

## Dangers naturels

---

# •• Cartes indicatives des dangers naturels (CID)

## Memento

---

Direction générale de l'environnement  
Unité des dangers naturels





## SOMMAIRE

Informations générales.....	2
Introduction .....	2
Dangers naturels faisant l’objet d’une carte indicative des dangers .....	3
Dangers naturels ne faisant pas l’objet d’une carte indicative des dangers .....	3
Qu’est-ce qu’une carte indicative des dangers naturels? .....	4
Cadre légal et utilisation des cartes indicatives des dangers .....	5
Mise à jour des cartes indicatives .....	5
Deux versions des nouvelles cartes indicatives de 2020 .....	6
Un descriptif différencié pour chaque version .....	6
Où trouver les cartes indicatives des dangers naturels? .....	7
Bibliographie .....	7
Qui contacter? .....	7
Principales améliorations apportées entre les versions de 2008 et 2020 .....	8
Inondations par les crues des cours d’eau .....	10
Laves torrentielles .....	12
Glissements de terrain permanents .....	14
Glissements de terrain spontanés .....	16
Chute de pierres et blocs .....	18
Éboulements .....	20
Effondrements par dissolution .....	22
Avalanches .....	24

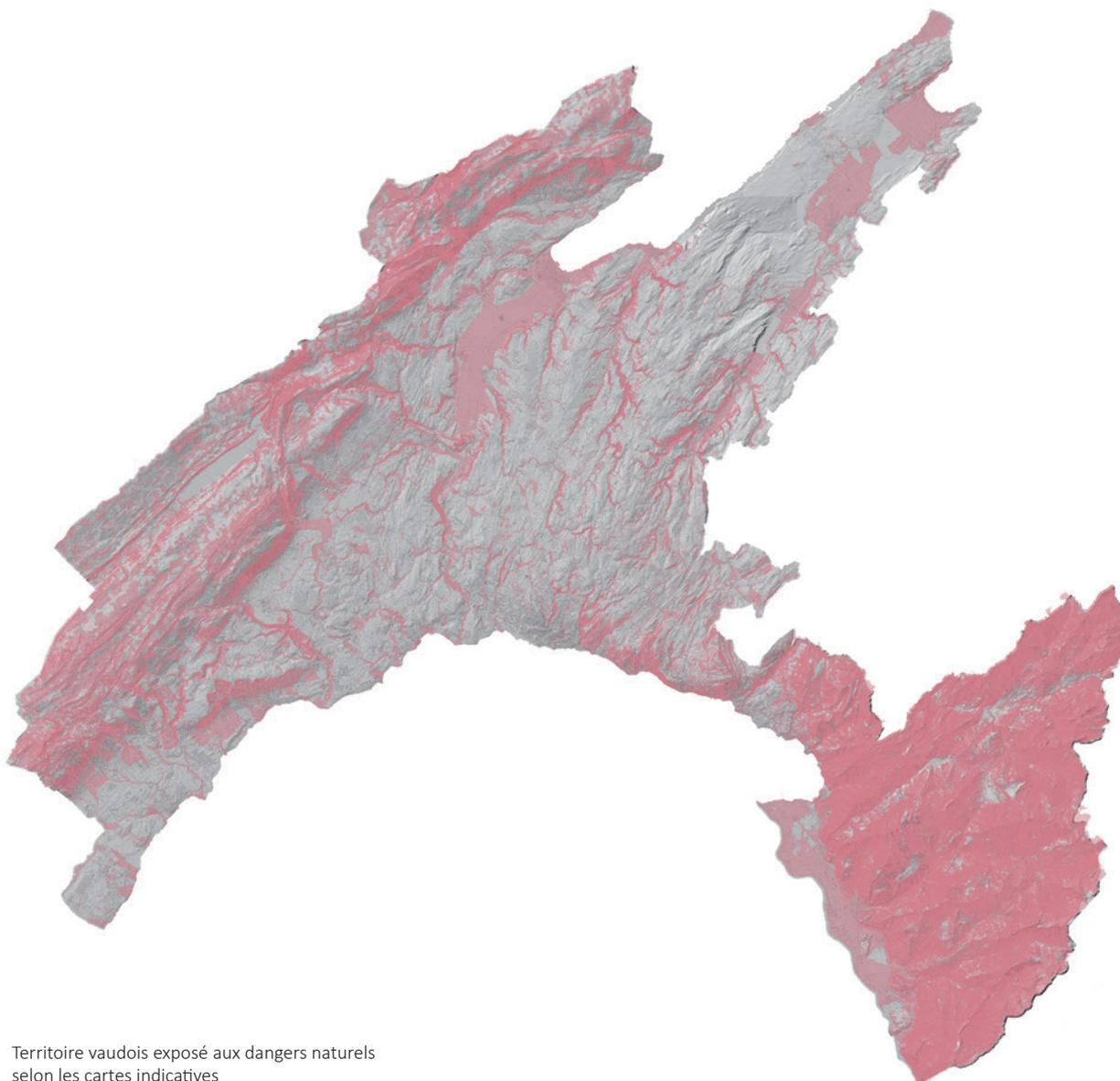
## INFORMATIONS GÉNÉRALES

### Introduction

Ce memento donne des explications sur le contenu technique des cartes indicatives des dangers naturels (CID) gravitaires du canton de Vaud et fournit quelques informations générales sur leurs utilisations.

Les dangers naturels d'origine gravitaire sont les phénomènes engendrés par l'action de la gravité (notamment les avalanches, les inondations et les instabilités de terrain) et qui exposent la population et les infrastructures à des accidents. Les cartes indicatives des dangers, issues de modélisations, permettent ainsi de localiser les zones potentiellement exposées sur tout le territoire vaudois. Elles sont complétées par des cartes de dangers naturels (CDN) en zones bâties, qui ajoutent des précisions en termes d'intensité et de fréquence.

Les 309 communes vaudoises sont toutes plus ou moins concernées par des phénomènes naturels. Les problématiques posées peuvent être très différentes selon les territoires touchés: plaine alluviale, montagne, petites communes ou agglomérations importantes, etc. Dans tous les cas, le risque engendré par l'exposition de personnes, d'activités ou d'aménagements à un, voire plusieurs dangers naturels doit être analysé, et des mesures de protection mises en place au besoin pour s'en prémunir. Une gestion intégrée des dangers naturels, impliquant fortement les services publics, est donc indispensable pour permettre un développement territorial optimisé en terme de sécurité.



Territoire vaudois exposé aux dangers naturels selon les cartes indicatives

### Dangers naturels faisant l'objet d'une carte indicative des dangers

Les aléas gravitaires suivants ont été analysés et font l'objet d'une carte indicative distincte:

#### Dangers hydrologiques

- Inondations par les crues des cours d'eau (INO)
- Laves torrentielles et coulées de boue (LTO)



INO



LTO



GPP

#### Dangers géologiques

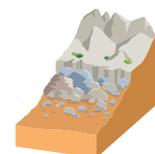
- Glissements de terrain permanents (GPP)
- Glissements de terrain spontanés (GSS)
- Chutes de pierres et de blocs (CPB)
- Éboulements de roche, écroulements (EBO)
- Affaissements et effondrements (EFF)



GSS



CPB



EBO

#### Dangers nivologiques

- Avalanches (AVA)



EFF



AVA

### Dangers naturels ne faisant pas l'objet d'une carte indicative des dangers

Les dangers naturels gravitaires suivants ne font pas l'objet d'une cartographie indicative systématique:

- les phénomènes d'érosion dans les cours d'eau, les inondations induites par les crues des lacs, les remontées de nappes d'eau souterraines et les concentrations d'eau de ruissellement;
- les phénomènes de solifluxion ou de reptation liés au fluage des couches de sols superficielles sans surface de rupture clairement identifiée;
- les phénomènes de tassements par retrait des argiles;
- les chutes de séracs et de glacier, les éboulements de glace et les aléas liés à la dégradation du permafrost;
- le déclenchement anthropique de dangers naturels, en particulier:
  - les chutes de pierres déclenchées par des grimpeurs ou des randonneurs;
  - les avalanches déclenchées par des skieurs ou des minages;
  - les fuites de canalisations générant des glissements de terrain ou des coulées de boue;
  - les accidents liés à l'affaissement ou l'effondrement des galeries souterraines d'origine humaine (anciennes exploitations minières).

Les dangers naturels suivants ne sont pas gravitaires et ne font pas l'objet d'une cartographie indicative:

- les phénomènes météorologiques (tempête, grêle, foudre, vague de chaleur);
- les phénomènes sismiques (ou « tectoniques »), générés dans le sous-sol (tremblement de terre) et concernant de vastes portions de territoire. Des cartes d'exposition à grande échelle sont disponibles (carte du zonage sismique de la Suisse et cartes des sols de fondation);
- les incendies de forêt;
- les dangers biologiques tels que les épidémies, épizooties ou invasions d'insectes.

