canton de vaud

LIBERTÉ ET PATRIE

Standards & objectifs de protection – SOP

Guide d'utilisation

Glissements et effondrements

Directive cantonale du 30 octobre 2019

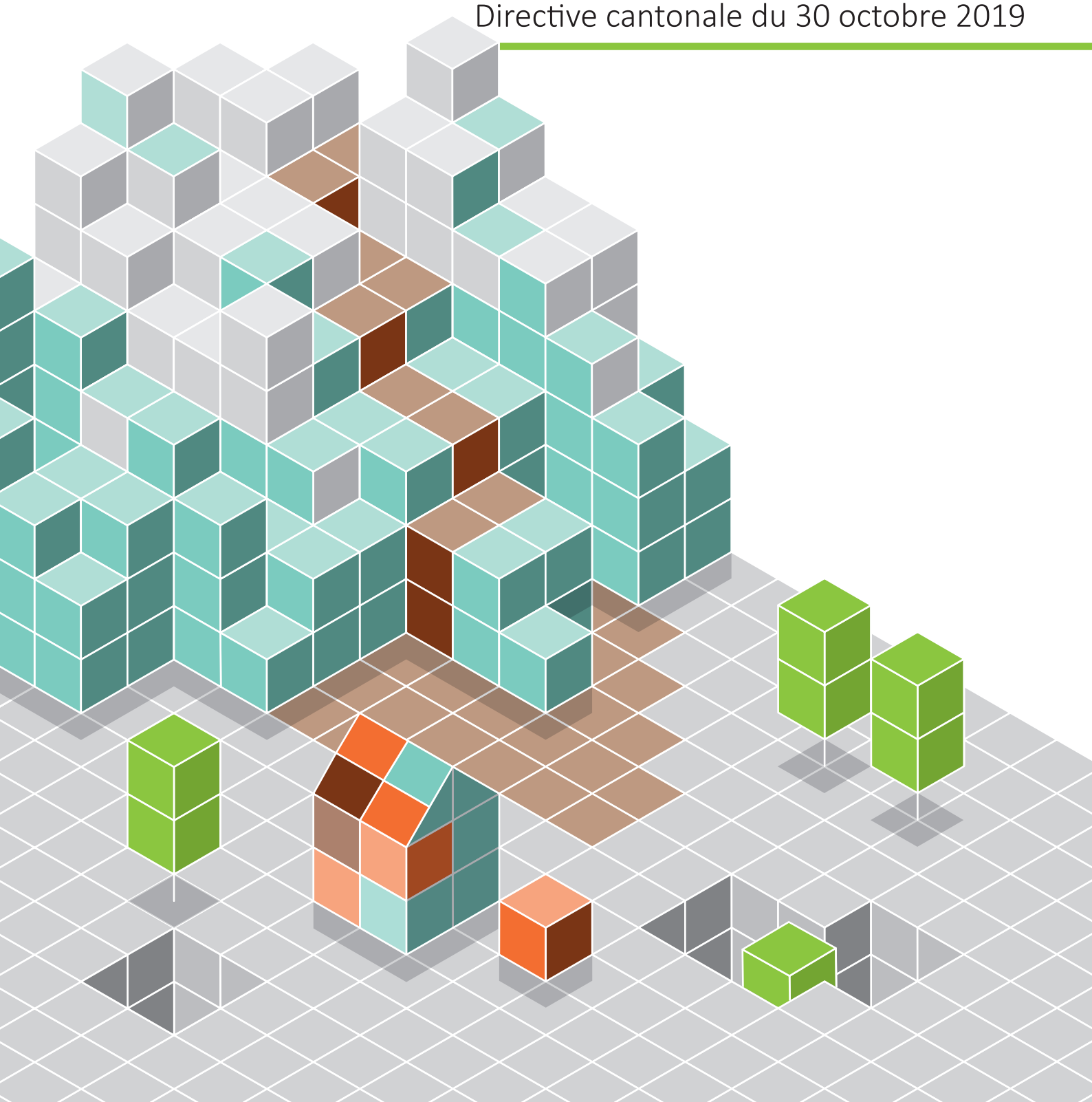


TABLE DES MATIÈRES

DÉCLINER LES ALÉAS LENTS ET CONTINUS EN TEMPS DE RETOUR 1

- Contexte 1
- Décliner l'intensité en temps de retour 1

GLISSEMENTS DE TERRAIN PERMANENTS 3

- Méthode ISTE (Université de Lausanne) 3
- Application et adaptations de la méthode ISTE 4

GLISSEMENTS DE TERRAIN SPONTANÉS 6

- Méthode développée par l'Unité des dangers naturels 6
- Application et adaptations de la méthode GSS 6

EFFONDREMENTS ET AFFAISSEMENTS 9

- Méthode développée par l'Unité des dangers naturels 9
- Application de la méthode EFF 10

LA CARTE DES INTENSITÉS POUR LE RISQUE (CIR) 11

- Structure de la donnée 11
- Utilité et mise à disposition 12

ACRONYMES

CDN Carte de dangers

CDP Carte des déficits de protection

CIN Carte des intensités

CIR Carte d'intensité pour le risque

CPH Carte des phénomènes

EFF Effondrement

ERPP Évaluation du risque dans les procédures de planification d'aménagement du territoire

