



Projet CDN-VD
Commission cantonale des dangers naturels
Canton de Vaud
COPIL Lot 8 – Haute-Broye



CARTOGRAPHIE INTÉGRALE DES DANGERS NATURELS RAPPORT TECHNIQUE

PROJET CDN-VD LOT 8 HAUTE-BROYE

Juin 2015



e-dric.ch

eau énergie environnement
Ch. du Rionzi 54
CH-1052 LE MONT SUR LAUSANNE
Tel 021 784 33 13
Fax 021 784 33 22
info@e-dric.ch
www.e-dric.ch



CSD INGENIEURS SA

Chemin de Montelly 78
Case postale 60
CH-1000 Lausanne 20
t +41 21 620 70 00
f +41 21 620 70 01
e lausanne@csd.ch
www.csd.ch



INSER SA

Ch. de Maillefer 36
CH-1052 Le Mont-sur-Lausanne
t +41 21 643 77 11
info@inser.ch
www.inser.ch

CONTENU DU DOCUMENT

**Cahier 1 : Rapport technique des dangers géologiques,
CSD Ingénieurs**

**Cahier 2 : Rapport technique des dangers d'inondation,
e-dric.ch**



Projet CDN-VD
Commission cantonale des dangers naturels
Canton de Vaud
COFIL Lot 8 – Haute-Broye



CARTOGRAPHIE INTÉGRALE DES DANGERS NATURELS

RAPPORT TECHNIQUE GEOLOGIQUE

LOT 8 HAUTE-BROYE

LAUSANNE, JUIN 2015

CSDINGENIEURS+
INGÉNIEUX PAR NATURE

CSD INGENIEURS SA

Chemin de Montelly 78

Case postale 60

CH-1000 Lausanne 20

t +41 21 620 70 00

f +41 21 620 70 01

e lausanne@csd.ch

www.csd.ch

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	5
1. Introduction	6
1.1 Vue d'ensemble du lot 68 Broye	6
1.2 Travaux réalisés	9
2. Contexte géologique et géomorphologique	9
2.1 Géologie	9
2.2 Ensembles géomorphologiques et dangers naturels	10
3. Aléas cartographiés	12
3.1 Chutes de pierres et blocs (CPB)	12
3.2 Glissements profonds permanents (GPP)	12
3.3 Glissements superficiels spontanés (GSS)	13
3.4 Laves torrentielles (LTO)	13
4. Méthodologie Phase 1 : identification des dangers	14
4.1 Cadastre des évènements	14
4.2 Cartes des phénomènes	14
4.3 Modification des cartes indicatives	14
4.4 Scénarios de danger	15
5. Méthodologie phase 2 : zonage de dangers	15
5.1 Généralités	15
5.2 Chutes de pierres et blocs (CPB)	15
5.3 Glissements superficiels et spontanés (GSS)	18
5.4 Glissements profonds et permanents	20
5.5 Laves torrentielles ou coulées de débris	20
5.6 Phénomènes combinés	21
6. Explication des produits cartographiques	21
6.1 Carte des phénomènes	21
6.2 Cartes des processus	22
6.3 Cartes des intensités	22
6.4 Carte des dangers naturels	22
6.5 Carte synthétique des dangers	22
6.6 Cartes des conflits	23
7. Résultats	23
7.1 Cadastre des évènements	23
7.2 Comparaison des résultats avec les cartes indicatives	24
7.3 Cartes de dangers	25
8. Points critiques	26
9. Mesures de protection	27
9.1 Mesures de protection existantes	27
9.2 Mesures de protection envisageables	27
10. Conclusion	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résumé des paramètres utilisés dans le modèle trajectographique dans le cadre de la modélisation. Les paramètres de rugosité pour chaque type de terrain se trouvent en annexe B.	17
Tableau 2 : Calcul de la prédisposition aux GSS.	19
Tableau 3 : Cadastre des événements complet sur l'ensemble du lot (dans et hors périmètre).	24
Tableau 4 : Comparaison indicative des surfaces (ou longueurs) concernées des phénomènes de dangers naturels entre les cartes indicatives et la carte de dangers (tous niveaux de danger confondus).	24
Tableau 5 : Pourcentages des périmètres étudiés concernés par les différents dangers naturels géologiques.	25
Tableau 6 : Tableau des mesures recommandées par commune.	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Périmètres d'étude du lot 8 Haute-Broye.	7
Figure 2 : Périmètres d'étude du lot 6 Basse-Broye.	8
Figure 3 : Ensembles géomorphologiques du lot 68 Broye.	10
Figure 4 : Exemples d'application des trajectographies 2D et 3D selon des conditions de terrain différentes.	16
Figure 5 : Matrice du danger de chute de pierres et blocs. La légende est présentée dans le Vade-mecum dangers naturels.	18
Figure 6 : Matrice du danger de glissement superficiel spontané. La légende complète est présentée dans le Vade-mecum dangers naturels.	19
Figure 7 : Matrice du danger de glissement de terrain profond permanent. La légende est présentée dans le Vade-mecum dangers naturels.	20
Figure 8 : Matrice du danger de lave torrentielle. Pour cet aléa, l'intensité minimale est moyenne, aucune intensité faible n'est considérée. La légende est présentée dans le Vade-mecum dangers naturels.	21
Figure 9 : Matrice de la carte des conflits générant une estimation du risque.	23

ANNEXES

ANNEXE A	Description des fiches de scénario	32
ANNEXE B	Méthodologie	34

PRÉAMBULE

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne sont pas remplies, CSD décline toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.

RÉSUMÉ

L'établissement des cartes de dangers géologiques gravitaires pour le lot 6 Basse-Broye et le lot 8 Haute-Broye a été réalisé entre 2010 et 2014 sur un territoire d'une surface totale de 390 km² (2 lots), situé entre le versant Nord du Mont Pèlerin et le Lac de Morat.

Ce rapport technique accompagne les cartes de dangers naturels géologiques d'origine gravitaire remises aux communes, ainsi que les rapports destinés à chaque commune étudiée.

Il présente les méthodologies appliquées pour réaliser le zonage des dangers, les résultats généraux des différents produits cartographiques à l'échelle du lot, ainsi que les points critiques et zones d'incertitudes quant aux résultats.

Les phénomènes suivants ont été étudiés dans le cadre de cette étude :

- Chutes de pierres et blocs
- Glissements de terrain permanents
- Glissements de terrain spontanés
- Laves torrentielles

Les phénomènes de crues et d'inondations sont traités dans un rapport réalisé par le bureau e-dric.ch.