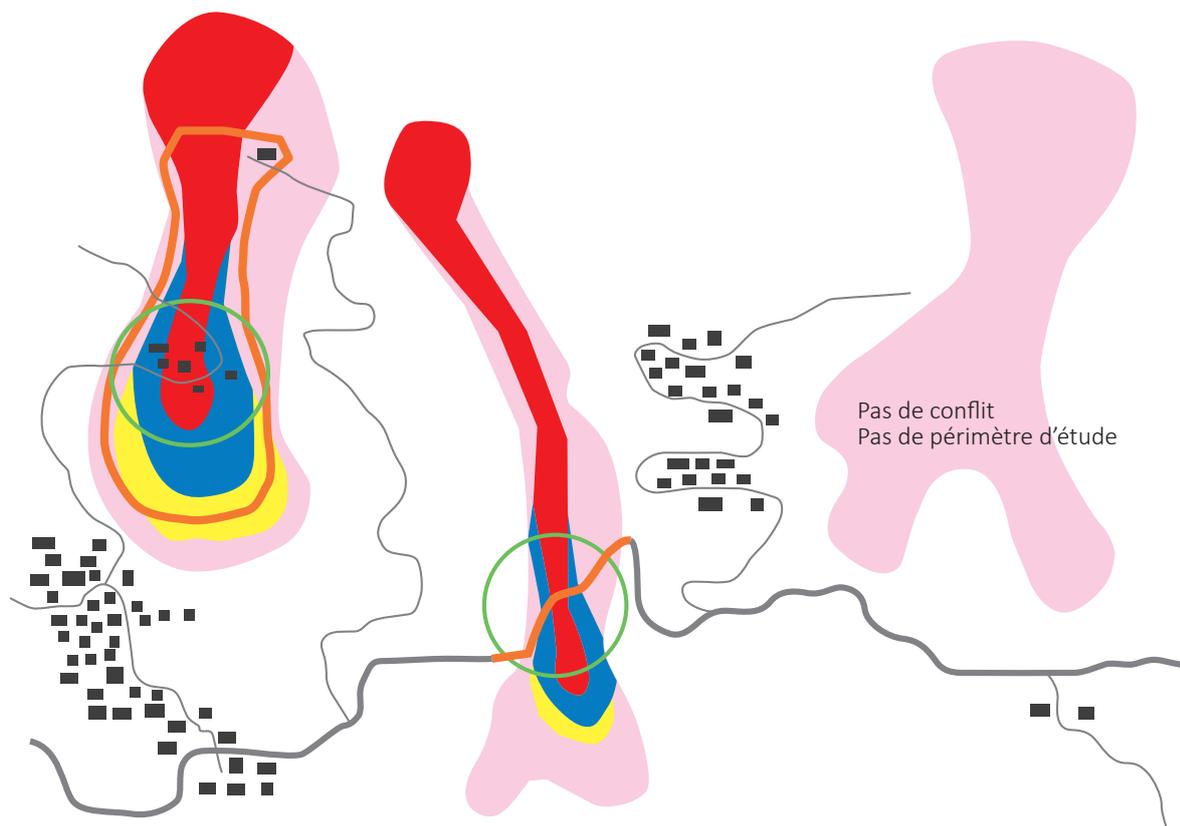
### Qu'est-ce qu'une carte indicative des dangers naturels?

Les cartes indicatives des dangers naturels identifient les processus dangereux et localisent les zones **potentiellement** exposées à l'échelle régionale, sans toutefois préciser les intensités et les probabilités d'occurrence des phénomènes. Elles 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.

Les cartes indicatives fournissent ainsi une vision globale de la situation de danger sur l'ensemble du territoire vaudois et constituent un outil essentiel pour mener une gestion intégrée des risques naturels performante, comme exigée par les recommandations fédérales. Les cartes des dangers sont ensuite réalisées dans les secteurs potentiellement exposés – selon les cartes indicatives – qui impliquent des enjeux de territoire importants (zones à bâtir, infrastructures) pour préciser l'intensité et la fréquence des phénomènes menaçants.

Les cartes indicatives des dangers distinguent:

- Rose pastel** Secteurs où la présence d'un danger potentiel est détectée
- Vide** Secteurs où aucun danger potentiel n'a été détecté par la modélisation



- Carte des dangers indicatifs
- Carte des dangers naturels
- Périmètre des dangers
- Zone de conflit (secteur exposé)
- Route

### Cadre légal et utilisation des cartes indicatives des dangers

La prévention du risque est une obligation légale et une priorité politique pour le Canton de Vaud. Ce principe et les mesures concrètes qui en découlent sont fixés dans la fiche E13 « Dangers naturels » du plan directeur cantonal.

Même si les CID ne fournissent aucune indication sur la fréquence des événements ni sur leur intensité, elles permettent néanmoins aux services cantonaux spécialisés, aux communes et aux experts :

- de délimiter les périmètres à l'intérieur desquels les cartes de dangers naturels (CDN) sont établies ;
- de gérer le « hors zone à bâtir ». En l'absence de cartes des dangers naturels (CDN), les cartes indicatives des dangers sont les seules données de base à disposition qui permettent de traiter les demandes de permis de construire ;
- de disposer d'informations scientifiques complémentaires aux cartes des dangers naturels ;
- d'anticiper les conflits futurs entre l'occupation du territoire et la présence de dangers naturels ;
- de préciser les périmètres des forêts protectrices ;
- de développer une planification et des mesures organisationnelles (commission de sécurité, service d'alerte, plan d'évacuation) en prévision et suite à des événements.

### Mise à jour des cartes indicatives

Depuis leur première édition en 2008, des développements importants ont permis de perfectionner la méthodologie de modélisation de plusieurs aléas, en particulier avec l'introduction d'indices de susceptibilité à la rupture et de propagation (e.g. Michoud et al. 2012), l'affinement des modèles de propagation (Horton et al. 2013) et la prise en compte du rôle des forêts protectrices (Michoud et Horton, 2015).

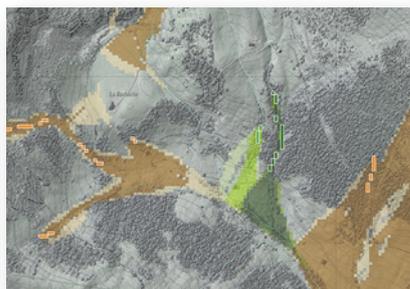
De plus, le Canton de Vaud dispose depuis peu de nouvelles données cartographiques numériques à très haute résolution, dont le Modèle Numérique de terrain à 50 cm (MNT-HR) et le cadastre de la mensuration officielle au format vectoriel. Tous ces éléments ont permis de procéder en 2020 à une mise à jour des cartes indicatives de 2008, à l'exception du danger d'avalanche. La carte du danger d'éboulement et la carte de danger d'effondrement sont nouvelles.

### Deux versions des nouvelles cartes indicatives de 2020

Les nouvelles cartes indicatives des dangers sont déclinées en deux versions : la carte indicative des dangers (CID) et la carte indicative « plus » (CID+). La première affiche l'enveloppe des territoires exposés sous la forme de polygones ou de pixels de couleur rose pastel, sans autre indication. Les cartes indicatives « plus », lorsqu'elles sont disponibles, révèlent des détails supplémentaires issus des modélisations, par exemple en différenciant la genèse des processus naturels, ou en affichant des informations sur la vraisemblance du phénomène.



Carte indicative des dangers (CID)

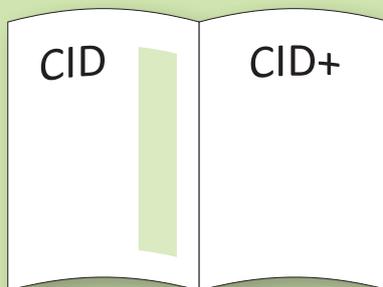


Carte indicative « plus » (CID+)

### Un descriptif différencié pour chaque version

Pour chacun des aléas, hormis les avalanches, deux pages explicatives distinctes sont disponibles : une pour la CID et une pour la CID+ (« plus ») :

- La page CID décrit les caractéristiques de l'aléa, les paramètres de modélisation ainsi que les données de base utilisées pour élaborer la carte. La même fiche résume également dans une colonne les caractéristiques typiques de l'aléa en question, comme les conditions d'apparition, les facteurs déclenchants/atténuants et les types de dégâts.
- La page CID+ donne des informations complémentaires sur l'utilisation de la CID, utiles aux professionnels.



### Où trouver les cartes indicatives des dangers naturels ?

Les CID sont disponibles sur le guichet cartographique cantonal [www.geo.vd.ch](http://www.geo.vd.ch) sous le thème Dangers naturels.

Elles sont également accessibles sur le guichet professionnel cantonal [www.cdn.vd.ch](http://www.cdn.vd.ch).

Attention : les cartes indicatives « plus » (CID +) sont uniquement disponibles sur le guichet professionnel et requièrent un mot de passe.

### Bibliographie

- [1] Cartes indicatives des dangers. Nouvelles cartes indicatives de chutes de blocs, laves torrentielles et glissements spontanés sur le canton de Vaud, Terranum, juin 2018.
- [2] Carte indicative des dangers pour éboulement et écoulement. Nouvelles cartes indicatives pour grands éboulements et écoulements dans les régions du Jura, des Préalpes et des Alpes Vaudoises, Terranum, 2018.
- [3] Carte indicative des dangers d'effondrement par dissolution (CID-EFF), Rapport méthodologique, Unité des dangers naturels, 2012.
- [4] Cartes indicatives des dangers des mouvements de versants du canton de Vaud, FGSE, IGAR, Unil, 2008.
- [5] Carte indicative des dangers d'avalanches, rapport technique, Tecnat SA, décembre 2007.
- [6] Établissement des cartes indicatives des dangers liés à l'eau CIDE, Rapport final, Canton de Vaud, SESA, 2005.
- [7] Carte indicative des dangers liés aux inondations pour le lot 5 – Lausanne, DSE – Canton de Vaud, 2010.
- [8] Détection et utilisation des terrains instables (DUTI). Rapport final. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, juin 1985.
- [9] Vade Mecum, Unité des dangers naturels, 2014.