GPP Glissements de terrain permanents

GSS Glissements de terrain spontanés

ISTE Institut des sciences de la terre (Université de Lausanne)

PDN Périmètres de cartographie des dangers naturels

T30 Temps de retour 30 ans

T100 Temps de retour 100 ans

T300 Temps de retour 300 ans

UDN Unité des dangers naturels de l'État de Vaud

DÉCLINER LES ALÉAS LENTS ET CONTINUS EN TEMPS DE RETOUR

Contexte

Les processus naturels lents et continus, tels que les **glissements de terrain permanents (GPP)**, les **affaissements (EFF)** et les processus soudains qui se manifestent après une longue période de latence, tels que les **effondrements (EFF)** et les **glissements de terrain spontanés (GSS)**, n'ont jusqu'alors pas été caractérisés par des probabilités d'occurrence, comme c'est le cas notamment pour les inondations ou les avalanches. Pour ces derniers aléas, la fréquence des événements est qualifiée par leur temps de retour Tr *(= en moyenne une fois tous les r années)*, calculé à partir de données statistiques de précipitations et de débits enregistrées sur une longue période. En règle générale, plus un phénomène est intense, plus il sera rare.

Figure 1. Les aléas glissements permanents, glissements spontanés et effondrements

Cependant, les recommandations de l'OFEV et les outils mis à disposition pour calculer les risques induits par une situation d'exposition aux dangers naturels (EconoMe, ValdoRisk) préconisent l'intégration de trois scénarios de probabilité d'occurrence (T30, T100 et T300). Il devient donc nécessaire d'assigner des intensités et des fréquences à ces aléas lents et continus. La règle actuelle pour évaluer le risque consiste à répliquer l'intensité unique du phénomène (lue sur la carte d'intensité) sur les trois temps de retour de référence. Cette opération entraîne une surestimation du risque, en particulier pour les territoires exposés les plus étendus.

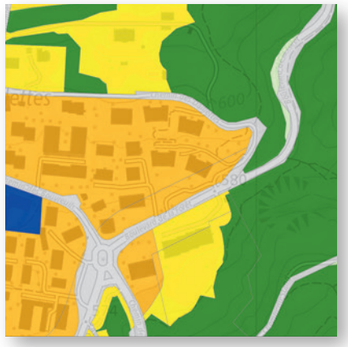
Décliner l'intensité en temps de retour

L'Unité des dangers naturels, en collaboration avec l'Université de Lausanne, a développé des méthodes permettant de décliner les phénomènes continus ou uniques selon des scénarios de fréquence. Les résultats obtenus avec ces méthodes ont été reportés dans des **couches CIR (cartes d'intensité pour le risque)**, puis utilisés pour réaliser les cartes de déficits de protection et les estimations quantitatives de risque à l'intention des communes. Ces couches sont mises à disposition des bureaux.

Figure 2. Effet de la déclinaison en temps de retour sur la définition du déficit de protection. Exemple d'un glissement permanent peu actif (vitesse moyenne comprise entre 0 et 2 cm/an) à Pully

Carte de dangers

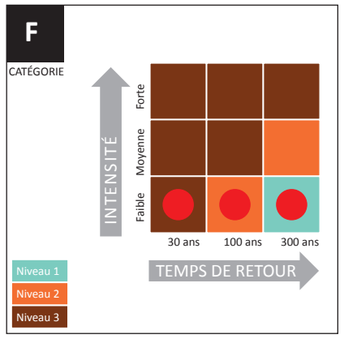
Plan d'affectation



Degré de danger
- Danger moyen
- Danger faible
- Danger nul

Désignation VD NORMAT 2
- Zone d'habitation de faible densité 15 LAT
- Zone d'habitation de moyenne densité 15 LAT
- Zone affectée à des besoins publics 15 LAT
- Zone de desserte 15 LAT
- Aire forestière 18 LAT

Matrice SOP



Sans temps de retour

Avec temps de retour

Niveau d'action
- Niveau 1 : compatible
- Niveau 2 : à évaluer
- Niveau 3 : incompatible
- Objet spécial/cas particulier (à évaluer au cas par cas)
- Non exposé au danger
- En dehors des périmètres étudiés
- Affectation non renseignée

Méthode ISTE (Université de Lausanne)

Cette méthode utilise la « distribution exponentielle négative » des vitesses moyennes annuelles des glissements pour déduire des intensités par temps de retour (Jaboyedoff et al. 2018). La méthode considère le **déplacement différentiel** des terrains, qui est la principale cause de dégâts perpétrés par un glissement permanent (OFEV 2016), comme critère pour déterminer son intensité. La méthode se décline en deux étapes :

1. Passer de la vitesse moyenne à la probabilité

La méthode établit des probabilités de dépassement de la vitesse moyenne d'un glissement pour les trois temps de retour utilisés en Suisse (30, 100, 300 ans). Ces seuils sont présentés ici pour une vitesse moyenne v_0 de 3 cm/an :

