, les zones potentielles de danger sont représentées sur la carte indicative des dangers, et symbolisées en tant que zones sans appréciation du degré de danger.

Validation des produits cartes de dangers naturels

Le Département du territoire et de l'environnement valide la conformité des cartes de dangers naturels aux cahiers des charges et aux directives fédérales. Les cartes de dangers naturels sont ensuite approuvées par les municipalités.

Elles peuvent être consultées dans les communes et sont publiées sur le guichet cartographique cantonal (www.geoplanet.vd.ch).

4.2 CARTES DE DANGERS NATURELS ET PRODUITS ASSOCIES

Le canton assure la cohérence de la démarche et des produits. Ces derniers incluent, pour chaque périmètre et chaque aléa étudié, les cartes de dangers naturels plus huit produits associés (cadastre des événements, cartes de phénomènes, fiches de scénarios, cartes des intensités et des processus, carte synthétique des dangers naturels, cartes des zones de conflit et cartes de mesures de protection), les rapports techniques et un rapport pour chaque commune qui donne un aperçu de la situation sur son territoire et définit sommairement les plans des mesures passives ou actives à entreprendre dans le futur.

Carte indicative de dangers naturels (CID)

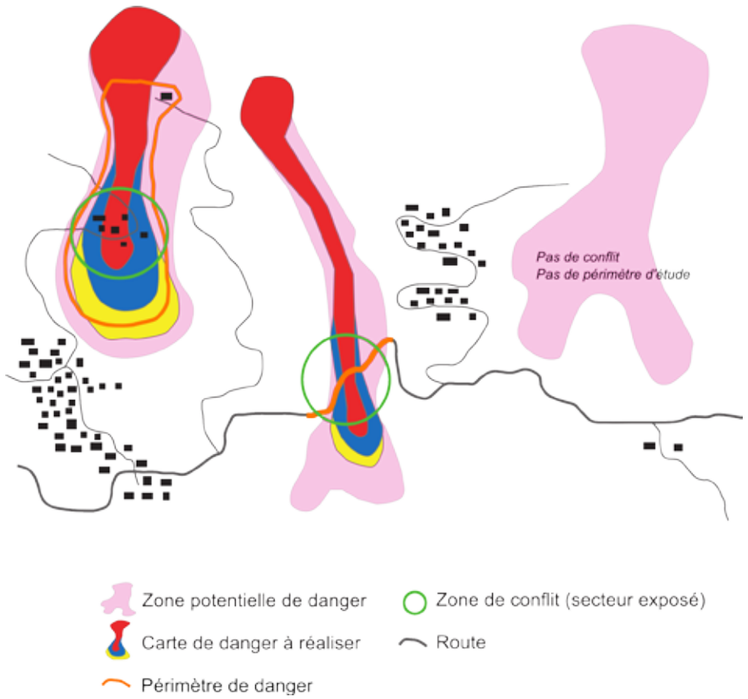
Les cartes indicatives de dangers (CID) ont été réalisées préalablement par les services spécialisés de l'État (SESA, SFFN et UDN). Elles identifient les processus dangereux et localisent les zones potentiellement exposées à l'échelle régionale, mais sans en donner l'intensité. Les cartes indicatives sont le résultat de modélisations informatiques appliquées à l'ensemble d'une région et n'ont pas été, sauf

exceptions, vérifiées sur le terrain. De ce fait, elles peuvent présenter des imprécisions et ne décrivent pas précisément la menace. De façon simplifiée, on estime qu'elles représentent l'extension maximale d'un aléa de fréquence très rare, et les territoires sis à l'extérieur de ces enveloppes peuvent être considérés comme exposés à aucun danger naturel.

Carte indicative des dangers

Carte des dangers naturels

Les cartes indicatives ont permis de délimiter les secteurs potentiellement exposés à un danger naturel devant faire l'objet d'une cartographie détaillée en les croisant avec les zones des PGA communaux. Les "périmètres de dangers naturels" (PDN) ainsi obtenus ont été retravaillés, discutés et validés auprès des communes. Les erreurs des cartes indicatives rapportées par les bureaux en cours de mandat sont corrigées au terme du projet.



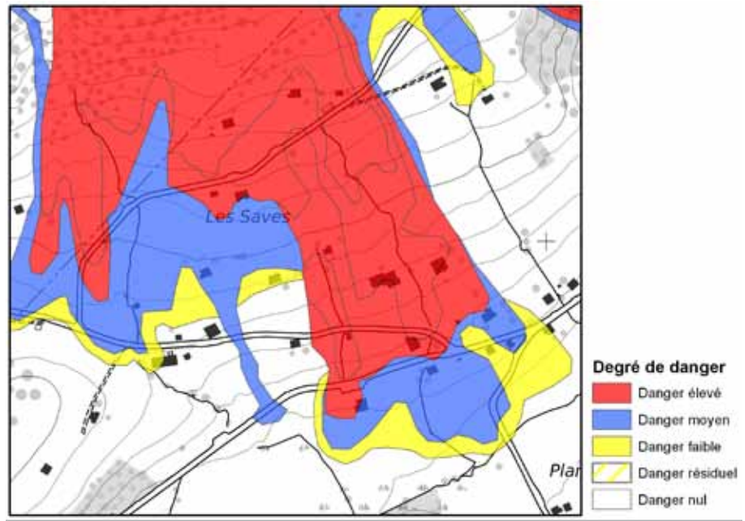
Principe de cartographie des dangers naturels

Carte de dangers naturels (CDN)

Les cartes de dangers naturels sont établies pour l'ensemble des zones à bâtir, les routes cantonales principales, les routes communales exposées, les voies ferrées et certains secteurs hors zone à bâtir présentant des enjeux ou un intérêt particulier.

Les cartes de dangers naturels qualifient le niveau de danger des territoires exposés avec des couleurs selon une échelle à cinq degrés: élevé (rouge), moyen (bleu), faible (jaune), imprévisible (hachuré jaune) et nul ou négligeable "en l'état actuel des connaissances" (blanc).

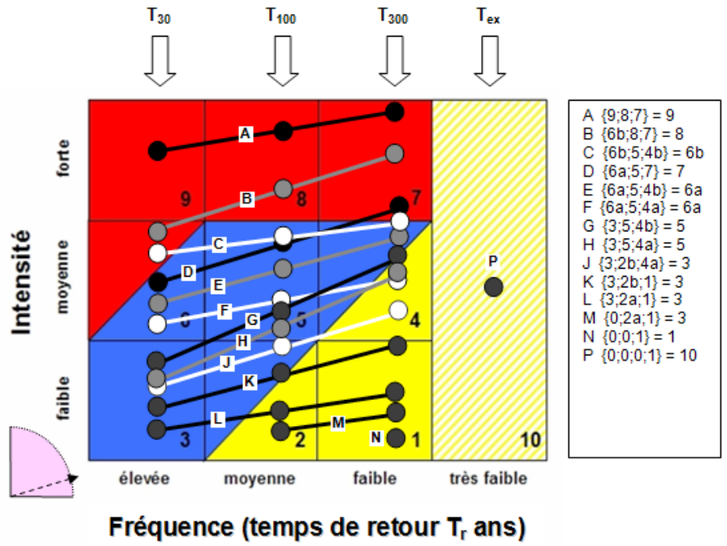
Les cartes de dangers sont construites en superposant les cartes d'intensité établies pour au minimum 3 scénarios (T_r30, T_r100, T_r300), en retenant toujours le degré de danger, puis la classe de danger (1 à 10), les plus défavorables. Quand, seul un danger extrême menace le territoire, on le marque en blanc strié de jaune. Des exemples sont présentés sur la figure ci-dessous.



Cartes de dangers naturels, avalanches, la Comballaz (commune d'Ormont-Dessous)

Les rapports qui accompagnent les cartes de danger précisent l'intensité et la fréquence des phénomènes naturels, leurs causes et le déroulement attendu des événements.

Une carte de dangers naturels est établie pour **chaque type de danger naturel**, en général à l'échelle 1:5'000. L'évaluation du degré de danger diffère quelque peu selon l'aléa: les différentes étapes et opérations pour l'analyse de chaque aléa sont décrites dans le chapitre 5.