### Qui contacter ?

Unité des dangers naturels (DTE-DGE-DIRNA-UDN)  
info.dn@vd.ch  
Avenue de l'Université 5, 1014 Lausanne  
[www.vd.ch/dangers-naturels](http://www.vd.ch/dangers-naturels)

### En ligne

Toutes les cartes indicatives des dangers naturels sont consultables sur :



[www.geo.vd.ch](http://www.geo.vd.ch)



[www.cdn.vd.ch](http://www.cdn.vd.ch)

## PRINCIPALES AMÉLIORATIONS APPORTÉES ENTRE LES VERSIONS DE 2008 ET 2020

Cartes	Paramètres	Version 2008	Version 2020
<b>Tous les aléas</b>	MNT-MO	LiDAR-2006 (grille de 1 m), dégradé au 25 m	LiDAR-2015 (grille de 0.5 m), dégradé au 10 m (sauf CPB et EBO)
<b>Inondations</b>	Couverture du territoire	Version publiée sans la région lausannoise	Intégration de la carte CIDE de l'agglomération lausannoise
<b>Laves torrentielles</b>	<b>Identification des zones sources</b>		
	Pentes	Seuil inférieur	Seuils inférieur et supérieur
	Relation surface contributive – pente	Seulement pour les événements extrêmes	2 classes de susceptibilité pour les événements rares et extrêmes
	Cours d'eau	Pas de différenciation des cours d'eau	Classification dans /hors cours d'eau
	Filtrage	Aucun filtrage	Exclusion des zones sources isolées
	Surfaces anthropisées	Prise en compte partielle	Selon le modèle fédéral TLM <sup>3D</sup> et le cadastre cantonal
	Forêt protectrice	Pas considérée	Réalisation de 2 cartes « avec » et « sans effet » de la forêt de protection
	Sols, géologie	Discrétisation à partir de la carte des géotypes	Pas de discrétisation par rapport à la lithologie. Déclassement des surfaces karstiques
	Infiltrabilité des terrains	Pas de prise en compte	A partir de la carte du karst (VD) et de la carte indicative des effondrements
	Déclenchement	Classification binaire [oui/non]	4 classes de susceptibilité
	<b>Simulation des périmètres de propagation</b>		
	Modèle	Première version de Flow-R <sup>®</sup>	Amélioration des algorithmes de Flow-R <sup>®</sup>
	Propagation	Binaire [oui/non]	Approche multi-paramètres pour chacune des 4 classes de zones sources
	Forêt protectrice	Pas considérée	Prise en compte dans une cartographie différenciée
<b>Glissements permanents</b>	Couches et tables attributaires	DUTI, glissements avérés et glissements potentiels	La couche glissements potentiels a été retirée & amélioration de la structure SIG et des tables attributaires

Cartes	Paramètres	Version 2008	Version 2020
<b>Glissements spontanés</b>	<b>Identification des zones sources</b>		
	Sols, géologie	Classification selon les géotypes, sans prise en compte de la couverture végétale	Affinement des classes avec prise en compte de la couverture végétale et de la géologie
	Surfaces anthropisées	Prise en compte partielle	Selon le modèle fédéral TLM <sup>3D</sup> et le cadastre cantonal
	Forêt protectrice	Pas de prise en compte	Prise en compte dans une cartographie différenciée
	<b>Simulation des périmètres de propagation</b>		
	Propagation	Pas de modélisation ni de cartographie	Utilisation du modèle SFLM calibré sur les événements fribourgeois de l'été 2014 et du nouvel inventaire SLF/OFEV de 2019
	Forêt protectrice	Pas considérée	Prise en compte dans une cartographie différenciée
<b>Chutes de pierres et blocs</b>	<b>Identification des zones sources</b>		
	Sols, géologie	Classification en 5 unités géomécaniques d'après la carte tectonique de la Suisse	Affinement de la classification en unités géomécaniques d'après les cartes géologiques de la Suisse
	MNT-MO	LiDAR 2006 dégradé au 25 m	LiDAR 2015 dégradé au 5 m
	Déclenchement	Classification binaire [oui/non]	Susceptibilité de rupture pour chaque source Filtrage des surfaces anthropiques selon modèle fédéral TLM <sup>3D</sup> et cadastre cantonal
	<b>Simulation des périmètres de propagation</b>		
	Modélisation	Méthode du Fahrböschung implémentée dans Conefall <sup>®</sup>	Méthodes du Fahrböschung & SFLM implémentées dans Flow-R <sup>®</sup>
	Propagation	Binaire [oui/non]	Approche multi-paramètres avec 4 susceptibilités d'atteinte
Forêt protectrice	Pas considérée	Deux modèles avec et sans forêt protectrice	
<b>Éboulements</b>		(Pas de carte indicative)	<b>Nouvelle carte indicative</b>
<b>Effondrements</b>		(Pas de carte indicative)	<b>Nouvelle carte indicative</b>
<b>Avalanches</b>			<b>Pas de modification</b>

## INONDATIONS PAR LES CRUES DES COURS D'EAU

Les inondations se produisent lorsque le niveau de l'eau dans le lit des cours d'eau dépasse leur seuil de capacité et déborde sur les terrains alentours.

Deux types d'inondation sont distingués:

- les inondations statiques avec une augmentation régulière du niveau d'eau; ici ce sont les hauteurs d'eau et les durées d'immersion qui impactent le plus la population et les constructions;
- les inondations dynamiques, avec des vitesses d'écoulement rapides qui génèrent une grande force de charriage et d'érosion.



© DGE – UDN

### Carte indicative des dangers « inondations »

La carte indicative des dangers d'inondations (CIDE) donne une appréciation de l'enveloppe maximale des étendues exposées aux inondations par les crues des cours d'eau.

Les crues des plans d'eau (lacs, bassins, étangs) et les remontées de nappes d'eau souterraine n'ont pas été prises en compte dans l'élaboration de la carte. Seuls les cours d'eau reportés dans la base de gestion des eaux de surface du Canton de Vaud *GESREAU* ont été considérés.

### Données de base

- Le réseau hydrographique de la base de gestion des eaux de surface du canton de Vaud *GESREAU*.
- Les débits estimés selon la méthode dite régionale (Q100) et celle dite rationnelle (Q100Rat). Ces deux méthodes combinées ont donné un modèle universel d'évolution des débits le long du réseau hydrographique.
- Modèle numérique du terrain MNT Laser, mailles de 5 m, dégradées en mailles de 25 m.
- Directions préférentielles des écoulements sous forme de flèches.
- Cadastre cantonal des événements.

### Élaboration de la carte

Les scénarios de danger retenus pour l'établissement de la carte indicative sont assimilables à des crues extrêmes, avec des phénomènes de charriage, d'alluvionnements et de blocages suffisamment marqués pour aggraver, voire provoquer, le débordement des cours d'eau.

Les surfaces potentiellement inondables sont déterminées à partir:

- de modélisations hydrauliques simples en régime permanent qui épandent les eaux débordées sur le modèle numérique de terrain;
- du cadastre des événements et de la documentation des inondations passées;
- de visions locales pour les scénarios de débordement complexes.

### Référence

Établissement des cartes indicatives des dangers liés à l'eau CIDE, Rapport final, Canton de Vaud, SESA, 2006

#### Conditions d'apparition

- Précipitations intenses ou prolongées
- Fonte des neiges
- Saturation en eau et imperméabilisation du sol

#### Facteur associé

- Transport solide (charriage)

#### Facteurs aggravants

- Alluvionnement
- Érosion des berges
- Embâcles
- Dépotoirs pleins
- Glissements
- Laves torrentielles
- Rupture de digues/berges
- Sous-capacité par des infrastructures (ponts, etc.)

#### Facteurs atténuants

- Renaturation des cours d'eau
- Dignes, dépotoirs, désableurs
- Peignes, grilles ou toute autre mesure de protection contre les inondations
- Aménagements de corridor de crues
- Étanchéification des constructions

#### Types de dégâts

- Dégradation des terres arables
- Érosion et déstabilisation des versants des berges
- Dommages aux bâtiments et aux infrastructures
- Noyade de personnes



© DGE – EAU

## INONDATIONS PAR LES CRUES DES COURS D'EAU

La carte indicative « plus » (CID+) fournit des informations complémentaires sur la précision des modélisations de l'étalement des eaux de crue après leur débordement des cours d'eau.