1. Introduction

L'ensemble du territoire suisse doit être couvert par des cartes de dangers naturels. Suite à l'établissement des cartes de dangers indicatives sur le Canton de Vaud, le territoire vaudois a été divisé en une quinzaine de lots, groupés en général par bassin versant.

Une sélection des zones présentant des enjeux liés à l'aménagement du territoire a été réalisée par le Canton et les communes vaudoises concernées pour déterminer des périmètres d'étude des dangers naturels. Le présent rapport concerne les périmètres d'étude des dangers naturels (PDN) du lot 6 Basse-Broye et du lot 8 Haute-Broye, regroupés en un seul « lot 68 Broye ».

1.1 Vue d'ensemble du lot 68 Broye

Le territoire concerné par cette étude est situé dans le bassin versant de la Broye (Canton de Vaud, Suisse). La zone d'étude s'étend grosso modo sur 5 à 10 km de large autour de la vallée de la Broye entre Oron et Cudrefin. Cette zone est délimitée à l'Est par le canton de Fribourg et au Nord-Ouest par le canton de Neuchâtel. Le point culminant du lot correspond à la Tour de Gourze (925 msm), tandis que le point le plus bas est situé au niveau du Lac de Neuchâtel (431 msm). Ce territoire est caractérisé par une proportion importante de terrains quasiment plats au niveau de la plaine de la Broye. Par-contre, les territoires bordant la plaine de la Broye sont principalement vallonnés et comprennent des zones de forte pente.

La zone d'étude est fortement urbanisée au niveau de la plaine entre Moudon et le lac de Morat, engendrant une empreinte anthropique importante, spécialement dans les zones de plus faible pente au centre de la plaine de la Broye, contrairement aux territoires situés en amont de Moudon et en bordure de la plaine de la Broye. Hormis la Broye qui traverse le lot et coule du Sud vers le Nord, plusieurs cours d'eau d'importance entrecoupent le territoire. De l'amont à l'aval hydraulique, il s'agit principalement de La Mionne, du Corbéron, du Grenet, du Carrouge, de La Bressonne, de La Mérine, de la Cerjaule, de la Lembe, de L'Arbogne et de La Petite-Glâne qui sont alimentés par de nombreux ruisseaux latéraux.

Au total, quarante-neuf communes, situées dans le lot Broye (lot 68) sont concernées par ce projet :

- Trente-cinq communes sont situées dans le lot Haute-Broye (lot 8) (du sud au nord, d'est en ouest) : Maraçon, Oron, Forel (Lavaux), Savigny, Essertes, Servion, Montpreveyres, Ferlens, Mézières, Carrouge, Ropraz, Corcelles-le-Jorat, Vulliens, Vucherens, Syens, Hermenches, Jorat-Menthue, Rossenges, Martherenges, Chavannes-sur-Moudon, Brenles, Chesalles-sur-Moudon, Sarzens, Moudon, Bussy-sur-Moudon, Neyrus-sur-Moudon, Prévonloup, Lovatens, Curtilles, Dompierre, Lucens, Cremin, Villars-le-Comte, Forel-sur-Lucens et Denezey. Plusieurs communes sont des produits de fusions réalisées en cours d'étude (Montanaire, Oron, Lucens).
- Quinze communes sont situées dans le lot Basse-Broye (lot 6) (du sud au nord, d'est en ouest) : Valbroye, Villarzel, Henniez, Trey, Champtouroz, Treytorrens, Payerne, Corcelles-près-Payerne, Missy, Grandcour, Chevroux, Avenches, Faoug, Vully-les-Lacs et Cudrefin.

Une sélection de 238 périmètres à cartographier a été réalisée par le canton en collaboration avec les communes mentionnées ci-dessus afin d'axer l'analyse des dangers naturels géologiques et hydrologiques dans les zones les plus sensibles du point de vue de l'aménagement du territoire et de la gestion des dangers naturels.

La surface totale du lot Broye est d'environ 390 km², dont environ 90 km² sont couverts par des périmètres d'étude surfaciques et dont environ 12 km sont couverts par des périmètres d'études linéaires. Selon les cartes indicatives de dangers, plus de 12 km² de l'ensemble de ces périmètres sont potentiellement affectés par des dangers naturels, soit environ 15% du territoire étudié.