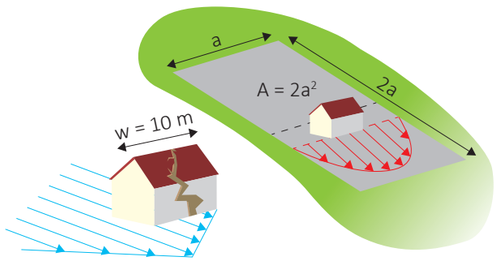
Tableau 1. Probabilités de dépassement et estimation de la vitesse par temps de retour

Temps de retour	Seuil de probabilité d'excédence $(P(X > x))$	Vitesse par temps de retour $v = -v_0 \ln(P(X > x))$
T30	36.8%	3.00 cm/an
T100	18.4%	5.07 cm/an
T300	9.2%	7.16 cm/an

2. Passer de la vitesse moyenne à une intensité d'aléa significative

Le modèle idéalise le glissement sous la forme d'un rectangle au rapport de forme longueur/largeur = 2 (L = 2a, l=a). La distribution des vitesses au sein du glissement est également idéalisée. Si la vitesse maximale est enregistrée au centre du glissement, le gradient des vitesses ε est donné par le ratio de la vitesse et de la demi-largeur $\frac{v}{a/2}$. Écrit autrement, $\varepsilon = \frac{2v}{\sqrt{A/2}}$ où v = vitesse par temps de retour (cm/an) et A = l'aire du glissement (m^2).

Figure 3. Représentation idéalisée des propriétés d'un glissement de terrain permanent



Le déplacement différentiel (DD) est associé au gradient des vitesses au sein de la masse glissée. Il est calculé sur la base des dimensions du glissement et de la vitesse par temps de retour (v), pour un objet de référence (bâtiment) de largeur W égale à 10 m. La valeur obtenue est reclassée en classes d'intensité.

$$DD = \varepsilon * W * \Delta T$$

Tableau 2. Nouvelles classes d'intensité déduites avec la méthode ISTE

Valeur DD (cm/m/an)	Classe d'intensité
DD < 10	Nulle
10 < DD < 50	Faible
50 < DD < 100	Moyenne
DD > 100	Forte

Application et adaptations de la méthode ISTE

La superficie des glissements est utilisée comme paramètre d'entrée de la méthode. La **carte des phénomènes (CPH)** est utilisée comme donnée de base à la place de la **carte des intensités (CIN)**, cette dernière étant souvent trop réductrice car découpée aux limites des **périmètres de dangers naturels (PDN)**. La vitesse moyenne annuelle des glissements a été standardisée selon la nature du phénomène (Tableau 3). La méthode ne s'applique pas aux niches d'arrachement ni aux zones soumises à l'érosion régressive. Pour ces cas, des règles d'attribution spécifiques sont fixées (Tableau 3).

Tableau 3. Règles d'attribution des intensités pour les GPP et phénomènes associés

Code CPH	Description	Intensité CIN	Vitesse moyenne [cm/an]	Calcul intensité
410;411	Glissement peu actif	1	1	Selon méthode ISTE
412;413	Glissement actif	2	3	Selon méthode ISTE
414;415	Glissement très actif et/ou avec mouvements différentiels	3	10	Selon méthode ISTE
408;409	Glissement historique substabilisé	0	0	Selon méthode ISTE
401;402	Enveloppe générale de glissement	0	0	Selon méthode ISTE
217	Zone de glissement sur terrains meubles (badlands)	2	3	2 pour tous les TR
424, potentiel	Niche d'arrachement potentielle (zones en rouge dans la CDN)	3	10	3 pour tous les TR
424, avéré	Niche d'arrachement	Manque dans CIN		IDEM la masse glissée

Utilisant une loi exponentielle, la méthode tend à **surévaluer** les intensités pour les probabilités faibles. De plus, le rapport de taille entre les masses glissées et l'objet de référence fixé à 10 m rend la surévaluation systématique pour les petits glissements. Pour cette raison, la méthode a été adaptée **en plafonnant les intensités maximales qu'un glissement peut atteindre à l'intensité renseignée dans la carte des intensités (CIN)** (Figure 4).

Certains cas limites subsistent, notamment en ce qui concerne la cohérence entre la carte ainsi produite et la carte de dangers. En effet, la carte de dangers intègre des facteurs aggravants ou atténuants à travers la matrice spécifique aux glissements permanents (flèches 13 à 22, cf. Figure 5). Ces facteurs ne sont – a priori – pas pris en compte dans la **carte des intensités (CIN)**. La **carte d'intensité pour les études de risque (CIR)** est adaptée pour cette raison afin de tenir compte des facteurs aggravants ou atténuants présents dans la carte de dangers.