### Vraisemblance du phénomène d'inondation



#### Vraisemblance du phénomène

- Faible
- Moyenne
- Forte

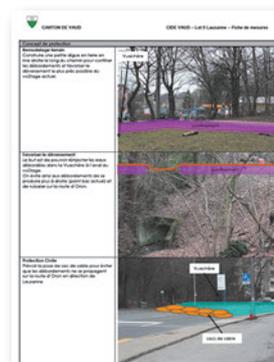
L'analyse croisée du résultat des modélisations et du modèle numérique de terrain, complétée parfois par des observations locales de terrain, permet d'attribuer trois niveaux de vraisemblance (forte, moyenne ou faible) aux écoulements des eaux de crue qui ont débordé sur le territoire. En effet, la résolution du MNT demeure insuffisante pour détecter les microreliefs du terrain qui peuvent confiner les écoulements de surface dans un secteur, les canaliser ou les disséminer dans une direction préférentielle, ou les stocker dans les petites dépressions. La modélisation des écoulements dans les secteurs urbanisés (trottoirs et autres obstacles) et dans les champs en zone rurale est particulièrement sensible à ces imprécisions.

### Projet CIDE Lausanne

La carte indicative de l'agglomération lausannoise est issue d'une méthodologie développée spécifiquement pour faciliter les besoins d'intervention en cas d'événement. Une étape de filtrage supplémentaire a été ajoutée aux résultats de la modélisation standard pour mettre en évidence les points de débordement les plus prévisibles et proposer des solutions simples pour reconduire les eaux débordées dans les lits des cours d'eau.

La donnée est intégrée dans la même couche CIDE de l'ensemble du canton. Une requête sur le champ « origine » en sélectionnant « CIDE Lausanne » permet d'afficher exclusivement la carte de l'agglomération lausannoise.

- La donnée est complétée par d'autres informations disponibles dans le rapport :
- les surfaces inondées après la mise en place des mesures d'intervention et celles qui seraient touchées sans ces mesures ;
  - des flèches représentant les écoulements résiduels ; elles mettent en évidence les surfaces importantes non cartographiées qui pourraient être touchées par les inondations sans la mise en place de mesures ;
  - des pastilles et des traits de couleurs qui renseignent sur le type d'intervention à mettre en œuvre ;
  - des périmètres renvoyant aux fiches d'intervention détaillées (voir images ci-contre).



### Référence

Carte indicative des dangers liés aux inondations pour le lot 5 – Lausanne, DSE – Canton de Vaud, 2010

## LAVES TORRENTIELLES

Une lave torrentielle est un mélange d'eau, de sédiments et de bois comprenant une proportion élevée de matériaux solides (env. 30 à 60%) et qui s'écoule à grande vitesse.

Elle se produit en montagne dans les zones où le sous-sol géologique sensible à l'érosion fournit de grandes quantités de matériaux meubles.



© DGE – EAU

Pour provoquer une lave torrentielle, il faut un apport d'eau conséquent dans un laps de temps court et une déclivité d'au moins 15°. Ces diverses conditions sont réunies dans un grand nombre de bassins versants des torrents de montagne, principalement dans les Préalpes.

### Carte indicative

Elle comprend les territoires potentiellement exposés :

- aux laves dans les systèmes torrentiels ;
- à une remobilisation des matériaux déposés dans le lit des rivières ;
- à certaines coulées pouvant se générer en dehors du réseau torrentiel des ravines et des cours d'eau.

### Données de base

- Modèle numérique de terrain haute résolution MNT-LIDAR-HR. Afin d'éviter les artefacts liés à ce modèle numérique et un temps de calcul trop important, le MNT a été dégradé en une grille à plus faible résolution (10 m).
- La présence de cours d'eau selon le cadastre cantonal GESREAU, pour une différenciation des zones sources dans les cours d'eau et en dehors des cours d'eau.
- Carte indicative du karst sur les reliefs du Jura vaudois et des unités karstiques dans les Préalpes (ISSKA).
- Modèle topographique du paysage TLM<sup>3D</sup> de Swisstopo.
- Cadastre des forêts de protection de la DGE-FORÊT.

### Élaboration de la carte

#### Identification des zones sources potentielles

- Identification des zones potentiellement instables, en fonction de la pente, de la courbure du terrain et de la taille de la surface contributive.
- Détermination d'une *susceptibilité de déclenchement* selon la présence d'un cours d'eau et d'après la relation entre la pente et la surface contributive.
- Déclassement des zones sources situées hors cours d'eau et dans la carte indicative du karst.
- Filtre automatique pour supprimer les artefacts issus du MNT.

#### Modélisation des périmètres de propagation

- Délimitation des zones d'atteinte avec calibration de l'étalement et de la distance de propagation à l'aide du logiciel Flow-R<sup>®</sup> (Terranum). Les paramètres utilisés pour la propagation s'appuient sur des valeurs issues de la littérature.
- Détermination des différentes *susceptibilités d'atteinte* pour les laves torrentielles dans les cours d'eau et en dehors des cours d'eau. Pour chaque cas, la susceptibilité a été attribuée en prenant en compte les critères des zones sources et les paramètres de propagation.

La carte indicative ne tient pas compte de la forêt de protection.

#### Conditions d'apparition

- Déclivité supérieure à 15°. Valeur maximale 40°. Au-delà de ce seuil, les matériaux ne s'accumulent pas assez
- Apport convergent d'eau : bassin de surface > 1 ha
- Morphologie : dépôts de versants alluviaux ou glaciaires

#### Facteurs de déclenchement

- Fortes précipitations et fonte des neiges
- Instabilité des berges ou des pentes bordant les cours d'eau

#### Facteurs atténuants

- Dépotoirs à laves torrentielles
- Filets hautes énergies pour laves torrentielles
- Occlusions dans des parties rétrécies (goulots) des torrents

#### Types de dégâts

- Érosion profonde du lit des torrents et déstabilisation des versants des berges
- Dommages sur les bâtiments et les infrastructures (forte poussée du front des laves, renforcée par la présence de gros blocs)
- Ensevelissement de personnes



© J.-L. Gay (DGE – FORÊT)

## LAVES TORRENTIELLES

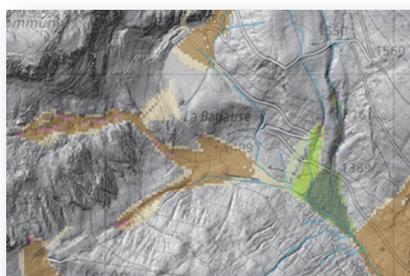
La carte indicative « plus » (CID+) fournit des informations complémentaires sur les susceptibilités de déclenchement et les susceptibilités d'atteinte, ainsi que sur l'effet de la forêt de protection.

### Susceptibilités de déclenchement et d'atteinte

Les différentes zones sources peuvent être classées par susceptibilité de déclenchement (moyenne, élevée et très élevée) en différenciant également les sources situées « dans les cours d'eau » et « hors cours d'eau ».

Seules les zones sources supérieures ou égales à 200 m<sup>2</sup> (surface ≥ 2 pixels) ont été conservées pour filtrer les erreurs introduites par des artefacts du MNT ou des spécificités très locales. La classe « faible », correspondant à une source « peu susceptible » de déclencher une lave torrentielle en dehors des cours d'eau, n'a pas été restituée. L'influence de ces sources sur les propagations est en effet trop importante et masquerait la réalité de terrain. De même, les susceptibilités d'atteinte « faible » pour les propagations issues des sources hors des cours d'eau n'ont pas été restituées.

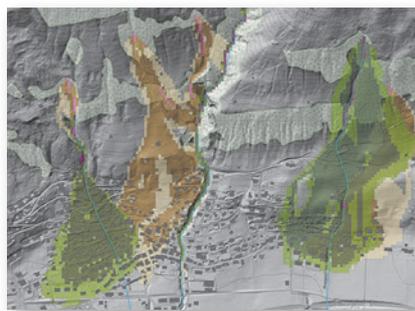
Pour tous les autres cas, la susceptibilité d'atteinte peut être affichée en 4 classes (faible, moyenne, élevée et très élevée). Elle est directement liée à des sources ainsi qu'à une valeur statistique de propagations se superposant lors de la modélisation à l'aide du logiciel Flow-R® (Terranum).



### Le rôle de la forêt de protection

Toutes les couches peuvent être affichées avec ou sans prise en compte de la forêt de protection. Seules les zones sources sont influencées par la présence d'une forêt protectrice (aucun effet sur les propagations).

#### Sans forêt de protection (FP)



#### Avec forêt de protection (FP)



Dans l'exemple ci-contre, les zones sources situées dans une forêt protectrice sont supprimées ou réduites par la présence de forêt protectrice. Les secteurs exposés sont supprimés ou réduits par la diminution des zones sources.

### Référence

Carte indicative des dangers. Nouvelles cartes indicatives de CPB, LTO et GSS sur le canton de Vaud, Terranum, 2018

#### Sans prise en compte de la forêt de protection

##### Susceptibilité de déclenchement

- Moyenne (hors cours d'eau)
- Élevée (dans les cours d'eau)
- Très élevée (dans les cours d'eau)

##### Susceptibilité d'atteinte dans les cours d'eau

- Faible
- Moyenne
- Élevée
- Très élevée

##### Susceptibilité d'atteinte hors cours d'eau

- Susceptibilité d'atteinte
- Moyenne
  - Élevée

#### Avec prise en compte de la forêt de protection

##### Susceptibilité de déclenchement

- Moyenne (hors cours d'eau)
- Élevée (dans les cours d'eau)
- Très élevée (dans les cours d'eau)

##### Susceptibilité d'atteinte dans les cours d'eau

- Faible
- Moyenne
- Élevée
- Très élevée

##### Susceptibilité d'atteinte hors cours d'eau

- Moyenne
- Élevée

## GLISSEMENTS DE TERRAIN PERMANENTS

Un glissement de terrain permanent est un mouvement de pente régulier affectant une masse de terrains meubles et/ou de matériaux rocheux sur une longue période, actionné par la gravité et par des forces extérieures (notamment hydrauliques et hydrogéologiques).