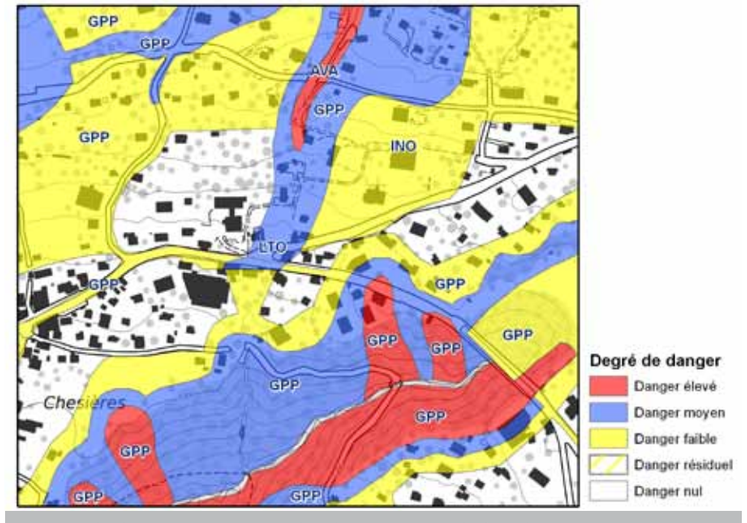


Attribution de la classe de danger

Carte synoptique des dangers naturels (CSD)

La carte synoptique (ou synthétique) de danger synthétise sur un seul document la situation de danger globale - multi-aléas - d'un secteur. Elle représente pour chaque parcelle le degré de danger le plus élevé, en compilant l'ensemble des cartes des différents phénomènes naturels. Elle n'offre qu'une vision générale, sans indication précise relative à la nature des processus à l'origine du danger représenté.

Ce document a son importance car c'est lui qui est retranscrit dans les plans d'affectation.



Exemple de carte synoptique des dangers naturels (CSD)

Produits associés aux cartes de dangers naturels

Les **informations** fournies par les seules cartes de dangers naturels ne suffisent pas pour comprendre les phénomènes, évaluer les risques et concevoir toutes les mesures de protection – actives ou passives – requises pour mitiger les risques sur le territoire. Les cinq degrés de dangers n'informent que sur l'importance du danger et ne représentent ni les probabilités d'occurrence relatives à certaines intensités, ni l'origine des phénomènes.

Or une analyse plus précise de la situation de danger permet de définir des mesures efficaces et adaptées au contexte. Un secteur de danger avalanches élevé (rouge) ne devra pas être abordé de la même manière s'il s'agit d'avalanches de neige mouillée avec de faibles pressions et un temps de retour de 30 ans ou d'avalanches poudreuses avec un temps de retour de 300 ans.

Le **cadastre des événements et la carte des phénomènes** permettent d'obtenir des informations sur les événements passés. Ils sont établis à partir d'observations de terrain telles que la position de blocs après leur chute, traces d'inondations et des photos historiques. Ces informations permettent de préciser la nature du danger et le type de dégâts potentiels. Il permet également de calibrer les modèles de calcul.

Les modélisations sont nécessaires pour réaliser les **cartes des intensités et des processus**. Ces dernières définissent le type de phénomènes attendus et leur intensité pour un temps de retour déterminé. L'ensemble de ces informations est ensuite utilisé pour générer les cartes des dangers naturels.

Les cartes des **zones de conflits et des mesures de protection** permettent de localiser rapidement les secteurs vulnérables, potentiellement "à risque" et de visualiser les éventuelles mesures de protection pouvant être mise en œuvre pour diminuer cette exposition.

Les produits associés aux cartes de dangers naturels sont donc des outils d'aide à l'interprétation et à la décision; ils sont mis à disposition des communes en format numérique.

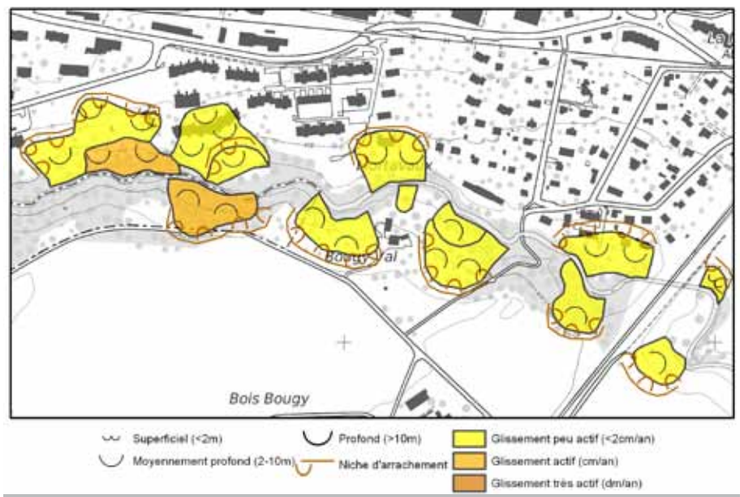
Cadastre des événements (CEV)

Le cadastre des événements est une documentation des événements survenus et observés dans le passé, sous forme de fiches et de cartes. Il renseigne sur les processus possibles, les dommages constatés, les facteurs déclenchant ainsi que l'étendue et les zones affectées par les événements historiques.

Exemple de cadastre des événements (CEV)

Carte des phénomènes (CPH)

La carte des phénomènes recense les traces dans le territoire qui ont été laissées par des phénomènes dangereux, au cours du temps et procède à leur interprétation : description des événements naturels survenus, nature des processus ainsi que la potentialité d'apparition de phénomènes selon les caractéristiques locales (topographie, géologie, hydrologie).



Exemple de carte des phénomènes (CPH)

Scénarios et fiches de scénarios (FSC)

Les **scénarios** sont à la base de l'établissement des cartes de dangers. Ils intègrent les différents processus qui peuvent survenir conjointement au processus de l'aléa aux différentes fréquences. Pour chaque aléa, on différencie :

- Le scénario de base c'est-à-dire le vecteur principal de l'aléa quantifié par une intensité et une probabilité d'occurrence (temps de retour T_r).
- Les processus associés, spécifiques à l'aléa, qui dépendent et évoluent proportionnellement aux scénarios de base : ils augmentent ou réduisent l'intensité de ces scénarios de base, mais ne modifient pas le temps de retour T_r des événements.
- Les processus aggravants ou atténuants, qui se produisent indépendamment du scénario de base ; ils augmentent ou diminuent l'intensité du processus de base, mais font toujours glisser la probabilité d'un tel événement sur la droite des matrices de danger (diminution de la fréquence, augmentation du T_r) selon les lois de probabilités.

Les **fiches de scénarios** rassemblent tous les scénarios d'un secteur ou d'un tronçon présentant des conditions identiques ou approchantes du scénario de base (par exemple tronçon de cours d'eau entre deux ouvrages ou deux affluents, groupe de falaise avec des mêmes conditions géologiques et structurales, glissements avec des conditions rhéologiques similaires, etc.).

L'objectif des fiches est de documenter le scénario, de consigner les éléments d'analyse et de fixer les critères d'évaluation des phénomènes. Ces fiches constituent des documents indispensables pour retracer les processus de décision et assurer le suivi de projet. Elles assurent aussi le lien entre les différents rendus et produits cartographiques du projet (cartographie des phénomènes, des processus, des intensités et des degrés de danger).

Description des phénomènes

Description générale	Une zone en glissement sous le village avec terrain moutonné, arbres penchés, niches d'arrachement bien visibles.		
Type de glissement	Complexe	**Pente min [°]** 15	**Pente max [°]** 40
Géologie	Moraine de faible épaisseur sur molasse Aquitanienne.		
Morphologie	Versant de la Niauque, bois, pâturages.		
Pendage des couches [°]	5 à 10 ° vers l'Est		
Caract. du plan de glissement	Complexe (glissements en chaîne).		
Processus aggravants	Erosion en pied		
Processus atténuants	Quelques drains probablement agricoles.		
Risque d'accélération ou de réactivation	Faible		
Remarques	Légères modifications des limites.		

Dommages

Dégâts observés	Aucun
Dégâts potentiels	Encontrement de la Niauque et début d'embâcle, fissuration sur le bâti légèrement en amont.