Figure 4. Exemple d'application de la méthode et différences entre le résultat de la méthode de base (gauche) et après plafonnage selon la CIN (droite)

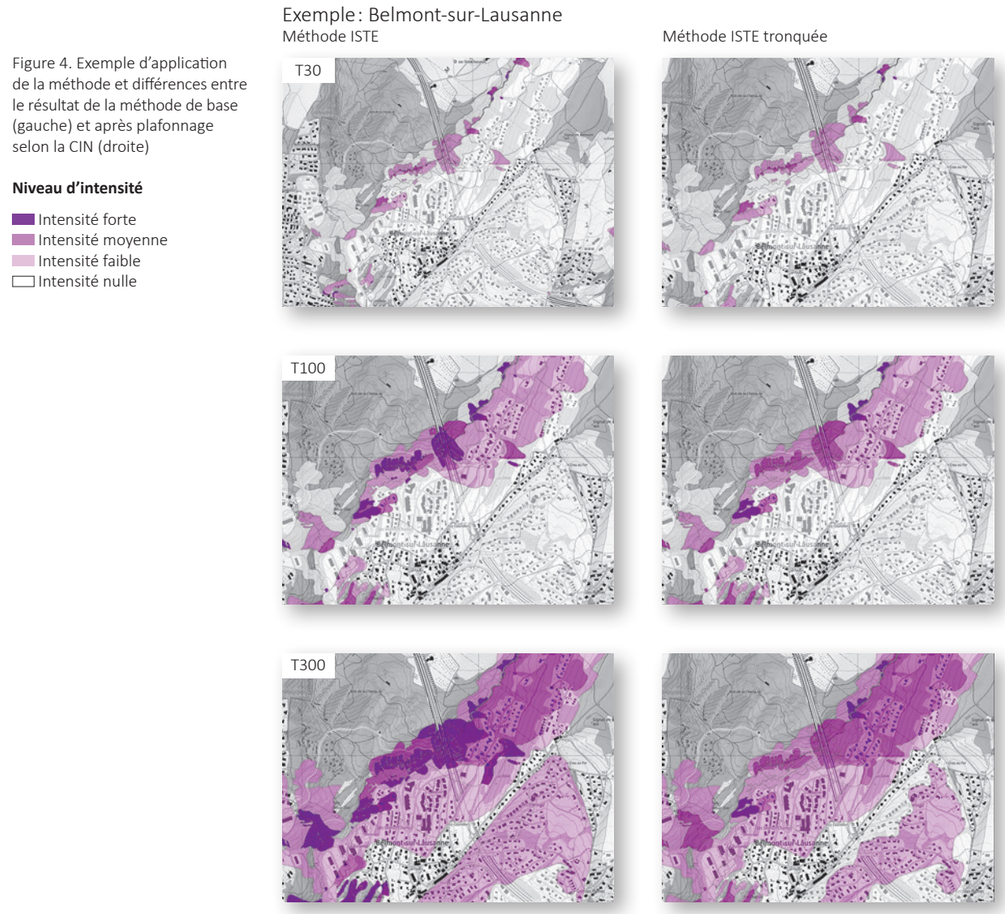
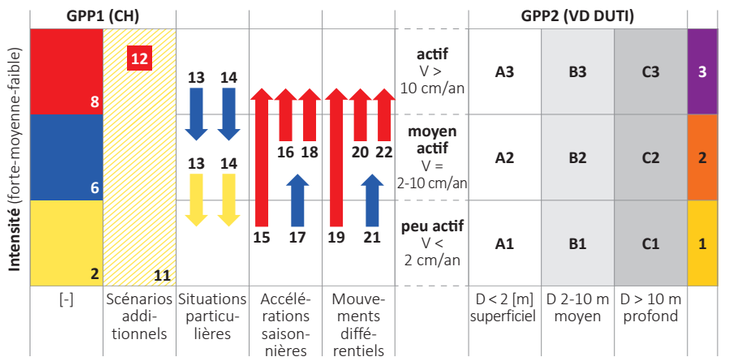


Figure 5. La matrice de danger glissements permanents. Les flèches 13 à 22 représentent des facteurs aggravants ou atténuants qui influencent le degré de danger. Pour plus de détails se référer au *Vade-mecum Dangers naturels*

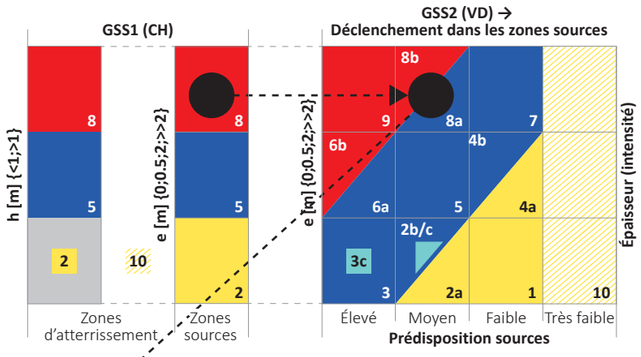


GLISSEMENTS DE TERRAIN SPONTANÉS

Méthode développée par l'Unité des dangers naturels

Les glissements spontanés de la cartographie des dangers CDN-VD sont caractérisés par deux paramètres : leur intensité (épaisseur de la couche mobilisable) et la prédisposition des terrains au glissement. La méthode vaudoise de déclinaison en temps de retour requalifie la matrice **Intensité vs probabilité** de l'OFEV en corrélant la probabilité d'occurrence à la prédisposition (étape 1). Une règle d'attribution renvoie ensuite les valeurs d'intensité pour les trois temps de retour de chaque classe de la nouvelle matrice de danger (étape 2).