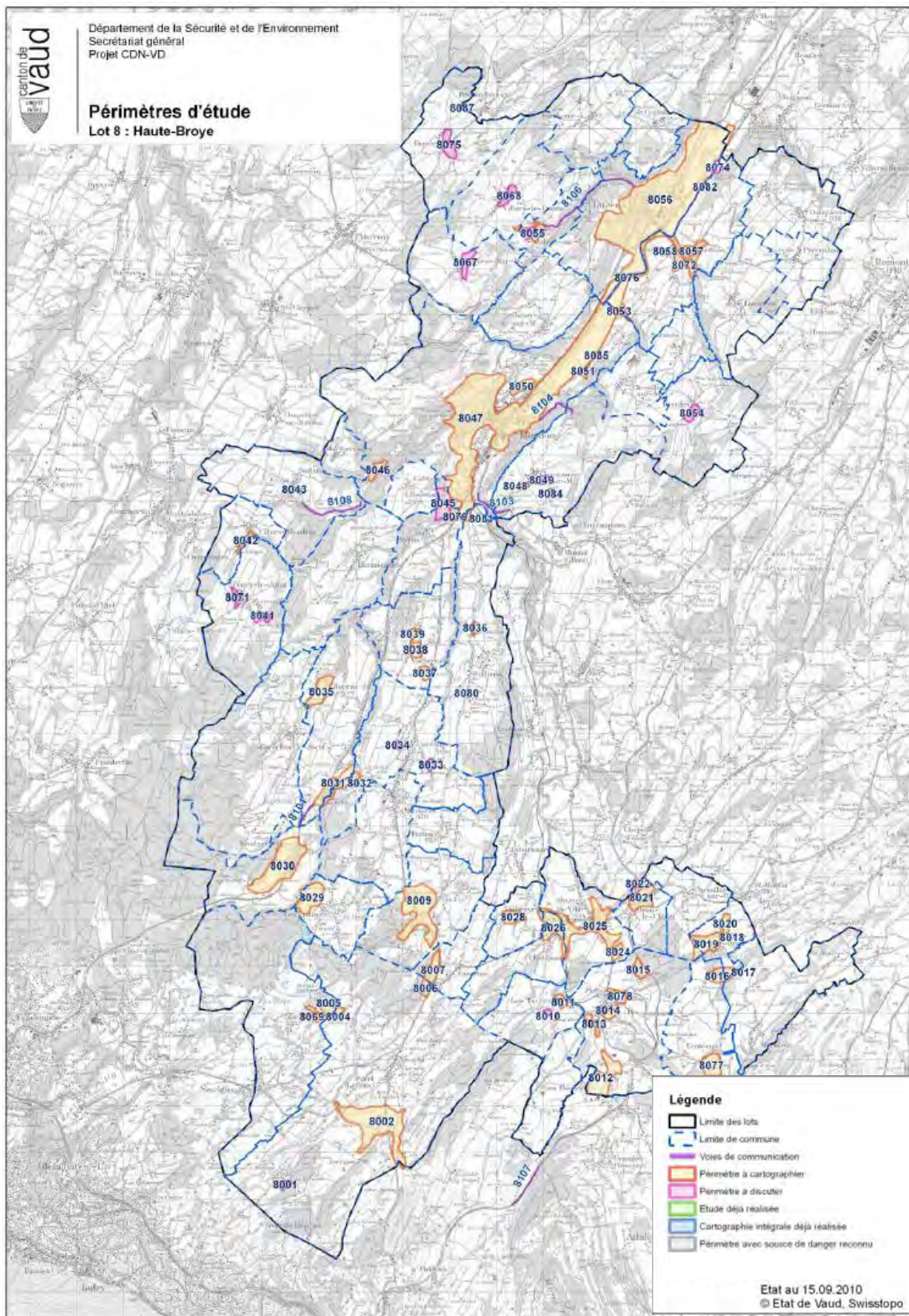


Figure 1 : Périmètres d'étude du lot 8 Haute-Broye.

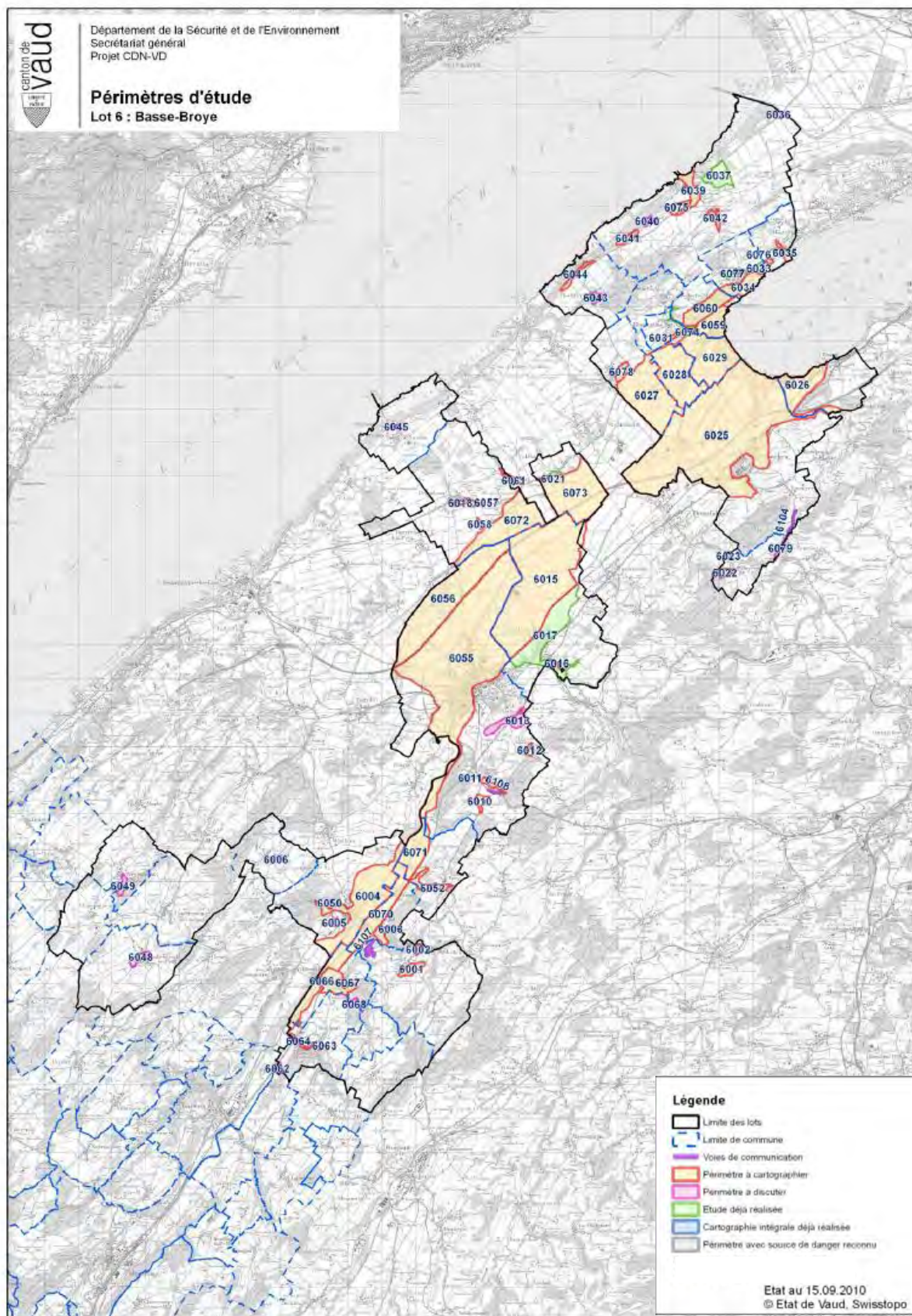


Figure 2 : Périmètres d'étude du lot 6 Basse-Broye.

1.2 Travaux réalisés

- Recherche, synthèse et compilation des données géologiques existantes
- Recherches historiques
- 10 séances avec les communes du Lot 68, 1 séance générale de présentation de la méthodologie et des résultats
- Levés de terrain exhaustifs de tous les périmètres d'étude entre 2010 et 2012, vérifications en 2013 et 2014
- Cartographie SIG et constitution de la base de données
- Modélisations et analyse des conditions déstabilisantes
- Zonage de danger et établissement des cartes
- Relevés des ouvrages de protection
- Rédaction de 31 rapports pour les communes, d'un rapport technique intermédiaire et du présent rapport technique final

2. Contexte géologique et géomorphologique

2.1 Géologie

La dernière glaciation (Würm) a vu défilé sur le canton une langue de glace d'un kilomètre d'épaisseur, qui ne s'est retirée que depuis 12'000 ans. Dans la région de la Broye, le rôle du glacier du Rhône a été fondamental par son empreinte et par ses dépôts de moraines.