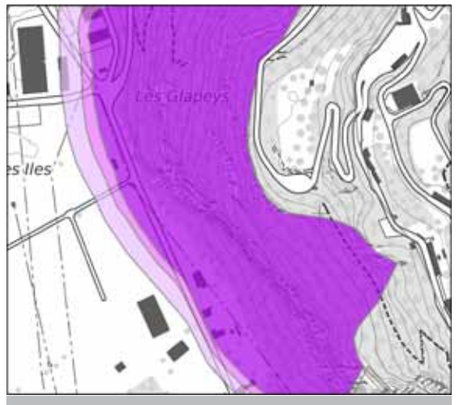
Scénarios

Masses en glissement	Conditions actuelles			Divergence avec la carte DLFI	Facteurs aggravants actuels				N° scénario (3CE)	Vraisemblance
	Prof. du plan de glissement [m]	Vitesse moy. [cm/an]	Objets exposés		Source	Drainage / Canalisation	Terrassement existant	Erosion naturelle du pied		
Peu actifs (Jaune)	2-10	< 2	Bâti + La Niauque	Faible	Non	Oui	Non	Oui	14-GPP-1018-A	moyenne
Actifs (Orange)	3-6	> 2	La Niauque	Faible	Non	?	Non	Oui	14-GPP-1018-B	forte
Autre aléa engendré : NON										

Exemple de fiche de scénarios (FSC)

Carte des intensités (CIN)

La carte des intensités indique les intensités des processus dangereux auxquels il faut s'attendre pour différentes fréquences standards, telles la profondeur d'inondation et la vitesse d'écoulement en cas de crue. Les intensités sont estimées par classe de probabilité d'occurrence (élevée, moyenne, faible, très faible) et ne tiennent pas compte de la vulnérabilité des objets présents sur le territoire.



Exemple de carte des intensités (CIN)

Carte des processus (CPR)

La carte des processus représente l'extension spatiale maximale d'un processus dangereux pour trois temps de retour. Elle représente aussi les zones de corridor ou de transit du phénomène ainsi que les zones de stockage et les effets de bordure. Elle est obtenue à partir de la carte des intensités et établie uniquement pour les phénomènes d'inondations, de laves torrentielles et coulées de boue, d'avalanches ou de chutes de pierres et de blocs.

Exemple de carte des processus (CPR)

Carte des zones de conflits (CCO)

La carte des zones de conflits offre des indications relatives au potentiel de dégâts en cas d'événements. Elle se base sur la carte synoptique de dangers naturels ainsi que les infrastructures et secteurs exposés. Elle ne quantifie pas les dommages mais permet de délimiter des périmètres d'action prioritaires. Selon les cas, des cartes de zones de conflits spécifiques à chaque phénomène peuvent être établies en utilisant les cartes de dangers naturels au lieu de la carte synoptique.

Exemple de carte des zones de conflits (CCO)

Carte des points faibles et des mesures de protection (CMP)

La carte des points faibles représente les mesures de protection et les principaux éléments défavorables pour la gestion des risques (topographie particulière, insuffisance d'un ouvrage de protection, etc.). Un catalogue sommaire des mesures l'accompagne, présentant les caractéristiques et une estimation grossière des coûts des solutions proposées.

Exemple de carte des mesures de protection (CMP)

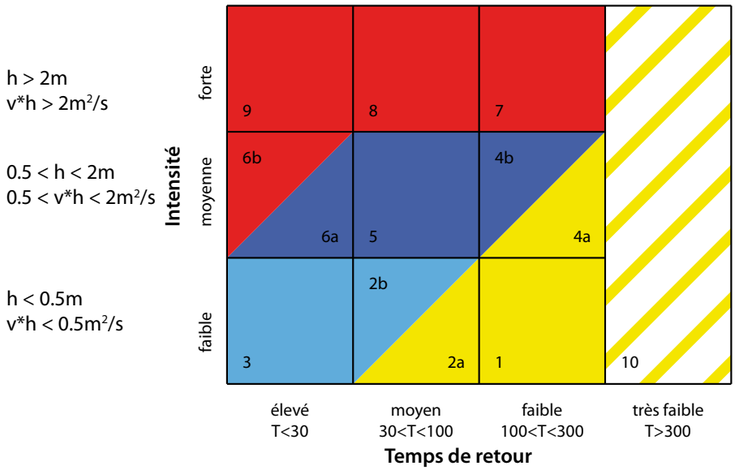
5. LES CARTES DES DANGERS PAR ALÉA

5.1 CARTE DES DANGERS D'INONDATION PAR LES CRUES (INO)

Le caractère dangereux du débordement d'un cours d'eau dépend de la hauteur d'eau et de la force de l'écoulement. Le danger est ainsi différent s'il s'agit d'une inondation statique (où le paramètre déterminant est la profondeur maximale), d'une inondation dynamique (où le paramètre déterminant est la vitesse du courant) ou de l'érosion d'une berge.

- La hauteur d'eau (h) est l'élément déterminant pour les **inondations statiques** (vitesse < 1 m/s).
- Le débit instantané (v*h), fonction de la vitesse d'écoulement et de la hauteur d'eau est l'élément déterminant pour les **inondations dynamiques** (vitesse > 1 m/s) où l'énergie de l'eau est décisive.

La classification du danger se fait au travers d'une matrice dans laquelle le processus le plus intense détermine le niveau de danger. Le temps de retour est fixé pour les classes 30 ans, 100 ans et 300 ans.



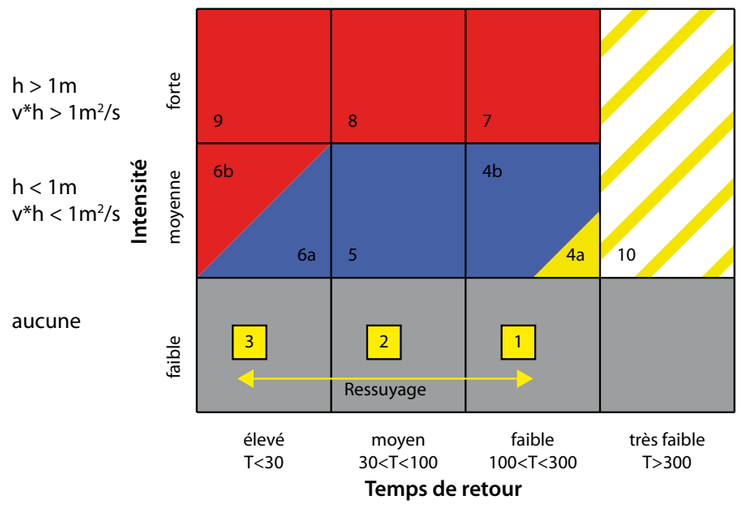
Matrice de détermination du degré de danger des inondations par les crues des cours d'eau
Source : UDN

L'établissement de la carte de danger inondations par les crues des cours d'eau se base sur les éléments d'analyse suivants :

- **Une carte des bassins versants et des sous-bassins** qui localise les cours d'eau et délimite les bassins versants les alimentant.
- **Une carte des cours d'eau** présentant des informations plus spécifiques sur leurs profils, leurs affluents, leur embouchure, les ouvrages de protection et les points d'obstruction potentiels tels que les ponts ou les voûtages.
- Les **données hydrologiques** extraites de la base GESREAU et l'**extrapolation des débits des petits sous-bassins versants** pour ajuster les débits spécifiques en fonction de la surface des bassins versants.
- **Des hydrogrammes des crues** pour déterminer l'évolution temporelle du débit lors d'épisodes pluvieux.
- **Des profils en long** permettent de visualiser la morphologie des cours d'eau et les problèmes potentiels : lignes et cassures de pente du lit et des berges, type d'écoulement, lignes d'eau et d'énergie, niveaux critiques et points de débordement.
- **Une carte d'alluvionnement** qui localise les zones d'érosion, de charriage et d'alluvionnement sur les berges et dans le lit des cours d'eau.
- Des données sur **le charriage** renseignant sur l'évolution du profil des cours d'eau lors de crues importantes.
- **L'évolution des débits de pointe** sur le linéaire du cours d'eau est calculée pour les crues de temps de retour déterminés (Q (T)) puis renseignée dans les fiches de scénarios (apports des confluences, pertes par débordements, etc.).
- **Les fiches de scénarios rassemblant tous les scénarios analysés**. Pour en faciliter la lecture, des **cartes de scénarios** sont produites pour visualiser les tronçons en sous-capacité, les directions préférentielles d'écoulement hors du lit du cours d'eau, les points de retour des eaux débordées, les pertes. Ces cartes localisent aussi les processus aggravants naturels (sources de bois flottant, glissement de terrain, éboulements, etc.) et les potentiels d'obstruction artificiels (ouvrages ou tronçons susceptibles de générer des embâcles et débâcles).
- Le résultat des **calculs** et des **modélisations 1D ou 2D** sous forme cartographique et/ou de tableaux.
- Des documents **photographiques** en relation avec les scénarios.

5.2 CARTE DES DANGERS DE LAVE TORRENTIELLES (LTO)

Les laves torrentielles, même de petite taille, sont extrêmement destructrices. Seules les intensités moyennes et fortes sont utilisées pour cet aléa. Le processus d'épandage de l'eau et des sédiments fins qui se produit généralement après l'atterrissement de la lave torrentielle est appelé "ressuyage". L'étalement de ce ressuyage dépend strictement de la nature des sédiments fins et du pourcentage d'eau dans le mélange (plus la fraction d'eau est grande, plus l'épandage s'étalera vers l'aval). Ce ressuyage est caractérisé par un degré de danger faible (cases 1, 2 ou 3 de la matrice).