Le mouvement se produit sur des pentes moyennes à fortes, le long d'une ou de plusieurs surfaces de glissement existantes, plus ou moins continues, planes ou incurvées. Les mouvements sont généralement lents (quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) et de profondeurs très variables (quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres).

Les processus s'activent suite à une modification des conditions limites et à une rupture de l'état d'équilibre du terrain. Cet équilibre est fortement influencé par les infiltrations et les circulations d'eaux souterraines. Les travaux anthropiques, tels que les fouilles ou les terrassements, peuvent aussi être des facteurs de déclenchement. Dans la majorité des cas, les glissements de terrain permanents présentent, à long terme, des déplacements continus avec des phases d'accélération et de réactivation.

### La carte indicative des dangers « Glissements permanents »

Elle intègre deux couches distinctes :

- la « carte des phénomènes du canton de Vaud » dite « DUTI-Noverraz », réalisée par le projet DUTI de l'EPFL dès 1985 et élargie à l'ensemble du territoire en 1990 sur mandat de l'État de Vaud ;
- la « carte des glissements avérés », réalisée par l'UNIL en 2008, qui :
  - précise le contour des certaines masses glissées de la carte DUTI avec les nouvelles technologies à disposition (MNT et orthophotos) ;
  - affiche les caractéristiques des masses glissées lorsqu'elles peuvent être déterminées : âge supposé, typologie, genèse érosive, gravitaire ou mixte, évidence.

La « carte des glissements potentiels », aussi réalisée par l'UNIL en 2008, complète la carte des glissements avérés en intégrant les surfaces potentiellement exposées aux instabilités de terrain. Cette couche très conservative a été retirée dans la nouvelle version de la carte indicative car elle ne présente pas d'intérêt direct pour les problématiques de construction et d'aménagement du territoire. Les données de cette couche sont toujours disponibles dans la version CID+.

### Données de base

- Inventaire des grands glissements de terrain permanents du canton de Vaud.
- Modèle Numérique de Terrain (maille de 1 m), cartes géologiques et orthophotos.
- Contrôles visuels de terrain sur des sites ponctuels.

Les facteurs anthropiques (fouilles, terrassements, système d'évacuation des eaux des routes, etc.) peuvent influencer significativement le déclenchement des glissements de ce type, mais ne sont pas pris en compte dans l'élaboration de la CID.



© NCG-Norbert

### Conditions d'apparition

- Déclivité des pentes généralement entre 10° et 40° mais généralement supérieure à 25°
- Géologie favorable

### Facteurs de déclenchement

- Circulation d'eau souterraine
- Infiltration des eaux de ruissellement
- Plan de glissement existant en profondeur
- Augmentation des charges en amont
- Diminution des appuis en pied de pente
- Travaux anthropiques (fouilles, terrassements, etc.)

### Types de dégâts

- Déformation, fissures ou affaissements lents des bâtiments et infrastructures (routes et conduites)
- Les personnes sont plus rarement menacées



© GVG

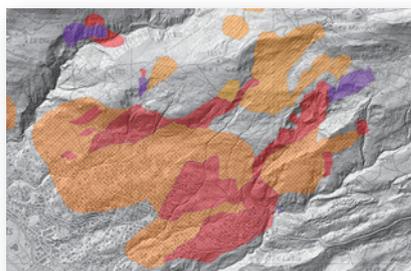
## GLISSEMENTS DE TERRAIN PERMANENTS

La carte indicative « plus » (CID+) fournit des informations complémentaires, notamment sur l'intensité des processus (vitesse et profondeur), l'âge et la typologie des phénomènes.

### Carte DUTI-Noverraz

Chaque masse en glissement est caractérisée par une vitesse de déplacement et une profondeur (valeurs moyennes estimées ou mesurées) détectées sur la base de l'analyse morphologique et d'études antérieures.

- Détection d'indices morphologiques prouvant l'existence d'un glissement sur la base des orthophotos, des cartes géologiques et des visites ponctuelles de terrain (ruptures de pente, niches d'arrachement, dépôts et tassements, etc.).
- Évaluation qualitatives ou quantitatives des vitesses moyennes de déplacement et des profondeurs de glissement. La profondeur des plans de glissement est signalée localement par des points avec une indication de la précision (estimée ou mesurée) lorsqu'elle a pu être évaluée dans les sondages.



#### Vitesse et profondeur du glissement

- 0-2 cm/an, prof <2 m
- 0-2 cm/an, prof. 2-10 m
- 0-2 cm/an, prof. <10 m
- 2-10 cm/an, prof. <2 m
- 2-10 cm/an, prof. 2-10 m
- 2-10 cm/an, prof. <10 m
- >10 cm/an, prof. 2-10 m
- >10 cm/an, prof. <10 m
- Ancien, incertain

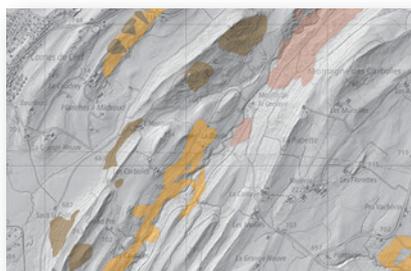


- Profondeur estimée
- Profondeur mesurée

### Carte des glissements avérés

Chaque masse instable est précisée par des informations supplémentaires stockées dans la table attributaire. Au moins 3 indices morpho-structuraux ont pu être détectés pour qualifier un glissement d'« avéré ».

- Reprise des données de la carte DUTI-Noverraz (limites, vitesses et profondeurs) et amélioration de la détection des indices morphologiques à l'aide du MNT et des orthophotos les plus récentes.
- Détermination de caractéristiques supplémentaires pour chaque masse en glissement: âge estimé, typologie, genèse (érosif, gravitaire ou mixte) et évidence.

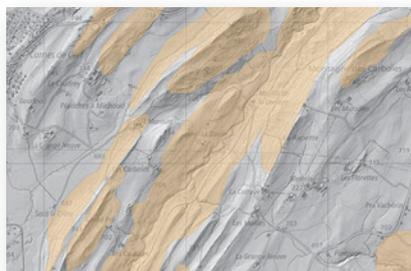


#### Glissement avéré

- Érosif
- Mixte
- Gravitaire
- Indéterminé

### Carte des glissements potentiels

Mêmes paramètres que ceux de la carte des glissements avérés, mais la détection d'un seul indice permet de définir une zone de glissement potentielle.



#### Glissement potentiel

- Glissement potentiel

### Références

- [1] Cartes indicatives des dangers des mouvements de versants du canton de Vaud, FGSE, IGAR, Unil, 2008
- [2] Carte des instabilités de terrain du canton de Vaud. Rapport conclusif et explicatif des travaux de levé de cartes. F. Noverraz, 1994

## GLISSEMENTS DE TERRAIN SPONTANÉS

Les glissements de terrain spontanés et les coulées de boue sont des mouvements de terrain qui se propagent vers l'aval de façon subite avec des vitesses instantanées élevées. Ils affectent généralement les dépôts récents d'origine glaciaire et se déclenchent le plus souvent dans les pentes où la couche superficielle se trouve à la limite de son état d'équilibre.



© Amt für Bevölkerungsschutz NW, Oberdorf

La dégradation temporaire de la qualité du sol, notamment par saturation d'eau, entraîne soit des glissements avec des arrachements superficiels qui mettent à nu la surface, ou des épanchements plus liquides sans limites nettes. Ces phénomènes sont donc très sensibles aux précipitations intenses. La masse glissée 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.

À la différence des glissements de terrain de type permanent, les glissements de terrain spontanés et les coulées de boue forment toujours une nouvelle surface de glissement, rendant le phénomène relativement imprévisible et parfois dangereux.

### Carte indicative

Elle comprend :

- les zones sources de glissements spontanés et de coulées de boue ;
- les territoires potentiellement exposés aux matériaux écoulés des glissements spontanés et des coulées de boue.

### Données de base

- Inventaire des événements passés sur les cantons de Vaud et Fribourg.
- Modèle Numérique de Terrain haute résolution (MNT-LIDAR-50 cm), dégradé en mailles de 10 m.
- Cartes géologiques vectorisées.
- Modèle topographique du paysage (swissTLM<sup>3D</sup>).
- Paramètres géotechniques calibrés selon les études antérieures sur les cantons de Vaud et Fribourg, complétés par un inventaire fédéral SLF/OFEV.