Selon les roches et les reliefs que le glacier a chevauchés, il a eu un rôle soit :

- de dépôt plus ou moins épais de moraines ;
- de rabotage complet du substratum rocheux (constitué de molasses tertiaires)

Il est intéressant de noter la présence dans partie centrale de la zone d'étude (Lucens-Payerne) du sillon fluvio-glaciaire d'Henniez qui se trouve en position surélevée par rapport au niveau actuel de la plaine. Ce sillon est aussi recouvert par des dépôts morainiques, ce qui suggère une origine pré ou néo-Wurmienne.

Les dépôts glaciaires peuvent être eux-mêmes recouverts par des éboulis gravitaires encore plus récents, voire des colluvions de bas de pente ou des alluvions.

Les moraines latérales et les terrasses fluvio-glaciaires associent des sols très caillouteux à des pentes fortes ou à des replats. Les moraines de fond, pétries et écrasées par le glacier du Rhône, ont subi des pressions considérables et demeurent ainsi sur-compactées et très peu perméables en l'absence d'altération.

Les formations molassiques qui forment le soubassement rocheux peuvent être subdivisées comme suit :

- La molasse de plateau dont les pentes sont subhorizontales, regroupe toute la partie centrale et la zone inférieure de la Broye. Elle est composée de :
 - Molasse aquitanienne : molasse d'eau douce composée de grès et de marnes.
 - Molasse burdigalienne : molasse marine composée essentiellement de grès.

- Molasse subalpine, inclinée et affectée par la présence de plusieurs accidents tectoniques, qui caractérise la partie supérieure (Sud) du bassin versant de la Broye. Elle est composée de grès marneux de la Molasse chattienne.

2.2 Ensembles géomorphologiques et dangers naturels

Sur base de leur géologie (3 types de Molasse : Chattien, Aquitaniens et Burdigalien) et/ou de leur morphologie, six grands sous-ensembles aux caractéristiques géomorphologiques homogènes ont été identifiés dans le lot Broye, avec des problématiques de dangers naturels bien différenciées.

Du Sud au Nord, on distinguera la zone du pied du Mont-Pèlerin (A), la zone de Molasse burdigalienne (B), la zone de Plateaux molassiques aquitaniens (C), la zone Vully-les-Lacs – Cudrefin (D), la zone de la Vallée de la Broye Moudon – Payerne (E) et la zone de plaine de la Basse-Broye (F).

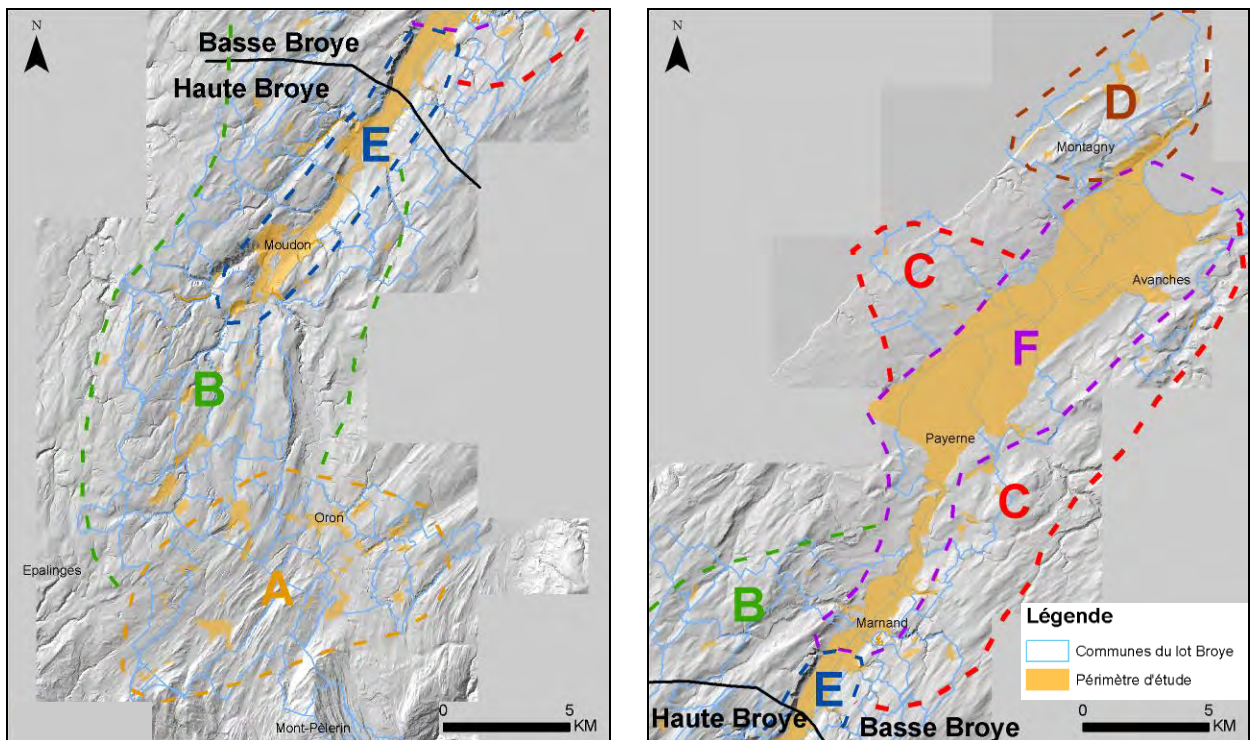


Figure 3 : Ensembles géomorphologiques du lot 68 Broye.

2.2.1 Zone du pied du Mont-Pèlerin (A)

Cette zone s'étend au Nord du Mont-Pèlerin entre les villages de Maraçon, Savigny et Servion et est caractérisée par un substratum rocheux constitué de Molasse d'eau douce inférieure (Molasse subalpine), formée de grès (Chattien sup.), de la Molasse à charbon (Chattien sup.) et de la Molasse grise de Lausanne (Aquitaniens). Le substratum rocheux est recouvert par une épaisseur variable de dépôts meubles quaternaires (dépôts infra-morainiques, moraine de fond, dépôts fluviaux, dépôts lacustres ou de marais). La morphologie de la zone est caractérisée par un relief légèrement vallonné, entaillé par des cours d'eau qui engendrent une érosion continue du substratum et la formation de pentes importantes et de petites falaises. Les principaux phénomènes de mouvements gravitaires sont caractérisés par des glissements permanents plus ou moins profonds et des glissements spontanés liés à la déstabilisation des dépôts quaternaires et des couches marneuses de la Molasse. Localement, on a pu identifier aussi la présence de tassements rocheux postglaciaires qui présentent peu de signes de mouvements.