Matrice de détermination du degré de danger des laves torrentielles
Source : UDN

La production de la carte de danger de laves torrentielles se base sur les documents d'analyse suivants :

- **Une carte des bassins versants** délimite les bassins et sous-bassins versants ainsi que les secteurs de laves torrentielles et de coulées boueuses.
- Une carte des phénomènes localise les zones sources, les zones d'accumulations, les ravins, cours d'eau, etc.
- **Des profils en long** illustrent la morphologie des cours d'eau et des berges, ainsi que leurs principaux tronçons.
- **Des scénarios de débordement** présentent les points critiques, les lignes d'eau, les débordements et les atterrissements sur le profil en long.

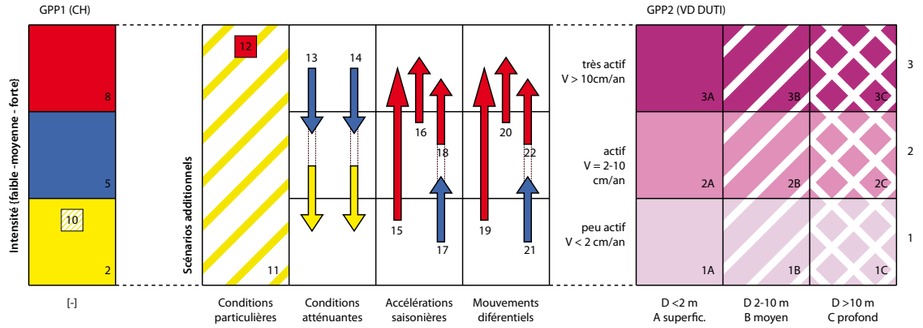
5.3 CARTE DES DANGERS DE GLISSEMENT DE TERRAIN PERMANENT (GPP)

La majorité des glissements sont des processus continus et la notion de temps de retour n'est pertinente que pour évaluer une possible accélération du système. Le modèle de tableau intensité-fréquence est donc mal adapté pour caractériser le degré de danger des glissements permanents.

Le principal élément à prendre en compte dans le calcul des degrés de danger est l'intensité du glissement en fonction de sa vitesse moyenne (V), une analyse de scénarios additionnels permettant ensuite d'affiner la définition. Une matrice complémentaire (basée sur celle de la carte des phénomènes DUTI-Noverraz du canton de Vaud) permet de préciser les degrés de danger en intégrant la profondeur du glissement.

Les scénarios additionnels prennent en compte des conditions locales particulières qui modifient le degré de dangers (les n° font référence aux n° de la matrice GPP ci-dessous) :

- Condition 11 : danger résiduel pour les glissements historiques dont la stabilisation est reconnue.
- Condition 12 : secteurs exposés à l'érosion régressive à l'amont des niches des glissements rotationnels.
- Condition 13 : glissements superficiels stabilisés par les constructions ⇒ réduction du danger de 1 degré.
- Condition 14 : glissements très profonds homogènes (profondeur largement supérieure à 10 m) avec mouvements réguliers ⇒ réduction du danger de 1 degré.
- Conditions 15 et 16 : glissements latents avec forte accélération saisonnière (plus de 50 cm) ⇒ augmentation du danger de 1 ou 2 degrés, resp.
- Conditions 17 et 18 : glissements latents avec accélération saisonnière de 10 à 50 cm ⇒ augmentation du danger de 1 ou 2 degrés, resp.
- Conditions 19 et 20 : glissements avec mouvements différentiels importants (> 10 cm / 10 m) augmentation du danger de 1 ou 2 degrés, resp.
- Condition 21 et 22 : glissements avec mouvements différentiels légers moins intenses (2 – 10 cm / 10 m) ⇒ augmentation du danger de 1 ou 2 degrés resp.



Matrice de détermination du degré de danger des glissements de terrain permanents
Source : UDN

La production de la carte de danger de glissements de terrain permanents se base sur les éléments d'analyse suivants :

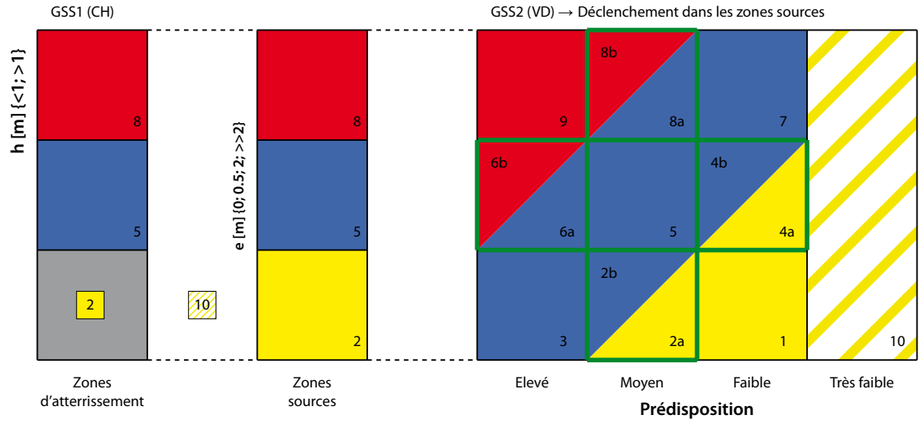
- **Une carte des phénomènes** localise les phénomènes connus (niches d'arrachement, loupes de glissement, zones humides, etc.) et offre certaines informations sur leur profondeur, leur type d'activité, le potentiel de réactivation, les secteurs avec des mouvements différentiels et/ou superposés, etc.
- **Une carte des glissements de terrain permanents non retenus** complète la première ; elle indique quels phénomènes sont écartés de la suite de l'analyse, notamment ceux dont l'activité n'est que potentielle.
- **Des coupes géologiques schématiques** offrent des visions longitudinales/transversales des principaux glissements de terrain permanents.
- **Un dossier photo** illustre les principaux glissements de terrain permanents.

5.4 CARTE DES DANGERS DE GLISSEMENTS DE TERRAIN SPONTANÉS ET COULÉES DE TERRE (GSS)

Pour les glissements de terrain spontanés et les coulées de terre, le calcul de l'intensité est basé sur l'épaisseur de la couche de terrain mobilisable.

- L'épaisseur de la couche mobilisable (potentielle) (e).
- L'épaisseur du dépôt du glissement ou de la coulée de terre (h).

Le déclenchement est le plus souvent provoqué par des intempéries, par des écoulements concentrés d'eau superficielle ou par des processus d'érosion liés aux torrents. La probabilité d'occurrence repose alors sur celle du déclenchement de ces processus (par exemple des précipitations ininterrompues). La relation entre cette probabilité et l'intensité des événements reste néanmoins difficile à établir, on cherche donc plutôt à caractériser la prédisposition des terrains à engendrer de tels processus.



Matrice de détermination du degré de danger des glissements de terrain spontanés et coulées de terre
Source : UDN

La production de la carte de danger de glissements de terrain spontanés et coulées de terre se base sur les éléments d'analyse suivants :

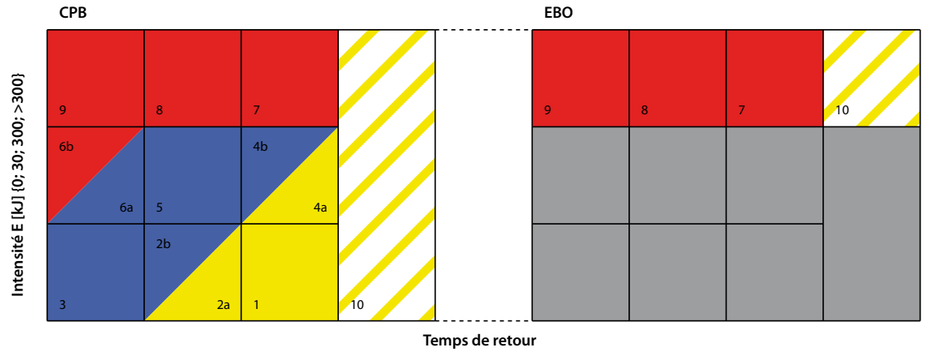
- **Une carte de prédisposition aux glissements spontanés** localise les secteurs potentiellement atteints par des glissements de terrains spontanés ou des coulées de terre ou montrant des traces d'événements antérieurs. Les zones sources - où se déclenche le processus, et les éventuelles zones de transit et de dépôt sont différenciées.
- **Une carte des glissements de terrains spontanés non retenus** localise les secteurs potentiellement exposés aux glissements de terrains spontanés mais non retenus selon les critères de prédisposition.
- **Un dossier photo** illustre les principaux secteurs de glissements de terrain spontanés.