### Élaboration de la carte

- Définition de l'indice de stabilité (IS) pour chaque type de sol. L'approche comprend :
  - un modèle de stabilité qui calcule le facteur de sécurité (rapport entre les forces stabilisant la pente et celles entraînant un glissement) en fonction de paramètres géomécaniques attribués aux types de sols et d'un modèle hydrogéologique calculant l'infiltration et le degré de saturation des sols ;
  - une calibration des paramètres hydrologiques et géomécaniques avec les événements passés des cantons de Vaud et de Fribourg.
- Détermination de la stabilité des zones sources potentielles de glissements de terrain spontanés et de coulées de boue, en fonction de l'indice de stabilité. Plus l'IS est bas, plus le terrain est instable.
- Modélisation des distances de propagation des glissements de terrain spontanés et des coulées de boue (méthode du SFLM<sup>®</sup>, Terranum).
- Détermination des susceptibilités d'atteinte des glissements de terrain spontanés et des coulées de boue en fonction de l'angle d'atteinte (Fahrböschung) et de la vitesse limite des coulées.
- Analyse de l'effet des forêts de protection (selon le cadastre des forêts de protection de la DGE-FORÊT) sur les distances de propagation de pierres et de blocs.

### Remarque

Les facteurs anthropiques (fouilles, terrassements, système d'évacuation des eaux des routes, etc.), qui peuvent influencer significativement le déclenchement des glissements de ce type, ne sont pas pris en compte dans l'élaboration de la CID.

### Conditions d'apparition

- Présence d'une couverture meuble sur la roche du sous-sol
- Déclivité des pentes généralement supérieure à 25°
- Différence de perméabilité entre la couverture et la roche du sous-sol

### Facteurs de déclenchement

- Fortes précipitations
- Fonte rapide de la couverture neigeuse
- Facteurs anthropiques qui concentrent les eaux de ruissellement

### Types de dégâts

- Dégâts aux bâtiments et aux infrastructures
- Ensevelissement ou entraînement des personnes par les matériaux de charriage

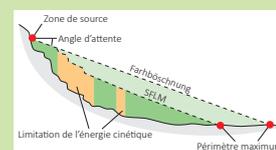


© DGE – EAU

### Modélisations

#### Méthode SFLM

- Angles d'atteinte (Fahrböschung) utilisés pour les distances de propagation : compris entre 18° et 32° (en forêt) ou 27° (ailleurs)
- Vitesses limites utilisées : comprises entre 2 m/s et 8 m/s



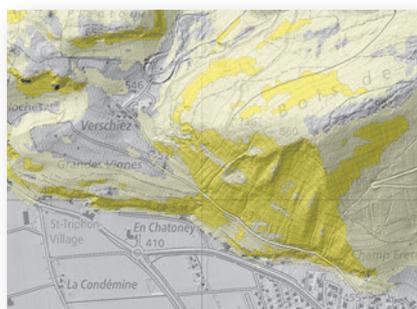
## GLISSEMENTS DE TERRAIN SPONTANÉS

La carte indicative « plus » (CID+) fournit des informations complémentaires sur la stabilité des zones sources, sur les susceptibilités d'atteinte et sur l'effet de la forêt de protection.

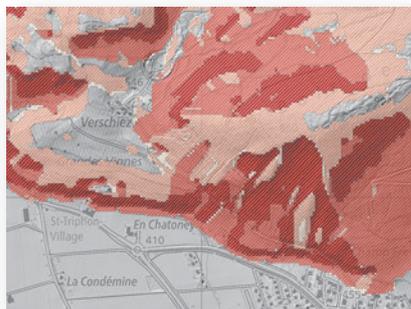
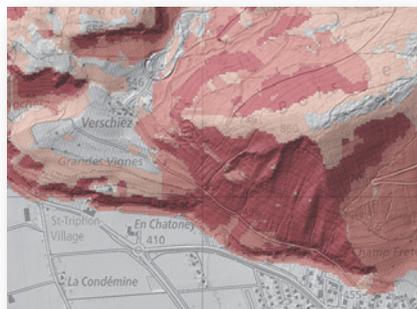
### Zones sources et susceptibilité d'atteinte avec et sans forêt de protection

- Détermination de la **stabilité des zones sources potentielles** de glissements de terrain spontanés et de coulées de boue, en fonction de l'analyse de l'indice de stabilité.
- Détermination des **susceptibilités d'atteinte** des glissements de terrain spontanés et des coulées de boue en fonction de la susceptibilité de rupture de la source et de la susceptibilité de propagation, définie par l'angle d'atteinte (Fahrböschung) et la vitesse limite des coulées.

Lorsqu'une zone forestière est identifiée dans le cadastre des forêts protectrices de DGE-FORÊT, elle modifie certains paramètres géotechniques (notamment celui de la cohésion racinaire) et améliore la stabilité de la zone. L'effet est donc une augmentation de l'indice de stabilité (IS) de la pente.



Zones sources potentielles avec affichage des stabilités de la source. À gauche sans l'effet protecteur de la forêt, à droite avec l'effet protecteur de la forêt



Zones d'atteintes avec affichage des susceptibilités d'atteinte. À gauche sans l'effet protecteur de la forêt, à droite avec l'effet protecteur de la forêt

#### Sans prise en compte de la forêt de protection

##### Zone source

- Stabilité de la source
- Moeyennement stable
  - Instable
  - Très instable

##### Zone d'atteinte

- Susceptibilité d'atteinte
- Faible
  - Moyenne
  - Élevée
  - Très élevée

#### Avec prise en compte de la forêt de protection

##### Zone source avec forêt

- Stabilité de la source
- Moeyennement stable
  - Instable
  - Très instable

##### Zone d'atteinte avec forêt

- Susceptibilité d'atteinte
- Faible
  - Moyenne
  - Élevée
  - Très élevée

### Référence

Carte indicative des dangers. Nouvelles cartes indicatives de CPB, LTO et GSS sur le canton de Vaud, Terranum, 2018

## CHUTES DE PIERRES ET BLOCS

Les mouvements géologiques du sous-sol ainsi que les processus chimiques de dissolution provoquent des fentes dans lesquelles l'eau peut s'infiltrer. La roche éclate alors sous l'alternance du gel et du dégel. Pierres et rochers se disloquent et se mettent en mouvement brusquement sous l'effet de vibrations, de leur propre poids, de l'action de la végétation ou encore des animaux.



© J.-L. Gay (DGE – FORÊT)

Selon la déclivité et la rugosité du terrain, les pierres et les blocs de rochers décrochés se déplacent en direction de la vallée en tombant, en roulant, en sautant ou en glissant. Les vitesses observées se situent généralement 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 de pierres, de blocs ou d'éboulis.

### Carte indicative des dangers « Chutes de pierres et blocs »

Elle comprend :

- les zones sources de chutes de pierres et blocs ;
- les territoires potentiellement exposés par la chute de ces pierres et de ces blocs (= zone d'atterrissement).

### Données de base

- Modèle Numérique de Terrain haute résolution (MNT-LIDAR-50 cm), dégradé en mailles de 5 m pour l'analyse des zones sources et dégradé en mailles de 10 m pour les zones de propagation.
- Cartes géologiques vectorisées.
- Modèle topographique du paysage (swissTLM<sup>3D</sup>).

### Élaboration de la carte

- Interprétation des événements passés pour identifier les pentes limites comme sources potentielles de chutes de pierres et blocs.
- Identification des zones sources potentielles de chutes de pierres et blocs, selon le modèle de distribution fréquentielle des pentes calibré pour chaque unité géologique.
- Détermination des susceptibilités de rupture des zones sources potentielles, en fonction de l'analyse des pentes couplée au type de versant présent.
- Modélisation des propagations des blocs pour déterminer les distances d'arrêts potentielles (logiciel Flow-R<sup>®</sup>, Terranum).
- Détermination des susceptibilités d'atteinte des pierres et des blocs selon la méthode des angles d'atteintes (Fahrböschung) couplée à des vitesses maximales de chute des pierres et des blocs.
- Analyse de l'effet des forêts de protection (selon le cadastre des forêts de protection de la DGE-FORÊT) sur les distances de propagation de pierres et de blocs.

### Remarque

Les grands éboulements (volume entre 10'000 et 100'000 m<sup>3</sup>) et les écroulements (volume d'au moins un million de m<sup>3</sup>) font l'objet d'une carte indicative spécifique.

#### Conditions d'apparition

- Paroi rocheuse existante
- Déclivité > 30°
- Températures extrêmes

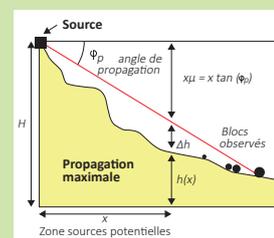
#### Déclenchement

- Gel / dégel
- Pression de l'eau
- Ouverture lente des fractures par l'action de la végétation
- Action animale
- Vibrations sismiques

#### Modélisation

Logiciel Flow-R<sup>®</sup>

- Angle d'atteinte (Fahrböschung) utilisé pour les distances de propagations sans forêt de protection : 33°



#### Types de dégâts

- Dégâts aux bâtiments et aux infrastructures
- Les personnes peuvent être mortellement touchées par des blocs à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments



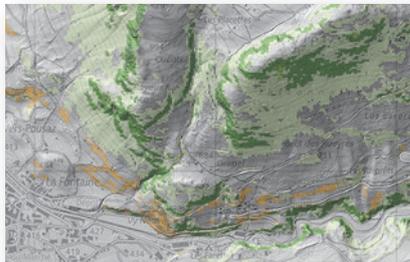
© E. Haug, ERPC Aigle

## CHUTES DE PIERRES ET BLOCS

La carte indicative « plus » (CID+) fournit des informations complémentaires sur les susceptibilités de rupture et sur les susceptibilités d'atteinte, ainsi que l'effet de la forêt de protection.