Figure 6. Règles d'attribution des intensités par temps de retour pour les glissements spontanés



Intensité

0	nulle
1	faible
2	moyenne
3	forte

Intensité / probabilité	T30	T100	T300
11	0	0	1
12	0	1	1
13	1	1	1
21	0	0	2
22	0	2	2
23	2	2	2
31	0	0	3
32	0	3	3
33	3	3	3
[0,4,5,9]*	0	0	0

*0 intensité nulle
4 intensité nulle non déterminée
5 intensité très faible
9 intensité non disponible

Application et adaptations de la méthode GSS

La méthode permet de graduer les intensités en fonction de la fréquence jusqu'à atteindre l'intensité de la **carte d'intensité standard (CIN)** à laquelle est associé le T300. Les zones cartographiées en intensité très faible correspondent à un danger résiduel qui n'est pas pris en compte dans l'élaboration de la CIR. En effet et par défaut, les intensités du danger résiduel ne sont établies pour aucun aléa. De ce fait, l'intensité est considérée comme inconnue ou « non applicable » (n/a) dans ces secteurs.

Les règles attributaires présentées en Figure 6 ne s'appliquent pas aux zones exposées au ravinement ou à l'érosion régressive. Pour ces situations, l'intensité du phénomène est considérée forte pour tous les temps de retour.

Figure 7a. Extrait de la CIR obtenue en utilisant la méthode de déclinaison des intensités par temps de retour pour les glissements de terrain spontanés. Exemple à Rougemont

Niveau d'intensité

- Intensité forte
- Intensité moyenne
- Intensité faible
- Intensité très faible (GSS)
- Intensité nulle
- Non disponible

Degré de danger

- Élevé
- Moyen
- Moyen (faible intensité)
- Faible
- Imprévisible
- Nul

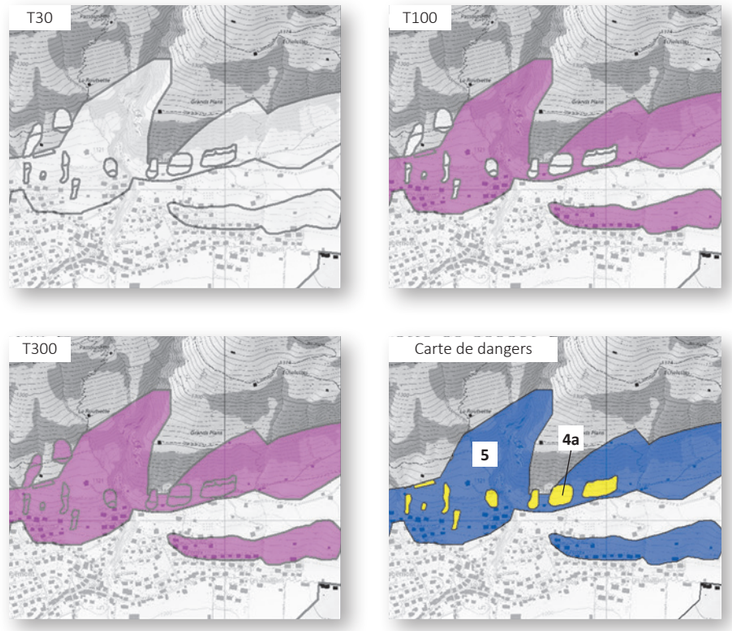


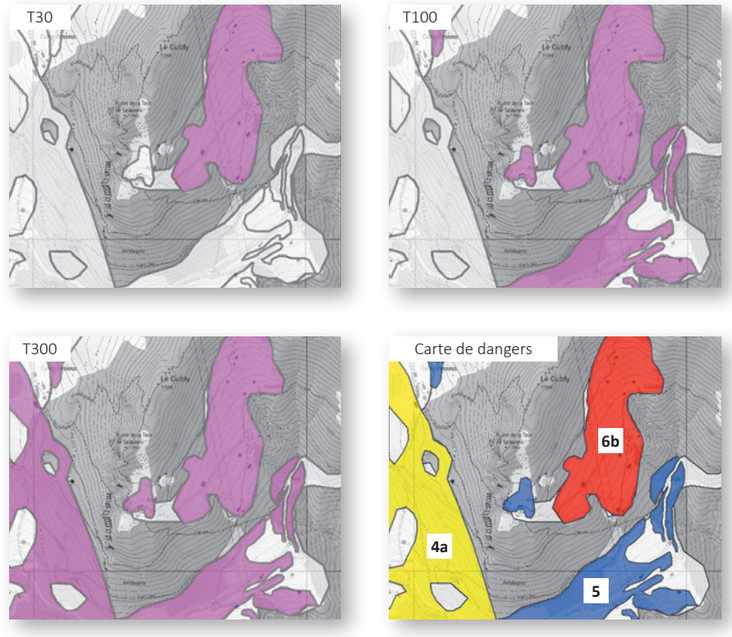
Figure 7b. Extrait de la CIR obtenue en utilisant la méthode de déclinaison des intensités en temps de retour. Exemple à Montreux

Niveau d'intensité

- Intensité forte
- Intensité moyenne
- Intensité faible
- Intensité très faible (GSS)
- Intensité nulle
- Non disponible

Degré de danger

- Élevé
- Moyen
- Moyen (faible intensité)
- Faible
- Imprévisible
- Nul



Cartographie des dangers avec mesure(s) de protection pérenne(s)

La cartographie des dangers **avec mesure(s)** de protection peut être transcrite en CIR par l'ajout de scénarios « avec mesure(s) » (AM) déclinés par temps de retour. Les cartes avec mesures concernent actuellement deux périmètres de danger à Vully-les-Lacs et Montreux.