5.5 CARTE DES DANGERS DE CHUTE DE PIERRES ET BLOCS (CPB), D'ÉBOULEMENT ET D'ÉCROULEMENT (EBO)

L'intensité des phénomènes rocheux est évaluée à partir de l'énergie (E) dégagée par une pierre ou un bloc au moment de son impact. Par exemple, un bloc de 300 kg (env. 60 cm de diamètre) tombant d'une hauteur de 10 m correspond à une énergie de 30 kJ. Les niveaux d'intensité ont été fixés par l'OFEV en rapport à la résistance des matériaux : les parois en bois et en béton résistent à des énergies inférieures à 30 et 300 kJ, respectivement.

Le temps de retour (T) est établi selon les classes 30 ans, 100 ans et 300 ans. La matrice est la même que la matrice générale.

Pour les éboulements et les écroulements, seule la partie supérieure de la matrice est utilisée car l'énergie dégagée est toujours supérieure à la barre des 300 kJ.



Matrice de détermination du niveau de danger de chutes de pierres et de blocs, d'éboulements et d'écroulements
Source : UDN

La production de la carte de danger de chutes de pierres et de blocs, d'éboulement et d'écroulement se base sur les éléments d'analyse suivants :

- **Une carte des zones sources, de transit et d'atterrissement** spécifie le type d'aléa et localise les secteurs instables, les principales zones de décrochement, les couloirs et autres axes de transit et les zones d'atterrissement. Elle répertorie l'emplacement et le volume des blocs éboulés historiques.
- **Une carte des instabilités** répertorie les instabilités d'un volume supérieur à 20 m^3 ainsi que celles d'un volume supérieur à 100 m^3.
- **Une carte des forêts et des ouvrages de protection** localise les différents éléments protecteurs.
- **Une carte des chutes de pierres et de blocs non retenus** complète la carte indicative des dangers naturels en indiquant quels phénomènes sont écartés de la suite de l'analyse, notamment ceux qui s'avèrent erronés (artefacts de murs et de terrassement par exemple).
- **Une carte et des profils trajectométriques** donnent des informations sur les trajectoires des matériaux éboulés et des simulations trajectométriques.
- **Des informations sur les hauteurs de rebond** selon les modèles trajectométriques.
- **Une carte des éboulements** localise les périmètres d'atteinte des éboulements et des écroulements potentiels ou historiques.

5.6 CARTE DES DANGERS D'AFFAISSEMENT ET EFFONDREMENT (EFF)

Comme pour les glissements de terrain, la notion de temps de retour n'est pas pertinente pour les phénomènes d'effondrement et d'affaissement.

Par défaut, le degré de danger considéré est moyen (bleu) dans les zones avec une doline isolée, un alignement de dolines ou d'ouvalas (coalescence de plusieurs dolines). Il devient élevé (rouge) en présence d'indice d'une forte activité des processus. Pour les phénomènes d'affaissement et d'effondrement d'origine anthropique (foudroyage de galerie), le degré est moyen (bleu) sur l'ensemble du périmètre d'exploitation. Il devient élevé (rouge) dans les zones actives d'affaissement présentant des fontis, des fissures et des tassements rocheux. Quand il est possible, les critères précis suivants sont appliqués :

Rouge	Doline à activité latente (l'état latent est déterminé sur le terrain en fonction des conditions structurales, des propriétés géomécaniques, des caractéristiques de la couverture meuble et de l'hydrogéologie locale). Le développement (zone d'atteinte) est évalué dans un rayon de 15 m à partir du bord de la dépression.
Bleu	Alignement de dépressions karstiques correspondant à la continuité structurale des dépressions + bande tampon d'environ 15 m autour des dépressions.
Jaune	Zones potentielles d'affaissement (roches karstifiables, zone de faille, alignement de dolines), sans ou sous faible épaisseur de couverture quaternaire.
Résiduel	Zones potentielles d'affaissement (roches karstifiables, zone de faille, alignement de dolines) avec une certaine épaisseur de couverture quaternaire disposant d'une capacité de charge suffisante.

La production de la carte de danger d'affaissements et effondrements se base sur les documents d'analyse suivants :

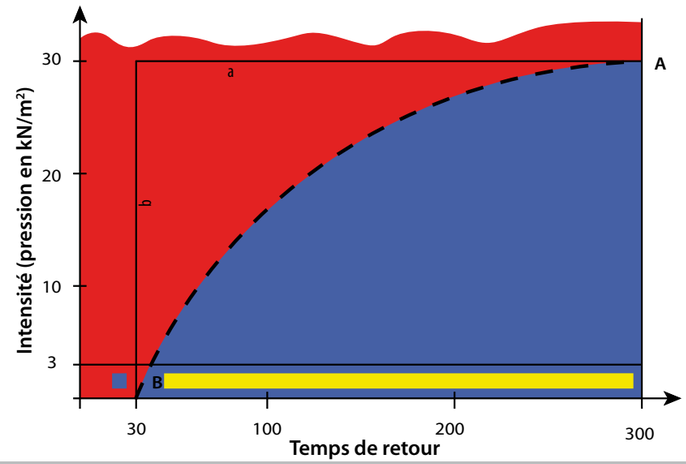
- **Une carte des dolines et des zones d'effondrement** répertorie les dolines et alignements de dolines, les zones d'affaissement, de tassement et d'effondrement.
- **Un dossier photo** illustre les secteurs de dolines et d'alignement de dolines.

5.7 CARTE DES DANGERS D'AVALANCHE (AVA)

L'intensité d'une avalanche est modélisée par la pression (en kN/m²) qu'elle exerce sur un objet placé dans sa trajectoire. Elle est calculée en général par modélisation.

Le temps de retour est établi selon les classes 30 ans, 100 ans et 300 ans.

Les résultats de ces analyses permettent de modéliser les intensités prévues selon les temps de retour dans la matrice ci-dessous définissant les degrés de danger.



Matrice de détermination du degré de danger d'avalanche
Source : UDN

Secteur rouge : lorsqu'il n'y a aucun doute sur l'existence du danger. Une portion de terrain est marquée en rouge lorsqu'il est possible de se produire :

- Des avalanches exerçant une pression de 30kN/m² ou davantage, dont la périodicité peut aller jusqu'à 300 ans
- Des avalanches exerçant des pressions plus faibles, mais dont la périodicité est inférieure ou égale à 30 ans.

Chacune de ces deux exigences est à elle seule suffisante pour qu'une portion du territoire soit attribuée à la zone rouge

Secteur bleu : pour des zones pouvant être atteintes par de rares avalanches avec une intensité faible. De même pour des portions de terrain exposées à un danger dont l'existence semble incertaine, mais pour lesquelles certaines conditions pourraient tout de même être remplies :

- Pour des avalanches exerçant une pression inférieure à 30kN/m² et dont la périodicité est de 30 à environ 300 ans
- Pour des avalanches **poudreuses** exerçant une pression inférieure à 3kN/m² et dont la périodicité est inférieure à 30 ans.

Secteur jaune : pour délimiter des zones très faiblement exposées à un danger. Pour des portions de terrain situées sur la trajectoire d'avalanche poudreuse exerçant une pression égale ou inférieure à 3kN/m² et dont la périodicité est de plus de 30 ans.

Les **critères de délimitation** sont définis :

Les deux exigences 3.32 a) et b) déterminent deux conditions extrêmes pour la limite de la zone rouge (points A et B). L'analyse technique des avalanches montre que la zone située au-dessus d'une courbe reliant A et B appartient nécessairement à la zone rouge.

La condition 3.32 b) s'applique aux avalanches coulantes, aussi petite soit la pression exercée. Pour des avalanches poudreuses exerçant une pression inférieure à 3kN/m², la zone correspondante peut être marquée en bleu.