### Susceptibilité de déclenchement

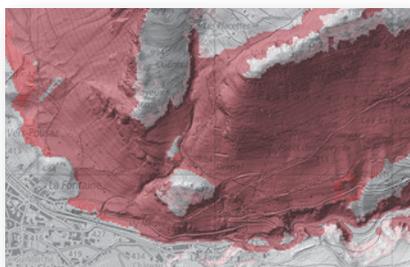
- Zones sources potentielles avec affichage selon la susceptibilité de rupture.
- Différentiation possible entre les zones sources d'origines naturelle et anthropique.



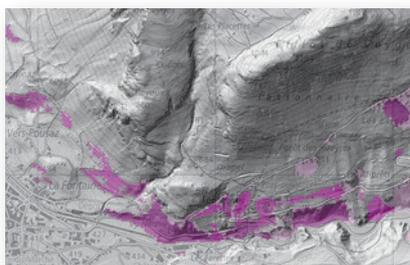
- Zones source**  
**Origine, susceptibilité de rupture**
- Naturelle, résiduelle
  - Naturelle, faible
  - Naturelle, moyenne
  - Naturelle, élevée
  - Anthropique, résiduelle
  - Anthropique, faible
  - Anthropique, moyenne
  - Anthropique, élevée

### Susceptibilité d'atteinte

- Zones d'atteinte avec affichage selon la susceptibilité d'atteinte.
- Différentiation possible entre les zones d'atteinte issues d'une source d'origines naturelle et anthropique.



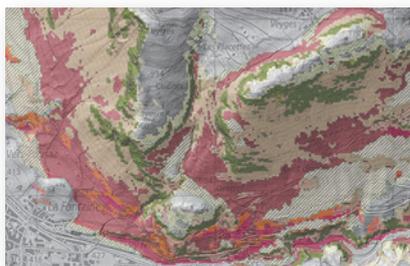
- Zones d'atteinte naturelles**  
**Susceptibilité d'atteinte**
- Résiduelle
  - Faible
  - Moyenne
  - Élevée



- Zones d'atteinte anthropiques**  
**Susceptibilité d'atteinte**
- Résiduelle
  - Faible
  - Élevée

### Rôle de la forêt de protection

Secteurs à l'aval des versants, en partie protégés par la forêt de protection.



Secteur protégé par la forêt

### Référence

Carte indicative des dangers. Nouvelles cartes indicatives de CPB, LTO et GSS sur le canton de Vaud, Terranum, 2018

## ÉBOULEMENTS

Les mouvements géologiques du sous-sol et les processus chimiques de dissolution provoquent des failles et des fissures dans lesquelles l'eau s'infiltré et éclate la roche sous l'alternance du gel et du dégel. La combinaison des structures géologiques, des reliefs favorables et des processus physico-chimiques favorisent la genèse des éboulements et des écroulements.

Les éboulements sont des volumes de roche importants (entre 100 et 100'000 m<sup>3</sup>), plus ou moins fragmentés et qui se détachent en bloc du massif rocheux. Les vitesses de transport varient généralement entre 10 m/s et 40 m/s.

Lorsque le volume dépasse le million de m<sup>3</sup>, on parle d'écroulement avec des matériaux dévalant les pentes à des vitesses encore supérieures (>80 m/s).

Les fortes interactions entre les composants peuvent les réduire en poudre de roche et les emmener à de grandes distances même en présence de faible pente, avec des périmètres d'atteinte parfois bien plus étendus que pour les éboulements et les chutes de blocs.

La récurrence des événements dans un même massif rocheux est peu évidente et difficile à déterminer. Il est cependant possible d'identifier des signes précurseurs d'instabilités, notamment à l'aide du Modèle Numérique de Terrain, afin de délimiter des instabilités potentielles de grande ampleur. Ces structures résultantes d'une déformation du versant peuvent être diverses: escarpements, plans de glissement, fractures ouvertes, dépressions morphologiques, etc.

### Carte indicative des dangers « Éboulements »

Elle comprend :

- un inventaire des instabilités potentielles de volume  $\geq$  à 10'000 m<sup>3</sup>;
- les territoires potentiellement exposés par la chute de ces éboulements recensés (= zone d'atterrissement).

### Données de base

- Modèle Numérique de Terrain haute résolution (MNT-LIDAR-50 cm).
- Orthophotos.
- Cartes géologiques vectorisées.
- Atlas géologique national au 1:25'000.

### Élaboration de la carte

- Cartographie morpho-structurale des instabilités potentielles. Reconnaissance visuelle des morphologies permettant la délimitation des éboulements potentiels à partir données géoréférencées (MNT, orthophotos, cartes géologiques et tectoniques).
- Estimation des volumes probables et maximaux de chaque instabilité par Sloping Local Base Level (SLBL<sup>®</sup>, UNIL, ISTE) ou par analyse géométrique simple.
- Modélisation des propagations des instabilités selon les volumes probables et maximaux pour déterminer les distances d'arrêts probables et maximaux (logiciel Flow-R<sup>®</sup>, Terranum).



© DGE – UDN

### Conditions d'apparition

- Paroi rocheuse existante
- Structures morpho-structurales délimitant l'instabilité
- Changements de températures

### Facteurs de déclenchement

- Gel / dégel
- Pression de l'eau
- Ouverture lente des fractures par l'action de la végétation
- Vibrations sismiques

### Morphologies typiques des éboulements potentiels

- Escarpement ou fracture arrière qui délimite un compartiment instable
- Flanc latéral
- Plan de glissement
- Fracture ouverte
- Dépression morphologique

### Types de dégâts

- Dégâts aux bâtiments et aux infrastructures
- Ensevelissement des personnes par les matériaux éboulés
- Effets secondaires (embâcles, tsunamis, laves torrentielles)

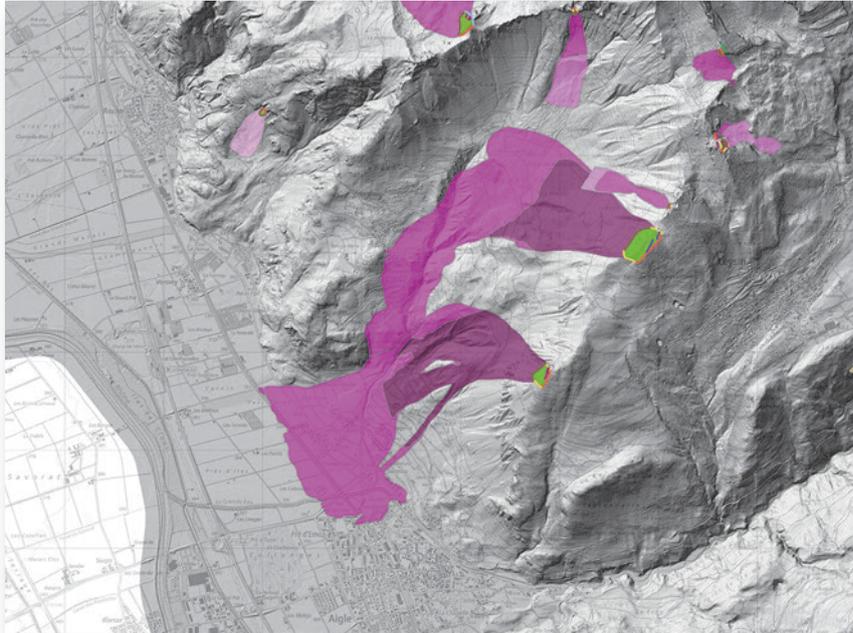


© V. Müller

## ÉBOULEMENTS

La carte indicative « plus » (CID+) fournit des informations complémentaires sur la typologie des zones sources potentielles et sur la probabilité des zones d'atteinte en fonction des paramètres de propagation utilisés. D'autres formes géomorphologiques peuvent aussi être affichées.

### Zones sources, zones d'atteinte et éléments géomorphologiques



#### Secteurs source, morphologie du terrain

- Phénomène**
- Dépression
  - Escarpement
  - Escarpement arrière
  - Faille
  - Flanc
  - Fracture ouverte
  - Plan de glissement

#### Zones source

- Activité observée**
- Oui
  - Non
  - Incertain

#### Zones source, sans propagation

- Activité observée**
- Oui
  - Non
  - Incertain
  - Non indiqué

#### Susceptibilité d'atteinte

- Élevée
- Moyenne
- Faible
- Résiduelle

### Référence

Carte indicative des dangers pour éboulement et écroulement. Nouvelles cartes indicatives pour grands éboulements et écroulements dans les régions du Jura, des Préalpes et des Alpes Vaudoises, Terranum, 2018

## EFFONDREMENTS PAR DISSOLUTION

Certaines roches, tels que les calcaires, les dolomies, les roches salines 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 dans les points-bas (processus de karstification).