2.2.2 Zone de Molasse burdigalienne (B)

Le soubassement rocheux de cette zone, située entre Servion et Granges-près-Marnand, est caractérisé par des bancs de grès gris-vert (Molasse marine supérieure du Burdigalien). Localement, le soubassement rocheux correspond à des poudingues et à des conglomérats. Le substratum est généralement recouvert par une épaisseur variable de dépôts meubles quaternaires (dépôts infra-morainiques, moraine de fond, dépôts fluviatiles, dépôts lacustres ou de marais). Le relief de la région est caractérisé par des terrains vallonnés. Ces derniers sont fortement entaillés à proximité des cours d'eau engendrant ainsi des vallées très étroites à versants très raides, voire des parois rocheuses. Les principaux phénomènes de mouvements gravitaires correspondent aux chutes de pierres et blocs par basculement et aux glissements spontanés et permanents, dont les plans de glissements correspondent généralement à l'interface avec la moraine ou la molasse altérée. Localement, quelques phénomènes de tassements ont également été mis en évidence dans les dépôts quaternaires fins.

2.2.3 Zone de plateaux molassiques aquitaniens (C)

Le substratum rocheux de la région affleurant des deux côtés de la plaine de la Broye entre Granges-près-Marnand, Chevroux et Avenches, est essentiellement formé par une alternance de grès gris et de marnes bigarrées (Molasse grise de Lausanne). Cette dernière est généralement recouverte de divers dépôts quaternaires (dépôts glaciolacustres ou fluvioglaciaires, moraine de fond, dépôts fluviatiles, dépôts lacustres ou de marais). La morphologie de la zone est caractérisée par un relief légèrement vallonné comprenant des pentes plus importantes à proximité des cours d'eau. Les phénomènes de déstabilisation principaux identifiés sur le terrain sont des glissements permanents et des glissements spontanés affectant les couches marneuses de la Molasse et la moraine de fond argilo-limoneuse. Quelques rares chutes de pierres et blocs associées aux petites falaises de molasse gréseuse le long des routes et des rivières ont été aussi identifiées.

2.2.4 Zone Vully-les-Lacs – Cudrefin (D)

Cette zone est située entre les lacs de Morat et de Neuchâtel sur les communes de Vully-les-Lacs et Cudrefin. Le soubassement rocheux de la région est formé par une alternance de grès gris et de marnes bigarrées (Molasse grise de Lausanne). Cette dernière est généralement recouverte de dépôts meubles quaternaires, tels que de la moraine de fond, des colluvions et des alluvions récentes. A proximité des lacs, des dépôts lacustres et palustres, riches en éléments fins, sont également présents. Le centre de cette zone se caractérise par un relief de plateau très légèrement vallonné. Au niveau des deux lacs, les pentes s'accroissent et laissent même apparaître quelques falaises de grès aquitainien. Les phénomènes gravitaires liés à cette région correspondent aux chutes de pierres et blocs ainsi qu'aux glissements spontanés au sein de la Molasse altérée. Quelques glissements permanents de faible activité ont également été observés dans les zones de plus forte pente.

2.2.5 Zone de vallée de la Broye Moudon – Payerne (E)

La région correspond à la plaine de la Broye et ses versants entre Moudon et Payerne. La géologie du site est caractérisée au niveau des versants par de la Molasse gréseuse du Burdigalien (Sud de Granges-près-Marnand) et par des alternances de grès et de marnes de l'Aquitainien (Nord de Granges-près-Marnand). La Molasse est recouverte par d'importants dépôts quaternaires à faciès morainique. Au niveau de la plaine, le soubassement rocheux est recouvert par d'imposants dépôts alluvionnaires en lien avec la Broye. Le relief des versants est caractérisé par des pentes importantes entrecoupées par de nombreux cours d'eau et thalwegs. Le centre de la plaine se distingue par sa morphologie plane. Les phénomènes observés dans cette zone sont principalement des phénomènes mixtes de laves torrentielles - coulée de débris et des glissements spontanés localisés dans les versants. Localement, des chutes de pierres et blocs et des glissements permanents ont également été observés.

2.2.6 Zone de plaine de la Basse-Broye (F)

La région comprend la plaine de la Broye et ses versants entre Payerne et l'embouchure de la Broye au niveau du Lac de Morat. La géologie du site est caractérisée, au niveau des versants, par des alternances de grès et de marnes de l'Aquitaniens (Nord de Granges-près-Marnand). La Molasse est recouverte par d'importants dépôts quaternaires à faciès morainique. Au niveau de la plaine, le soubassement rocheux est recouvert par d'imposants dépôts meubles en lien avec la Broye et le lac de Morat, tels que des alluvions, des dépôts lacustres et des dépôts palustres. Le relief des versants est caractérisé par des reliefs vallonnés et peu pentus entrecoupés par quelques cours d'eau. Le centre de la plaine se distingue par sa morphologie plane. Les phénomènes gravitaires observés sont essentiellement des tassements et très localement des glissements spontanés.

3. Aléas cartographiés

3.1 Chutes de pierres et blocs (CPB)

Les chutes de pierre et éboulements correspondent à des déplacements rapides de masses rocheuses avec mouvement de chute ou de basculement. Trois phénomènes distincts sont pris en considération :

- les chutes de pierres et de blocs (chutes sporadiques d'éléments isolés) ;
- les éboulements : chute d'une masse de roche, de volume assez important ($>100\text{ m}^3$), plus ou moins fragmentée; on parle de petit éboulement pour des volumes de 20 à 100 m^3 ;
- les écroulements : éboulements de très grande ampleur ($>100'000\text{ m}^3$) caractérisés par une propagation sur une étendue beaucoup plus importante; sauf cas très particuliers, ils ne font pas l'objet d'une carte de dangers car leur détection est presque impossible.

Les mouvements qui caractérisent les chutes de pierres sont généralement rapides (plusieurs m/s).