La production de la carte du danger d'avalanches se base sur les éléments d'analyse suivants :

- **Une carte des bassins versants (cirque)** localisant les couloirs d'avalanches et le type d'avalanche potentielle.
- **Une carte des forêts et des ouvrages de protection** localisant les forêts et les ouvrages de protection.
- **Des données locales** telles que l'altitude, l'exposition, la pente, l'épaisseur du décrochement, les volumes de neige et les coefficients de frottement
- **Des données régionales** (précipitations, volumes de neige, épaisseurs de décrochement, coefficients de frottement, etc.) tirées des tables et des abaques publiés par l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches de Davos (SLF)
- Les résultats des **modélisations 1D ou 2D** qui simulent les avalanches à partir des données ci-dessus
- **Un profil en long** représentant la zone de départ, de transit et d'atterrissement.
- **Un dossier photo** illustrant les bassins versants, les zones de rupture et de décrochement, les couloirs de transit, les zones d'atterrissement et les ouvrages et forêts de protection.

6. LA GESTION DES RISQUES NATURELS

6.1 SIGNIFICATION DES DEGRÉS DE DANGER

Les degrés de danger indiquent le niveau de mise en danger pour l'homme, les animaux et les biens de grande valeur. Ils ont été fixés de manière à établir une correspondance avec des comportements ou des prescriptions à adopter.

Les principes posés ci-dessous sont repris de la directive fédérale de 2005 établie par l'ARE. Une directive cantonale et un guide pratique seront mis à disposition des municipalités.

Secteur de danger rouge : danger élevé, zone d'interdiction

Dans les secteurs de danger rouge :

- **Les personnes sont en danger de mort** à l'intérieur comme à l'extérieur des bâtiments.
- Les bâtiments peuvent être exposés à une **destruction brutale**.
- La probabilité d'événements d'intensité moyenne peut être élevée.
- Les constructions sont **indésirables**, car les personnes sont exposées à un danger de mort à l'intérieur comme à l'extérieur des bâtiments, et les biens matériels à un danger élevé.

Aménagement du territoire

- **Pas de création** de nouvelles zones à bâtir.
- Les zones à bâtir pas encore construites devraient être réaffectées en **zones non constructibles**, sauf dans les cas où des mesures de protection permettent de mitiger suffisamment les risques.
- Les zones à bâtir déjà largement construites doivent faire l'objet de restrictions d'affectation et de **mesures de protection**.

Autorisation de construire

- En principe, les bâtiments destinés au séjour d'êtres humains ou animaux sont interdits, même si le séjour est temporaire ou provisoire.
- Les implantations imposées par leur destination, agricole ou technique peuvent faire l'objet de **dérogations**, pour autant que des mesures de protection soient prises.
- Les projets de transformation de constructions existantes ne sont autorisés que s'ils n'augmentent pas significativement le nombre de personnes exposées et si des mesures de protection sont appliquées afin de réduire le risque par rapport à la situation avant transformation.
- En principe, pas de reconstruction d'immeubles détruits à la suite de catastrophes naturelles, d'incendie ou démolis de manière intentionnelle.

Secteur de danger bleu : danger moyen, zone de réglementation

Dans les secteurs de danger bleu :

- Peu de danger pour les personnes à l'intérieur des bâtiments, mais **le danger de mort est effectif** en dehors.

  La probabilité d'événements d'intensité faible à moyenne est élevée, ou faible pour des événements d'intensité moyenne.
- Les constructions peuvent subir des **dégâts fréquents ou importants**.
- Des mesures spécifiques permettent de limiter les dégâts.
- Les constructions sont autorisées **sous certaines conditions**.

Aménagement du territoire

- La délimitation de nouvelles zones à bâtir ne peut se faire qu'à titre **exceptionnel** et sous conditions.
- Les zones à bâtir pas encore construites ne peuvent être maintenues qu'à titre exceptionnel et **sous conditions**. Les solutions alternatives doivent avoir été étudiées et une **pesée des intérêts** doit avoir eu lieu lors de la délimitation de nouvelles zones.
- Les zones déjà bâties doivent faire l'objet de **mesures de protection.**

Autorisations de construire

- La construction d'objets sensibles est interdite.
- Les autorisations de construire sont assorties de conditions.

Secteur de danger jaune : danger faible, zone de recommandations

Dans les secteurs de danger jaune :

- La probabilité d'événements d'intensité faible y est moyenne, les événements d'intensité moyenne y sont rares.
- **Peu de danger** pour les personnes.
- Les parties de bâtiments situées sous le niveau du sol ou juste au-dessus de celui-ci sont menacées.
- Des mesures simples permettent en général d'écarter le danger.

Les constructions sont **autorisées, sous certaines conditions**.

Aménagement du territoire

- La détermination de nouvelles zones à bâtir est autorisée à l'exception de celles à vocation d'installations à haut potentiel de dommage qui doivent être évitées.
- Les zones déjà bâties peuvent faire l'objet de **recommandations**, réserves et mesures de protection simples.

Autorisations de construire

- La construction d'objets sensibles fait l'objet de conditions.
- Des mesures de prévention des dommages peuvent être déterminées en collaboration avec les assurances.

Secteur de danger jaune hachuré : danger résiduel, zone de sensibilisation

Dans les secteurs de danger résiduel :

- La fréquence des événements est très rare quelle que soit leur intensité.
- Les constructions sont **autorisées** parfois **sous certaines conditions** s'il s'agit d'infrastructures critiques.

Aménagement du territoire

- La détermination de nouvelles zones à bâtir est autorisée, les zones à vocation d'installation à haut potentiel de dommage doivent être évitées.
- Les zones déjà bâties peuvent faire l'objet de recommandations.

Autorisations de construire

- Des mesures d'**information** doivent être réalisées auprès des propriétaires concernés.
- Des mesures de prévention des dommages peuvent être déterminées en collaboration avec les assurances.

Zones non construites et carte indicative des dangers naturels (CID)

Pour les zones non couvertes par la carte de dangers naturels, la **carte indicative des dangers naturels** s'applique. En cas de présence d'un secteur indicatif de danger, des études complémentaires doivent être réalisées (expertises locales).

À ce jour, l'ensemble du territoire vaudois est couvert par les cartes indicatives pour les phénomènes suivants : avalanches, laves torrentielles et inondations, glissements de terrain permanents et spontanés, chutes de pierres et de blocs, et effondrement.

Dans le cas des dangers non cartographiés, le **principe de précaution** doit être appliqué. En cas de suspicion d'un danger, des études complémentaires doivent être menées afin de confirmer ou infirmer sa présence et de déterminer les mesures à prendre.

6.2 DANGERS NATURELS, RISQUES ET OBJECTIFS DE PROTECTION

Risque et vulnérabilité

Les phénomènes naturels n'ont pas tous des **impacts** sur les activités humaines, et lorsqu'ils en ont, ce n'est pas avec les mêmes proportions. Les impacts d'un événement naturel dépendent non seulement de sa force et de sa fréquence (aléa ou degré de danger), mais également de l'occupation du sol et du potentiel de dommage (vulnérabilité). Pour évaluer les conséquences d'un danger naturel sur le territoire, on entreprend des études de risques.

Un risque est le produit de la probabilité que survienne un phénomène dangereux et de l'ampleur des dommages qu'il peut causer. en nombre de décès probables par an ou en francs par an.

Les produits "cartes de dangers" établissent un diagnostic des dangers naturels, mais ne pourvoient pas les thérapies. Des analyses de la vulnérabilité et des risques seront nécessaires pour définir les priorités en fonction des besoins et des objectifs, et concevoir des concepts de mesures adaptés à la situation de danger (dispositions réglementaires, contraintes constructives, dimensionnement d'ouvrages, etc.).

Suivant le type d'information et le niveau de détail requis, ces informations figureront dans des cartes d'exposition aux dangers naturels (évaluations qualitatives, disponibles à l'horizon 2016 pour tout le territoire) ou dans des cartes de risques réalisées au cas par cas (évaluation quantitative).

RISQUE = PROBABILITÉ DE DANGER x DOMMAGES POTENTIELS
RISQUE = ALÉA x VULNÉRABILITÉ

L'aléa ***L'enjeu*** ***Le risque***

Objectifs de protection

Les objectifs de protection permettent d'établir une frontière entre risques[1] acceptables et risques non acceptables. En d'autres mots, ils représentent le niveau de sécurité recherché pour différentes utilisations du territoire. L'objectif de protection sera plus élevé ou plus faible selon les objets qui doivent être protégés: il sera par exemple supérieur pour un quartier de villas ou une zone artisanale que pour un parking ou un centre sportif, mais inférieur à celui d'un hôpital ou d'une école. Les objectifs de protection varient donc pour les différents biens à protéger (avec ou sans être humains, habitat permanent ou temporaire, objets sensibles, etc.) mais sont identiques pour tous les types de danger.