© ISSKA

Ces phénomènes conduisent entre autres à la formation de grottes, de dolines, de lapiez et autres formes géomorphologiques bien connues sur les plateaux calcaires du Jura ou dans les zones à gypse du Chablais. La création de vide au sein du massif rocheux diminue sa résistance à la charge, et il peut s'ensuivre des tassements, voire un effondrement partiel ou total des terrains meubles situés au-dessus des cavités.

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

- les **affaissements** ont une évolution lente et régulière menant à la formation de dépressions (« poljé ») et de cuvettes dues au fléchissement lent et progressif des terrains de couverture ;
- les **effondrements** ponctuels et bien localisés se manifestent de manière spontanée et brutale : ils résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, rupture qui se propage jusqu'en surface et qui détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique. Ils sont marqués dans le paysage par la présence de **dolines** ou de **gouffres**.

### Carte indicative du danger « d'effondrement »

Elle comprend les territoires potentiellement exposés aux phénomènes d'affaissements et d'effondrements, essentiellement dans les régions du Jura et des Préalpes.

### Données de base

- Inventaire des dolines du canton de Vaud.
- Modèle Numérique de Terrain (MNT-Lidar 2006, maille de 1 m).
- Carte vaudoise des géotypes (description simplifiée des terrains meubles et rocheux selon leur lithologie et leur genèse).
- Carte des zones de dissolution du gypse (EPFL).
- Cartes géologiques nationales à l'échelle 1:25'000.

### Élaboration de la carte

Détermination semi-automatique de la susceptibilité aux phénomènes de dissolution des formations rocheuses qui affleurent sur le territoire, par une analyse croisée et pondérée de trois critères :

- géologie régionale : susceptibilité à la karstification des lithologies présentes sur le territoire (roches calcaires, roches salifères, gypse, cornieules).
- tectonique régionale : distance aux axes des grandes structures relevées sur les cartes géologiques nationales (failles et plis).
- géomorphologie : détection et localisation des phénomènes avérés de dissolution d'origine karstique (dolines, ouvalas, gouffres, grottes, bassins fermés) à partir du MNT, de l'inventaire des dolines et des cartes géologiques.

### Remarque

Les facteurs anthropiques – tels que les drainages ou les galeries minières – qui peuvent influencer significativement l'apparition du phénomène, ne sont pas pris en compte dans l'élaboration de la CID.

### Conditions d'apparition

- Présence de types de roches favorables (carbonatés, sulfatés et salines)
- Faible déclivité des pentes
- Zone de concentration des eaux de surface

### Facteurs de déclenchement ou aggravant

- Concentration naturelle et/ou anthropique des eaux de ruissellement
- Présence de morphologies karstiques sous-jacentes ou à proximité (doline, alignement de dolines, affaissements, etc.)
- Forte fracturation de la roche qui permet à l'eau de s'infiltrer facilement
- Faible épaisseur de couverture quaternaire

### Types de dégâts

- Dégâts aux bâtiments et aux infrastructures
- Les personnes sont rarement menacées



© DGE – UDN

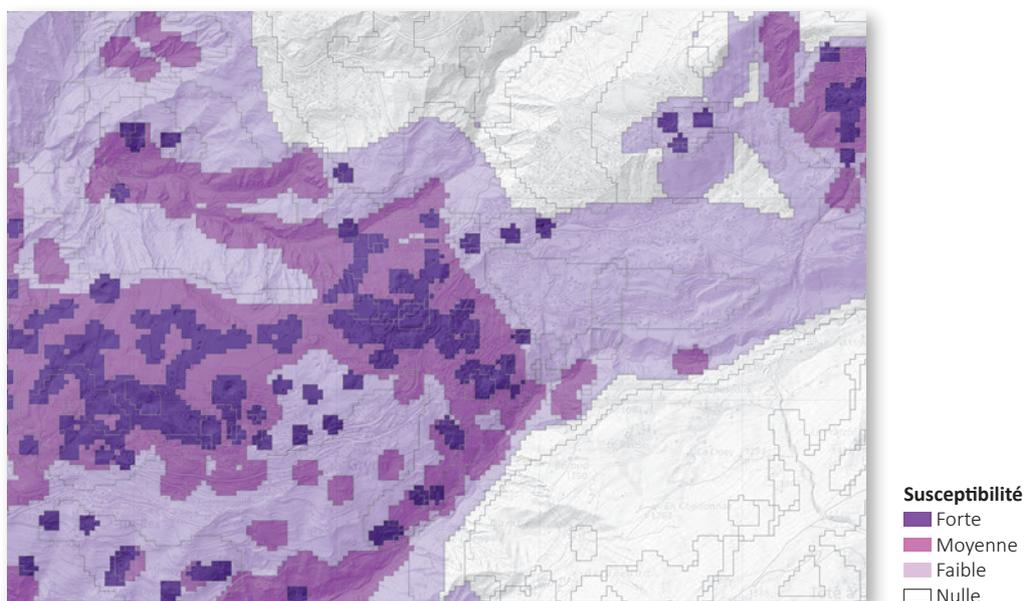
## EFFONDREMENTS PAR DISSOLUTION

La carte indicative « plus » (CID+) fournit des informations complémentaires sur la susceptibilité locale des formations rocheuses aux phénomènes d'effondrement.

### Critères de susceptibilité

L'attribution des degrés de susceptibilité aux territoires exposés est obtenue en effectuant une analyse de sensibilité en cinq étapes :

1. Réalisation d'une « carte des lithologies sensibles à la karstification », en pondérant les informations des cartes et des coupes géologiques nationales, de la carte des géotypes et de la carte des zones de dissolution du gypse. Pour préciser localement l'extension souterraine des niveaux karstiques, la carte a été ajustée manuellement en utilisant les données des sondages du cadastre géologique vaudois.
2. Réalisation d'une carte de la « fracturation régionale » qui souligne les axes des grandes structures tectoniques (chevauchements, failles et plis d'extension régionale).
3. Pondération du niveau de prédisposition des formations géologiques locales à l'aide d'une matrice Lithologie vs. Fracturation → Établissement d'une carte des prédispositions au processus de dissolution.
4. Établissement d'une « carte des occurrences » des phénomènes avérés de dissolution d'origine karstique (dolines, ouvalas, gouffres, grottes, bassins fermés) à partir du MNT, de l'inventaire des dolines et des cartes géologiques.
5. Contrôle géostatistique des valeurs de la carte de prédisposition (pt 3) en la croisant avec la carte des occurrences (pt. 4). Post-traitement SIG pour établir la carte indicative (Danger indicatif = prédisposition + occurrence).



### Affichage des données

Une classe de danger indicatif est attribuée à chaque secteur potentiellement exposé aux phénomènes d'affaissement et d'effondrement. La carte permet d'afficher en sus des informations sur la susceptibilité lithologique, la fracturation et l'occurrence des phénomènes avérés.

### Référence

Carte indicative des dangers d'effondrement par dissolution (CID-EFF). Rapport méthodologique, UDN, 2012

## AVALANCHES

Une avalanche est le mouvement soudain et rapide d'une masse de neige ou de glace le long d'une pente, sur une distance d'au moins 50 m. Elle peut glisser, couler ou présenter l'aspect d'un nuage de neige tourbillonnant.

Dès que la plaque de neige s'est entièrement dissociée du versant, elle commence à glisser et peut atteindre une vitesse de 100 km/h.

Les avalanches sont susceptibles de charrier des matériaux étrangers tels que pierres, bois ou terre.



© SLF, Churfirsten (SG)

### Carte indicative des dangers « avalanches »

Elle comprend les secteurs potentiellement menacés par ce phénomène lors de conditions météorologiques exceptionnelles.

*Types d'avalanches étudiés :*

Avalanche de neige poudreuse, de neige meuble, de plaques de neige avec :

- une surface minimale de 5000 m<sup>2</sup> ;
- une longueur minimale de 50 m.

### Données de base

- Modèles numériques de terrain (MNT Laser), orthophotos.
- Données d'enneigement du SLF (Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, Davos).
- Cadastre des événements et mémoire des hommes de terrain.
- Cadastre des forêts de protection de la DGE-FORÊT.

### Élaboration de la carte

- Modélisation des zones de décrochement potentielles à l'aide du logiciel Aval-2D<sup>®</sup>, RAMMS<sup>®</sup>.
- Détermination des surfaces de propagation par simulation de la trajectoire.
- Compilation des données du cadastre des événements.
- Intégration des études, des modélisations et des cartes de dangers déjà existantes.
- La carte indicative **tient compte** du rôle protecteur de la forêt.

### Remarques

Les effets de la partie aérosol des avalanches (nuage de neige poudreuse) ne sont pas pris en compte.

### Conditions d'apparition

- Déclivité entre 28° et 60°
- Faible rugosité du sol
- Fortes chutes de neige en peu de temps

### Facteurs de déclenchement ou aggravant

Modifications des tensions régnant à l'intérieur du manteau neigeux notamment sous l'effet de :

- chutes de neige
- changement de température
- influences humaines (skieur, randonneur, etc.)

### Facteurs atténuants

- Étraves, paravalanches, digues, râtelier, claies, éperons, paravents, pieux anti-reptation, etc.
- Forêt de protection

### Types de dégâts

- Endommagement, voire destruction, de bâtiments, d'infrastructures et de forêts
- Ensevelissement de personnes, entraînant souvent la mort



© J.-L. Gay (DGE – FORÊT)