3.2 Glissements profonds permanents (GPP)

Les glissements de terrain permanents sont des mouvements de masses de terrains meubles ou rocheux sur une pente, le long d'une ou plusieurs surfaces de rupture par cisaillement, sous l'action de la gravité, de forces extérieures (notamment hydrauliques ou sismiques) ou d'une modification des conditions aux limites (retrait glaciaire ou érosion du pied par exemple). Les masses en mouvement peuvent être considérables (plusieurs millions de m^3).

Ces instabilités de versant présentent, à long terme, des déplacements plus ou moins continus dans le temps, avec des phases d'accélération et de réactivation. Les mouvements sont généralement lents – de quelques millimètres par an à quelques mètres par jour - et les profondeurs de la surface de glissement variables – de l'ordre du mètre à plusieurs dizaines de mètres. Dans la majorité des cas, ces glissements sont connus et répertoriés (glissements avérés).

Dans la morphologie des terrains affectés par des glissements, on peut identifier la niche d'arrachement, le corps du glissement principal, le bourrelet frontal correspondant à l'accumulation et éventuellement des lobes latéraux.

Dans certains cas, des glissements au sein de versants rocheux sont constatés. On parle alors de glissement rocheux et de tassement rocheux.

3.3 Glissements superficiels spontanés (GSS)

3.3.1 Glissements spontanés

Ces derniers se distinguent des glissements de terrain permanents par la soudaineté du phénomène ainsi que leur épaisseur généralement réduite. En effet, les glissements spontanés se déclenchent de façon subite, avec des vitesses instantanées rapides, dans les pentes où la couche superficielle se trouve en état d'équilibre limite. Ils sont dus à une dégradation temporaire de la cohésion du sol, par saturation d'eau, qui entraîne soit des glissements avec des arrachements superficiels mettant à nu la surface de glissement, soit des épanchements sans limites nettes. La masse en glissement ne conserve que partiellement sa consistance et sa physionomie. Les volumes et surfaces concernés sont généralement faibles (0.5 à 2 m) mais peuvent occasionnellement atteindre 4 m de profondeur et quelques milliers à dizaines de milliers de m³. On peut également observer des traces de glissements spontanés avortés dans les talus (ouverture de fissures, bourrelets de déformation).

3.3.2 Coulées de terre et de boue

Il s'agit de phénomènes associés aux glissements spontanés. Les coulées de boue sont induites par une sursaturation locale très importante, entraînant un écoulement du matériel meuble. Ce mélange de terre végétale et de matériaux meubles, complètement saturé en eau, s'écoule sur des pentes relativement élevées, sans aucun plan de glissement manifeste. La masse glissée ne conserve plus sa consistance et sa physionomie d'origine. Ce phénomène peut parcourir des distances importantes et peut dévaler des pentes sans présence de talweg ou de cours d'eau. La sursaturation en eau à l'origine des coulées de boue est généralement liée à des pluies intenses et des apports souterrains et/ou une morphologie induisant une reconcentration des eaux de ruissellement.

3.4 Laves torrentielles (LTO)

Ce type d'aléa, généralement typique d'environnements alpins ou préalpins, correspond à un phénomène de crue particulier, dans les torrents à fort gradient de pente. Lors d'un événement de lave torrentielle, les particules solides (rochers, blocs, pierres, graviers et matériaux organiques) forment avec l'eau un fluide au comportement rhéologique particulier qui se met en mouvement de transit rapide, et génère un comportement érosif marqué dans le lit du torrent, augmentant encore la quantité en mouvement. Lorsque l'énergie diminue, suite à une réduction de pente, les matériaux commencent à se déposer et obstruent le lit, entraînant un débordement avec épandage des matériaux sur des surfaces assez importantes. Des dépôts solides sont formés sur les bords du torrents (levées). Ce type de phénomène a lieu dans des torrents très raides, et fait souvent suite à un phénomène d'embâcle-débâcle, aggravé par les bois flottants par exemples. Leurs caractéristiques propres sont les suivantes :

- Forte densité du matériel écoulé (débit solide compris entre 30 et 70%) ;
- Vitesse d'écoulement généralement élevée (40 à 60 km/h) ;
- Très forte capacité de transport et volume important de matière solide déplacée ;
- Capacité de débordement et d'épandage élevée
- Capacité d'érosion très grande.

Le phénomène rencontré sur le lot Broye est un type de coulée de débris à la frontière entre une lave torrentielle et une coulée de boue induite par un glissement spontané. Nous l'avons classé comme une lave torrentielle, plus à même de définir le niveau de danger de la coulée.

Ce phénomène se forme dans les ruisseaux raides des anciennes rives de la Broye entre Moudon et Trey. L'élément déclencheur est systématiquement un événement de fortes pluies, mais l'état du lit du

ruisseau est également déterminant. En effet, les matériaux déposés par les glissements spontanés ainsi que les troncs morts accumulés dans le lit produisent un effet d'embâcle débâcle amplifiant la coulée.

4. Méthodologie Phase 1 : identification des dangers

Le projet s'est déroulé en deux phases (voir Annexe B) :

- Phase 1 Analyse générale : cartographie des phénomènes et élaboration des scénarios de danger
- Phase 2 Analyse détaillée : modélisations, élaboration des cartes intermédiaires (processus, intensité), des cartes de dangers et des autres produits (carte synthétique, conflits)

4.1 Cadastre des évènements

Un cadastre des évènements sous forme d'une base de données SIG (Système d'Information Géographique) a été fourni par le canton. Ce cadastre a été complété grâce aux entrées suivantes :

- 10 séances avec les responsables techniques et/ou dangers naturels des communes ou groupements de communes, parfois suivies de visites de terrain ;
- Envois groupés de courriers de demande d'informations auprès des communes du Lot Broye ;
- Informations obtenues auprès des riverains et des services techniques locaux (forestiers, cantonniers) lors des visites de terrain.

4.2 Cartes des phénomènes

Dans un premier temps, une analyse des cartes géologiques, des cartes indicatives, du modèle numérique de terrain, du cadastre des évènements et des informations obtenues par les communes et les services concernés a été réalisée.

Dans un deuxième temps, une ou plusieurs investigations de terrain ont été réalisées pour chaque périmètre d'étude. L'ensemble des phénomènes observés a été cartographié, puis intégré à la carte des phénomènes sur le SIG développé pour le projet.

Lors des visites de terrain, des zones non recensées par les cartes indicatives de dangers naturels (principalement des chutes de pierres et blocs remobilisables en versant forestier raide) ont également été identifiées, et/ou confirmées par les renseignements fournis par des riverains.