Les objectifs de protection sont classés par catégorie d'objets et présentés sous forme de matrices pour faciliter l'évaluation des besoins en matière de mesures de réduction des risques naturels (analyse qualitative). Ces matrices

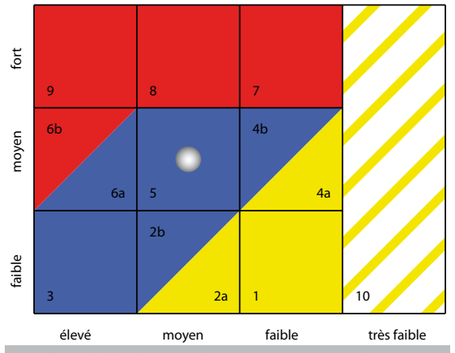
[1]Un risque est le produit de la probabilité que survienne un phénomène dangereux et de l'ampleur des dommages qu'il peut causer. Est considéré comme un dommage le décès ou la blessure d'une personne ou l'atteinte à un bien causés par l'événement dangereux. L'ampleur des dommages est souvent exprimée en nombre de décès probables par an ou en francs par an.

permettent de garantir qu'un niveau de sécurité comparable et équivalent soit recherché dans tout le canton et dans toute la Suisse. Elles présentent des valeurs indicatives qui devraient être obtenues dans l'idéal, mais qui ne permettent pas de formuler des prétentions. Dans certaines situations, les déficits de protection peuvent être comblés en prenant des mesures appropriées, mais parfois il ne sera pas possible de le faire moyennant des dépenses acceptables. Si parfois les objectifs de protection relatifs à un projet peuvent s'écarter des objectifs de protection supérieurs, ils doivent être déterminés dans le cadre de la planification des mesures en soupesant soigneusement les intérêts en jeu et en prenant en considération les impératifs économiques, sociaux et écologiques. Pour faciliter cette démarche, on peut recourir à des analyses quantitatives des risques en inscrivant les objectifs de protection dans des calculs de probabilité qui permettent d'évaluer le risque individuel de décès.

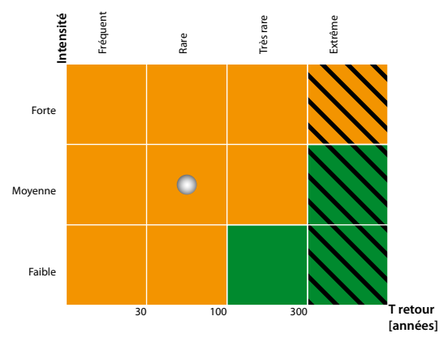
Ci-après, exemple d'objectifs de protection qualitatifs pour 3 types d'affectation dans une classe de danger 5.

- en vert = remplit l'objectif de protection
- en orange = ne remplit pas l'objectif de protection

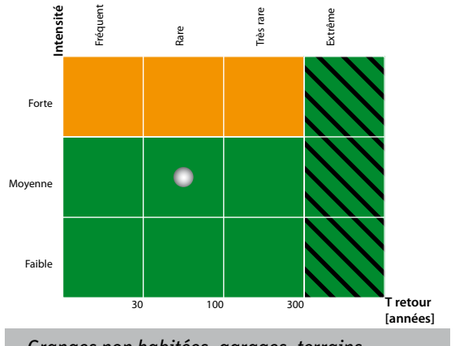
Dans cet exemple le secteur est adapté pour des terrains agricoles ou un camping, mais pas pour l'habitat permanent. S'il s'agit d'une zone déjà habitée, les constructions devraient être protégées par des mesures de protections individuelles ou collectives.



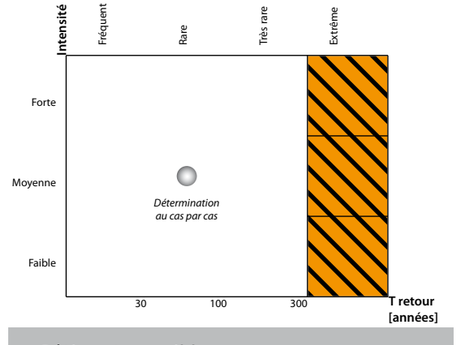
Degré de danger du secteur moyen classe 5 pour cet exemple



Zone à bâtir, zone industrielle, camping (objectif non atteint)



Granges non habitées, garages, terrains agricoles en exploitation intensive, camping (objectif atteint)



Bâtiments sensibles

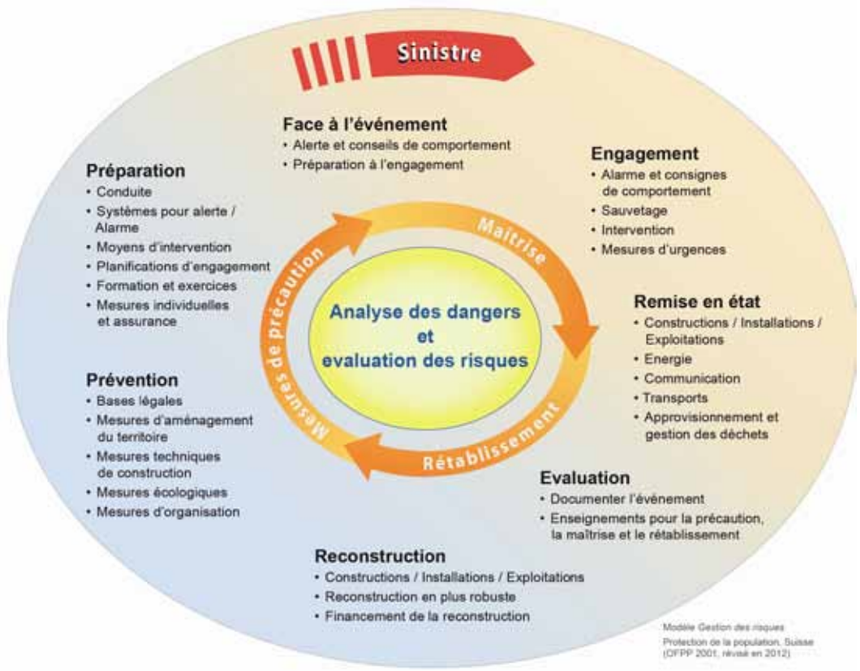
6.3 GESTION INTÉGRÉE DU RISQUE

La conjonction d'un territoire exigu, d'une demande croissante de secteurs à bâtir pour répondre aux objectifs de croissance économique et d'un standard de sécurité approprié oblige les autorités à mettre en œuvre une politique de **gestion intégrée des risques naturels**, c'est-à-dire structurée, planifiée, concertée et conforme aux principes du développement durable.

Il n'existe pas de protection absolue contre les catastrophes naturelles. Cependant, de nombreux outils impliquant plusieurs acteurs et disciplines (autorités cantonales et communales avec l'appui de la Confédération, pompiers, police, protection civile, assurances, etc.), et appliqués de façon coordonnée permettent de minimiser les risques.

La gestion intégrée des risques naturels est fondée sur le principe d'une protection ne reposant plus uniquement sur la construction d'ouvrages de protection ou sur la mise en place d'un système d'alerte, mais qui intègre à l'amont des mesures préventives prenant en compte l'ensemble des dangers naturels. Cette gestion intégrée devient alors un **processus itératif** visant à :

1. Prévenir et préparer : réduire la vulnérabilité des personnes et des biens.
2. Maîtriser les événements : limiter l'ampleur d'un sinistre par un engagement adéquat et la remise en état.
3. Rétablir et améliorer la situation : assurer la reconstruction après un événement afin de rétablir et améliorer la situation antérieure.



Gestion intégrée des dangers naturels
Source : PLANAT

Dans les zones de danger, la prévention la plus efficace pour se prémunir contre les risques naturels consiste d'abord à utiliser le territoire de manière appropriée, en essayant de le soustraire à la menace. Les **mesures passives** de prévention utilisent l'organisation, la communication et l'aménagement du territoire comme levier d'action afin d'éviter les situations à risque.

Dans les secteurs déjà habités et afin de réduire encore le risque, des **mesures actives** de prévention permettent de limiter les éventuels dommages. Elles prennent la forme d'ouvrages de protection, de mesures constructives liées à l'objet soumis au risque, de revitalisation des cours d'eau, de rétablissement des dynamiques naturelles, ainsi que de systèmes d'alerte et de plans d'intervention.

Finalement, la protection doit aussi être assurée sur le long terme, en **entretenant** de façon adéquate les cours d'eau, les plans d'eau, les forêts protectrices et les ouvrages de protection.