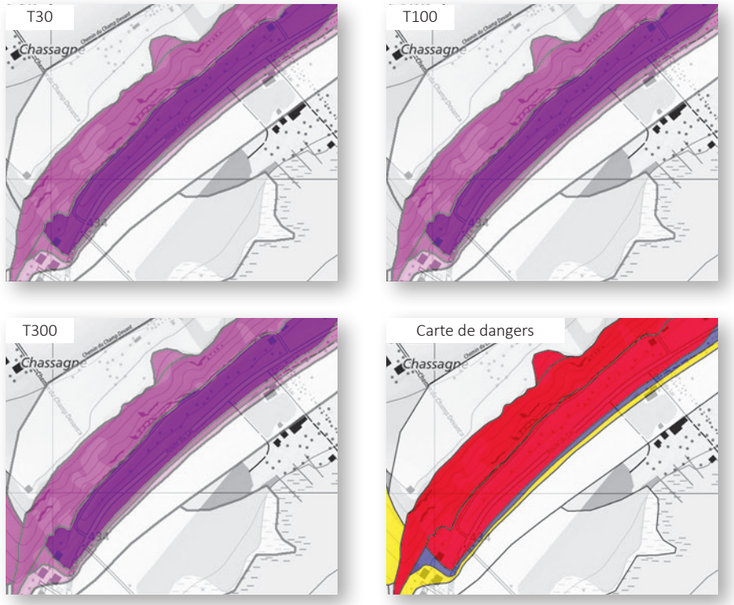


Figure 8a. Carte des intensités prise en compte de l'état **avant** mesure de protection pérenne pour un versant exposé aux glissements spontanés à Vully-les-Lacs

Niveau d'intensité

- Intensité forte
- Intensité moyenne
- Intensité faible
- Intensité nulle

Degré de danger

- Élevé
- Moyen
- Faible
- Nul

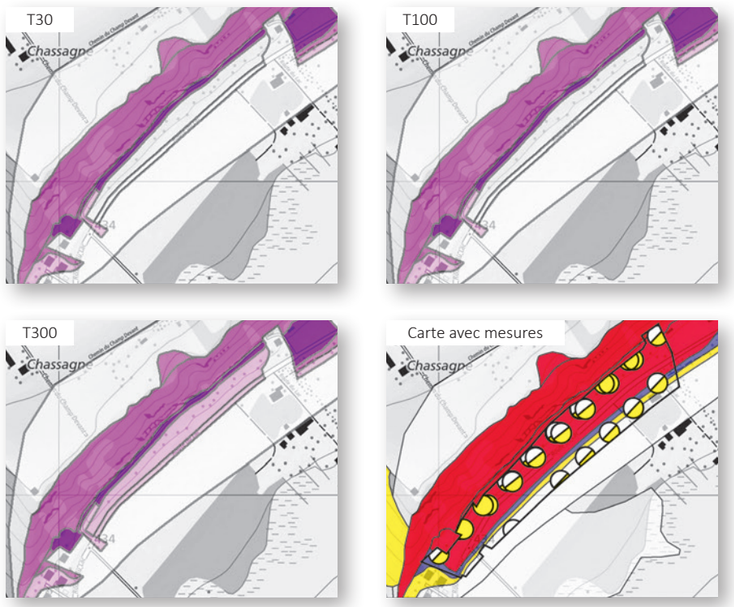


Figure 8b. Carte des intensités prise en compte de l'état **avec** mesure de protection pérenne et carte de dangers pour un versant exposé aux glissements spontanés à Vully-les-Lacs

Niveau d'intensité

- Intensité forte
- Intensité moyenne
- Intensité faible
- Intensité nulle

Degré de danger

- Élevé
- Moyen
- Faible
- Nul
- Danger faible après mesures
- Danger imprévisible après mesures

EFFONDREMENTS ET AFFAISSEMENTS

Méthode développée par l'Unité des dangers naturels

La cartographie du danger d'effondrement (y compris affaissement) se heurte à la spécificité régionale des phénomènes cartographiés. En effet, l'effondrement des dolines dans le Jura est lié à des processus de dissolution lente dans les roches carbonatées (calcaires, etc.), alors que dans le Chablais, il s'agit principalement de dissolution rapide dans des roches évaporitiques du Trias (anhydrite, gypse, sel, cornieule) plus sensibles à ce type de processus. Deux matrices de danger sont utilisées pour décrire cet aléa. La carte de dangers est utilisée pour définir des règles d'attribution des intensités pour chaque temps de retour :

1. Dissolution rapide, gypse et sel – Chablais

La dissolution plus rapide des roches évaporitiques dans la région du Chablais se traduit par une augmentation forte des intensités sur les probabilités élevées à moyennes.