Au total, l'équivalent d'environ 30 jours de terrain complets ont été nécessaires à l'établissement de la carte des phénomènes, la saisie SIG nécessitant une durée équivalente.

4.3 Modification des cartes indicatives

Lors des investigations de terrain, seules les erreurs manifestes présentes sur les cartes indicatives de dangers ont été recensées. Ces erreurs sont principalement dues à des artefacts, tels que des murs considérés comme zones sources de chutes de pierres, ou à des zones de départ de laves torrentielles dans des zones urbanisées par exemple.

Quelques zones complémentaires ont été identifiées et ajoutées aux cartes indicatives, particulièrement pour les zones de chutes de pierres et blocs remobilisables au sein de versants forestiers raides.

4.4 Scénarios de danger

L'établissement des scénarios de danger constitue une étape essentielle pour l'établissement des cartes de dangers naturels. Ces scénarios sont établis pour tous les aléas de chaque famille de phénomènes (chutes de pierres et blocs, glissements permanents, glissements superficiels et laves torrentielles) et intègrent les différents processus qui peuvent survenir conjointement. D'une manière générale, les scénarios sont établis conformément aux directives fédérales.

CSD a élaboré des fiches de scénario décrivant les méthodes et les paramètres retenus pour l'identification et la cartographie des dangers. Ces fiches sont établies pour chaque aléa et leur contenu renseigne sur les phénomènes, leur activité, les principales caractéristiques géologiques et morphologiques, les facteurs aggravants, déclenchants et atténuants et les conditions particulières. Pour les aléas de chutes de pierres et blocs, un scénario spécifiant les volumes de blocs pour chaque temps de retour a été établi (0-30 ans, 30-100 ans, 100-300 ans et scénario extrême >300 ans). Pour les aléas de laves torrentielles, un scénario spécifiant les hauteurs de dépôts a été établi pour chaque temps de retour (0-30 ans, 30-100 ans, 100-300 ans et scénario extrême >300 ans).

Les fiches de scénarios ont été réalisées sur une base de données SIG permettant de faire le lien entre le cadastre des événements, la carte des phénomènes et les différents produits cartographiques tels que les cartes de processus, les cartes d'intensité et les cartes des dangers. L'ensemble des informations concernant les scénarios est stocké dans une table attributaire accessible via ArcGIS et Access.

Pour les différents phénomènes géologiques, plus de 229 fiches de scénarios ont été établies pour l'ensemble du lot. Ces fiches regroupent parfois plusieurs aléas voisins et de caractéristiques similaires.

Afin de faciliter l'exploitation des fiches de scénarios, une clé de lecture des fiches de SCN décrivant chaque champ est présentée Annexe A.

5. Méthodologie phase 2 : zonage de dangers

5.1 Généralités

Sur base des cartes de phénomènes et des fiches de scénario, l'élaboration des cartes de danger a pu être réalisée. Les méthodologies diffèrent pour chaque phénomène, sachant que l'on peut distinguer deux grandes catégories de phénomènes de dangers naturels gravitaires :

- Les phénomènes induisant une propagation, déplaçant le danger depuis sa zone source (éventuellement distante et située en dehors du périmètre d'étude) vers une zone menacée : c'est le cas des chutes de pierres, des laves torrentielles, des coulées de boue, et de certains glissements spontanés. L'étude de la propagation nécessite généralement des calculs ou des modélisations.
- Les phénomènes induisant un danger par déplacement, sans propagation distante : il s'agit des glissements de terrain. Ces phénomènes sont généralement étudiés sur la base de critères géologiques ou d'activité appréciés sur le terrain par le géologue et ne sont généralement pas modélisés pour réaliser des cartes de danger.

5.2 Chutes de pierres et blocs (CPB)

L'ensemble des phénomènes de chutes de pierres et blocs a nécessité la réalisation de modélisations trajectographiques pour déterminer les zones potentiellement affectées et pour définir la distribution spatiale de leur énergie.

5.2.1 Choix du modèle trajectographique et démarche adoptée

La propagation des blocs issus des zones sources identifiées dans la première partie de l'étude a été modélisée à l'aide du logiciel trajectographique tridimensionnel Rockyfor3D v.5.0 (Dorren 2011, EcorisQ). Ce logiciel permet de modéliser les chutes et propagation des blocs en trois dimensions, permettant d'obtenir une distribution probabiliste des trajectoires et des énergies des blocs. Notre choix s'est porté sur ce logiciel car il permet une gestion optimale des données introduites dans le modèle et une vision critique des résultats obtenus. Néanmoins, ce logiciel comprend quelques faiblesses, telles que le temps de calcul et la nécessité de saisir manuellement un grand nombre de données.

Pour des morphologies complexes, des zones hautement boisées et de grande superficie, la modélisation 3D est parfaitement adaptée.

Localement, des trajectographies 2D ont été réalisées pour vérifier les résultats des trajectographies 3D (Figure 4). Les zones de transit et de dépôt ne doivent pas montrer de dépressions, de convexités ou d'obstacles importants qui peuvent complètement modifier les trajectoires de blocs. Ces modélisations 2D ont été réalisées avec le logiciel Rockfall (Dr. Spang).