La gestion intégrée des risques accorde la **même importance** aux différents types de mesures en engageant des actions coordonnées et concertées dans les six axes d'orientation suivants :

1. **Données de bases** : reconnaître les dangers de façon exhaustive, évaluer les incidences et qualifier les risques, gestion des données dans une base de données géoréférencées et mise à jour constante en fonction des nouveaux éléments.
2. **Communication** : informer et sensibiliser les populations sur les risques les concernant et sur les moyens de s'en protéger, renforcer la conscience des dangers naturels.
3. **Planification et protection passive** : planifier les mesures de façon globale, tirer des leçons des événements naturels dommageables lorsqu'ils se produisent, prendre en compte les risques dans les décisions d'aménagement.
4. **Protection active** : concevoir des ouvrages de protection robustes, protéger et adapter les installations actuelles et futures.
5. **Monitoring** : assurer une surveillance des phénomènes naturels lorsque cela est possible, détecter les événements à temps, déclencher des alarmes.
6. **Préparation aux urgences** : établir des plans d'intervention et de sauvegarde, fixer à l'avance les conditions d'organisation de la gestion de crise dans les implantations soumises à un événement naturel.

Ce programme sera mis en place à partir de 2014 par le canton et les communes qui souhaitent participer.

7. GLOSSAIRE

Aléa: fréquence d'un type de danger d'une intensité donnée.

Danger: phénomène qui peut porter atteinte aux biens et aux personnes. Il est caractérisé par son intensité.

Danger résiduel: danger subsistant après la réalisation des mesures de protection.

Dommage, dégât: effet négatif d'un événement ou d'un processus.

Fontis: effondrement au toit d'une cavité ou d'une galerie souterraine.

Intensité: puissance ou magnitude d'un événement.

Menace: Danger étroitement lié à une situation précise ou un objet précis.

Objectif de protection: degré de sécurité qui doit être atteint.

Plan d'affectation: instrument d'aménagement du territoire qui détermine le type, le lieu et le degré de l'utilisation du sol, parcelle par parcelle, et qui a force obligatoire pour chaque propriétaire foncier.

Plan directeur: instrument de l'aménagement du territoire qui précise les actions nécessaires à la mise en place de l'organisation spatiale souhaitée et qui crée ainsi une plateforme de coordination liant les autorités.

Potentiel de danger: ensemble des dangers pour une région considérée.

Potentiel de dommages: ensemble des dommages possibles dans la zone de danger considérée.

Protection d'objet, d'ouvrage: mesures structurales exercées directement sur un objet, ou réalisées directement dans son voisinage immédiat.

Risque: probabilité d'une perte (biens économiques ou vies humaines) engendrée par un danger en un lieu donné.

Temps de retour: temps moyen entre deux événements d'une intensité donnée.

Territoire dangereux: zone où des phénomènes dangereux peuvent se produire.

Vulnérabilité: relation entre l'effet et l'intensité d'un événement. Elle correspond ainsi au degré de pertes causées à un objet par un événement d'une intensité donnée.

Zone de danger: périmètre menacé par des dangers naturels qui, sur la base d'une analyse des dangers, subit des restrictions d'utilisation pour les propriétaires fonciers.

8. BIBLIOGRAPHIE

EXPOSE DES MOTIFS ET PROJET DE DECRET pour accorder au Conseil d'État un crédit d'investissement pour réaliser les cartes de dangers naturels (CDN) - EMPD Avril 2007 – 2

Bureau B + C, février 2006, Carte indicative des dangers liés aux cours d'eau du canton de Vaud (CIDE), rapport final

Institut de Géomatique et Analyse du Risque (IGAR), 2008. Carte indicative de Danger des Mouvements de versants du canton de Vaud, rapport final. Faculté des Géosciences et de l'Environnement.

Tecnat SA, 2007. Carte indicative des dangers d'avalanches, rapport technique.

OFEE/OFAT/OFEFP, 1997. Recommandations pour la prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire.

OFEG, 2001. Directives protection contre les crues des cours d'eau.

OFEE/OFAT/OFEFP, 1997. Recommandations pour la prise en compte des mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire.

OFF, SLF, 1984. Directives pour la prise en considération du danger d'avalanches lors de l'exercice d'activités touchant l'organisation du territoire.

PLANALP 2009. Protection contre les dangers naturels : La responsabilité des communes, dépliant.

Canton de Berne, OFOR/OPC/OACOT, 1999. Attention, dangers naturels ! Responsabilité du canton et des communes en matière de dan¬gers naturels.

École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 2002. Projet CADANAV : Rapport final + Annexe.

VKF/ AEAI /ECA 2008. Recommandations - Protection des objets contre les dangers naturels gravitationnels.

Direction des institutions, de l'agriculture et des forêts, Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions, canton de Fribourg, 2006. Carte des dangers naturels en zone préalpine du canton de Fribourg.

PLANAT, 2012. Boîte à outils "Dialogue sur les risques naturels".

Impulz GmbH sur mandat du Groupe Forêts de protection Suisse, 2008. Boîte à outils Médias – forêts de protection".

PLANALP, 2006. Documentation des événements naturels - Instructions relatives aux relevés de terrain.

OFEFP, 1998. Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren.

OFEE/OFEFP, 1995. Légende modulable pour la cartographie des phénomènes.

BWG, 2002.CD-ROM, Légende modulable, Symbolbaukasten,

PLANAT. De la défense contre les dangers à la gestion du risque.

PLANAT, 1999. Recommandations relatives à l'assurance-qualité dans l'évaluation des dangers.

SIA, 1999. Aide à l'établissement des soumissions et des appels d'offre dans le domaine de la forêt et des dangers naturels.

École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 2002. Projet CADANAV : Rapport final + Annexe.

PLANAT, 2002. Dangers naturels sur les chemins et sentiers pédestres alpins.

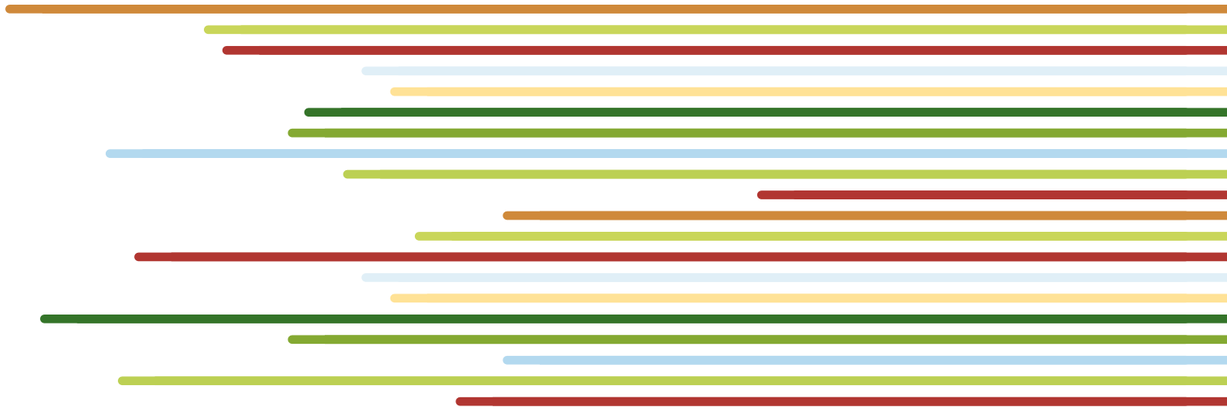
Site Internet de l'État de Vaud consacré aux dangers naturels : *www.vd.ch/dangers-naturels*

Office fédéral de l'environnement - Dangers naturels : *www.bafu.admin.ch/naturgefahren/index.html*

Office fédéral de l'aménagement du territoire : *www.are.admin.ch*

Plate-forme nationale "Dangers naturels" : *www.planat.ch*

Unité des dangers naturels
Direction générale de l'environnement



Le projet de Cartographie des Dangers Naturels du canton de Vaud a été réalisé par l'Unité des dangers naturels (UDN), dirigée par Nadia Christinet, Déléguée à l'environnement et Christian Gerber, Chef de projet, géologue. Ils ont bénéficié de la collaboration de Claire-Anne Dvorak, Dominique Walther, Guy Mueller, David Giorgis, Eric Champod, Mélanie Pigeon, Vincent Feissli.

Dessins : Twist & trout, Lausanne
Graphisme : Bureau d'information et de communication (BIC)

De nombreuses personnes ont participé par leur expertise ou leurs conseils avisés, au projet CDN-VD, dont Jacques Erhbar, Florence Pichonnaz, Renée Tondini, Fabienne Kohler, Pierrick Nicolet, David Consuegra, Alexandre Repetti, Cinzia Pfeiffer, Emilie Matti, André Kohler et Marc Andlauer.

Mai 2014