Figure 9. Règles d'attribution des intensités par temps de retour pour les effondrements en roches à dissolution rapide

Intensité

0	nulle
1	faible
2	moyenne
3	forte

EFF1 (CH)

Degré de danger	T30	T100	T300
Fort	3	3	3
Moyen	0	2	2
Faible	0	0	1
Imprévisible	0	0	0
Nul	0	0	0

2. Dissolution lente, calcaire – Jura et Chablais

Les processus plus lents enregistrés dans les régions calcaires se traduisent par une augmentation plus graduée des intensités sur l'échelle des probabilités pour les dangers fort à moyen.

Figure 10. Règles d'attribution des intensités par temps de retour pour les effondrements en roches à dissolution lente

Intensité

0	nulle
1	faible
2	moyenne
3	forte

EFF1 (CH)

Classe de danger	Degré de danger	T30	T100	T300
8	Fort	0	2	3
5	Moyen	0	1	2
2c	Moyen (intensité faible)	0	0	2
2	Faible	0	0	1
10	Imprévisible	0	0	0
0	Nul	0	0	0

Application de la méthode EFF

Dissolution rapide

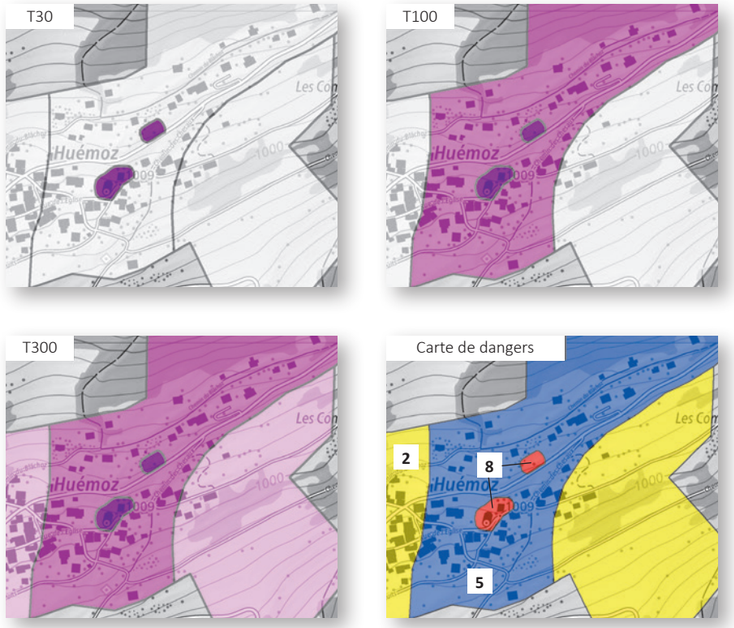


Figure 11. Exemple d'application de la méthode sur un terrain exposé aux effondrements de dolines dans des roches évaporitiques (Ollon)

Niveau d'intensité

- Intensité forte
- Intensité moyenne
- Intensité faible
- Intensité très faible
- Intensité nulle
- Non disponible

Degré de danger

- Élevé
- Moyen
- Moyen (faible intensité)
- Faible
- Imprévisible
- Nul

Dissolution lente

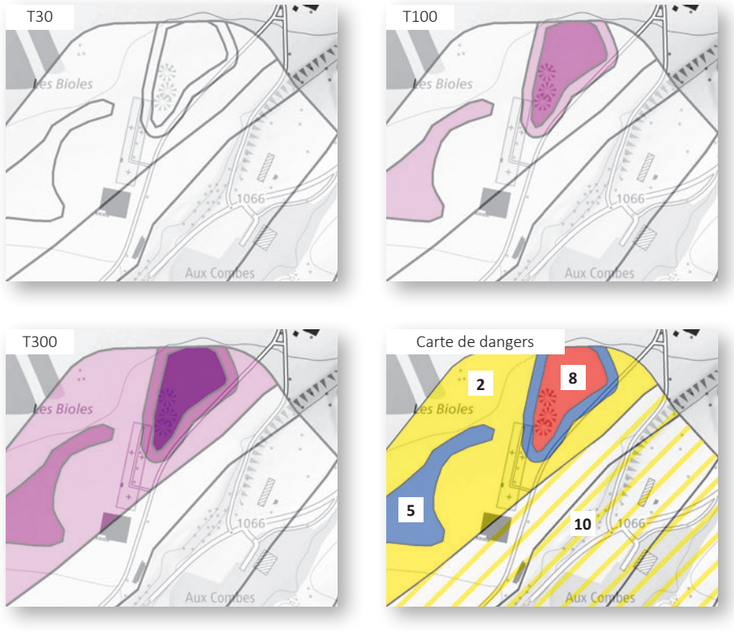


Figure 12. Exemple d'application de la méthode sur un terrain exposé aux effondrements de dolines dans des roches carbonatées (Sainte-Croix)

Niveau d'intensité

- Intensité forte
- Intensité moyenne
- Intensité faible
- Intensité très faible (GSS)
- Intensité nulle
- Non disponible

Degré de danger

- Élevé
- Moyen
- Moyen (faible intensité)
- Faible
- Imprévisible
- Nul

LA CARTE DES INTENSITÉS POUR LE RISQUE (CIR)

Structure de la donnée

La couche CDN_CE_CIR est disponible sur la base de données cantonale « Dangers naturels » – CDN-VD. La table attributaire et la symbologie de la couche sont semblables à celles de la couche **Carte des intensités (CIN)**. Les noms des champs sont préfixés avec le nom de la couche (ex. cir_FkSce).

Tableau 4. Caractéristiques de la couche CDN_CE_CIR

Nom	CDN_CE_CIR	Objet	Description	Int1_Classe
Alias	Carte des intensités risque		Intensité élevée	3
Type de données	Classe d'entités		Intensité moyenne	2
Topologie	Accepte les chevauchements		Intensité faible	1
Symbologie	Sur l'attribut Inte1Clas		Intensité nulle	0

Tableau 5. Structure de la table attributaire de la couche CDN_CE_CIR

	Nom	Alias	Type	Longueur	Description	Domaine
1	OBJECTID	OBJECTID	OID	4		
2	SHAPE	SHAPE	-	-	Géométrie de l'objet	
3	GlobalID	GlobalID	-	38	Identifiant d'objet unique (GUID)	
4	cir_FkSce	SceCode	Texte	50	Code du Scénario (Identifiant unique), d'après la table des scénarios	
5	cir_LvPerimeDN	PerimeDN	Entier court	2	Code du périmètre CDN	
6	cir_LvCommune	Commune	Entier long	4	Nom de la commune	LV04
7	cir_NomLocal	NomLocal	Texte	100	Lieu-dit, quartier, cours d'eau, nom local	
8	cir_LvInte1Type	Inte1Type	Texte	20	Type d'intensité, critère 1	LV07
9	cir_Inte1Valeur	Inte1Val	Réel double	8	Valeur d'intensité critère 1	
10	cir_LvInte1Classe	Inte1Clas	Texte	20	Classe d'intensité, critère 1	LV08
11	cir_LvInte2Type	Inte2Type	Texte	20	Type d'intensité, critère 2	LV07
12	cir_Inte2Valeur	Inte2Valeur	Réel double	8	Valeur d'intensité critère 2	
13	cir_LvInte2Classe	Inte2Clas	Texte	20	Classe d'intensité, critère 2	LV08
14	cir_LvProjetNom	ProjetNom	Entier court	2	Nom du projet	LV17
15	cir_LvBureau	Bureau	Entier court	2	Nom du bureau ayant déterminé l'objet	LV16
16	cir_DateCreation	DateCrea	Date	jj.mm.aaaa	Date de création de l'objet	
17	cir_DateModif	DateModif	Date	jj.mm.aaaa	Date de modification de l'objet	
18	cir_Remarques	Remarques	Texte	Mémo	Remarque ou commentaire	

Codes scénario

Des codes scénario globaux décrivent les intensités déclinées en temps de retour. Ils ont le format 00-ALEA-9999-X:

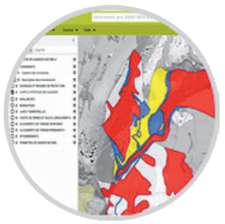
Tableau 6. Codes de scénario génériques associés à la couche CIR

Glissement permanent		**Glissement spontané**				**Effondrement**	
00-GPP-9999-A	T30, État actuel	00-GSS-9999-A	T30, État actuel	00-GSS-9999-D	T30, Après mesure	00-EFF-9999-A	T30, État actuel
00-GPP-9999-B	T100, État actuel	00-GSS-9999-B	T100, État actuel	00-GSS-9999-E	T100, Après mesure	00-EFF-9999-B	T100, État actuel
00-GPP-9999-C	T300, État actuel	00-GSS-9999-C	T300, État actuel	00-GSS-9999-F	T300, Après mesure	00-EFF-9999-C	T300, État actuel

Utilité et mise à disposition

La carte d'intensité pour les études de risque (CIR) est produite de manière semi-automatique. Elle est mise à jour au rythme des autres produits CDN, 2 à 3 fois par an. La carte est disponible sur le guichet cartographique professionnel **sécurisé** https://www.cdn.vd.ch et téléchargeable sur www.viageo.ch. L'accès au portail se fait via la plateforme sécurisée de l'État de Vaud (https://www.vd.ch/se-connecter).

La CIR est une donnée de base pour la réalisation de la **carte des déficits de protection (CDP)** et pour les **évaluations de risque dans les procédures de planification d'aménagement du territoire** (**ERPP**), y compris les analyses quantitatives de risque associées (EconoMe, Valdorisk, etc.). Elle peut être mise à disposition des spécialistes des dangers naturels impliqués dans le processus de planification, sur demande à info.dn@vd.ch.



Accéder au guichet public

Se connecter à l'espace sécurisé

canton de vaud

Direction générale de l'environnement
Unité des dangers naturels
Avenue de Valmont 30b
1014 Lausanne
www.vd.ch

wgr Juin 2023