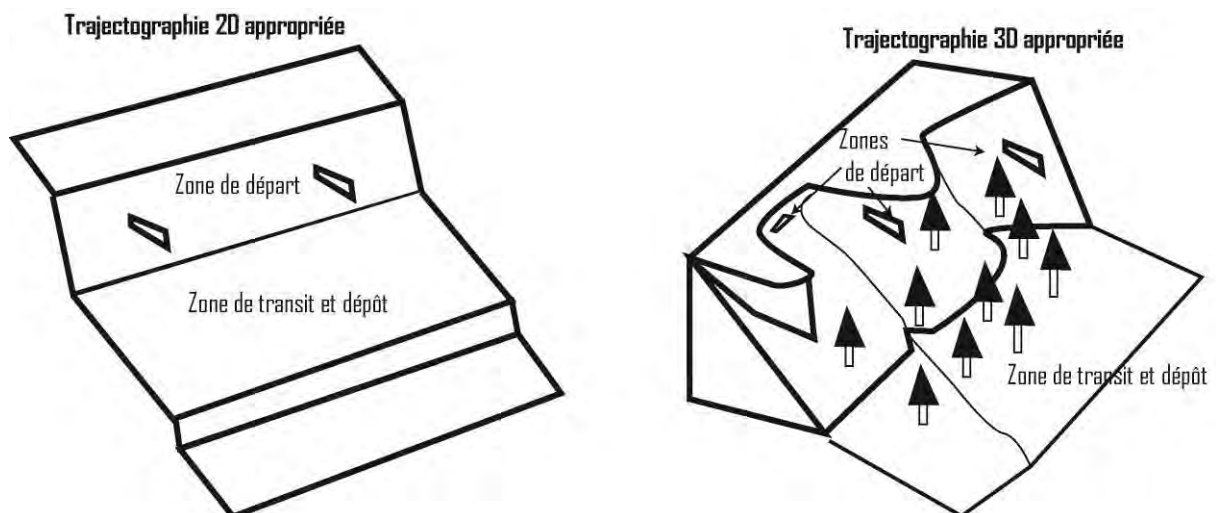


Figure 4 : Exemples d'application des trajectographies 2D et 3D selon des conditions de terrain différentes.

5.2.2 Explication des paramètres du modèle et adaptations aux conditions de la zone d'étude

Rockyfor3D nécessite l'introduction des six paramètres sous format pixelisé (raster) :

- *Topographie* : la configuration topographique de la zone étudiée est définie par le modèle numérique de terrain à haute résolution (MNT). En accord avec les études menées par Dorren et Heuvelink (2004) de l'influence du MNT sur la qualité de modèle trajectographique, une maille de 2 mètres a été choisie comme base topographique pour toutes les modélisations effectuées.
- *Densité des blocs* : par mesure de sécurité, ce paramètre a été fixé à $2'700 \text{ kg/m}^3$ de manière sécuritaire.
- *Dimensions des blocs* : Ce paramètre influence directement l'énergie et la distance de propagations des blocs. En règle générale, plus les blocs sont volumineux, plus ils ont tendance à se propager loin. Pour cette étude, une taille des blocs est définie dans le modèle par la longueur des trois axes (en mètre) du bloc moyen correspondant aux différents scénarios identifiés sur le terrain (0-30, 30-100, 100-300 ans).
- *Forme des blocs* : la forme du bloc représente un paramètre important qui influence directement la distance de propagation. Dans cette étude, compte tenu des lithologies, une forme isométrique

cubique a été choisie comme paramètre par défaut. Ce choix permet d'obtenir des résultats plutôt sécuritaires en ce qui concerne la distance maximale de propagation.

- *Caractéristiques mécaniques des sols* : le logiciel nécessite l'introduction du coefficient de restitution normale (paramètre qui définit la pénétration du bloc au niveau du sol et le rebond qui en résulte) et la rugosité de la surface de transit (exprimée par la hauteur des obstacles le long du cheminement des blocs). Chaque type de sol présente des caractéristiques mécaniques spécifiques. Dans le cadre de cette étude, la distribution des différents types de sols à l'intérieur des zones modélisées est issue du modèle numérique vectoriel de la Suisse (VECTOR25, Swisstopo). Ces données correspondent aux différents types de sols présents sur la carte nationale 1:25'000. La précision de ce modèle est généralement comprise entre 3 et 8 mètres. Ensuite, pour chaque type de sol, les coefficients de restitution et de rugosité sont établis sur la base de valeurs proposées dans la littérature. Ces valeurs sont ensuite ajustées sur la base des points d'arrêt des événements historiques (phase de calibrage des résultats).

En accord avec la méthodologie fédérale, le rôle protecteur de la forêt n'a pas été directement pris en compte dans le cadre de ces modélisations. Néanmoins, lors de la saisie des coefficients de rugosité, la présence de forêt a été prise en compte indirectement en augmentant légèrement les paramètres de rugosité par rapport à un sol non forestier.

Pour chaque simulation, le logiciel permet aussi de définir le nombre de blocs lancés dans chaque cellule source ainsi que les variations potentielles en ce qui concerne la taille moyenne du bloc. Le tableau 1 ci-dessous résume les caractéristiques générales adoptées pour les modélisations du lot 68 Broye.

Tableau 1 : Résumé des paramètres utilisés dans le modèle trajectographique dans le cadre de la modélisation. Les paramètres de rugosité pour chaque type de terrain se trouvent en annexe B.

Paramètres	Choix au niveau du lot
Maille du MNT	2 mètres
Densité des blocs	2700 kg/m ³
Forme des blocs	Cubique par défaut
Taille des blocs	Variable en fonction du scénario évalué sur le terrain
Coefficient de restitution normale (Rn)	Définis sur base du Vector25 et adaptés sur la propagation des événements passés.
Rugosité	Définie sur base du Vector25 et calibrée par les observations de terrain.
Nombre de blocs lancés par cellule de 2 m	1
Variation de masse du bloc initial	0%

5.2.3 Sortie de données

Pour chacune des zones, trois résultats différents ont été produits correspondant aux énergies et aux zones de propagations associées aux volumes des trois scénarios (30, 30-100 et 100-300 ans) identifiés sur le terrain. Pour chaque scénario, le modèle trajectographique permet d'obtenir la distribution des énergies et la probabilité de propagation au niveau de la zone de transit ainsi que le point d'arrêt final des blocs. Une modélisation du scénario extrême (>300 ans) a été rajoutée lorsque le volume de bloc est supérieur à celui du scénario 300.

5.2.4 Limites de l'approche utilisée

Compte tenu de l'échelle de travail et du but final de la carte de danger, les résultats trajectographiques donnent un bon aperçu des zones potentiellement affectées par des chutes de blocs, ainsi que des énergies potentiellement induites par ce type de phénomène. En règle générale, les paramètres utilisés pour les différentes modélisations peuvent être considérés comme sécuritaires par rapport à la situation

réelle du danger. Il faut toutefois noter que la validité des modèles trajectographiques est directement liée à la qualité des données introduites. En particulier, les modélisations peuvent engendrer des résultats peu réalistes dans les zones à forte couverture forestière où le modèle numérique de terrain présente des artefacts importants ainsi que dans les zones où aucun événement historique n'a pu être utilisé pour caler le modèle.

Les petites pierres avec un temps de retour de moins de 30 ans générant automatiquement un danger moyen (la case 3 de la matrice ne possède pas de limite inférieure pour la taille), les volumes inférieurs à 0.002 m³ n'ont pas été modélisés si un danger de même niveau est généré pour un autre temps de retour.

La matrice des dangers de chute de pierres et blocs est présentée dans la Figure 5.

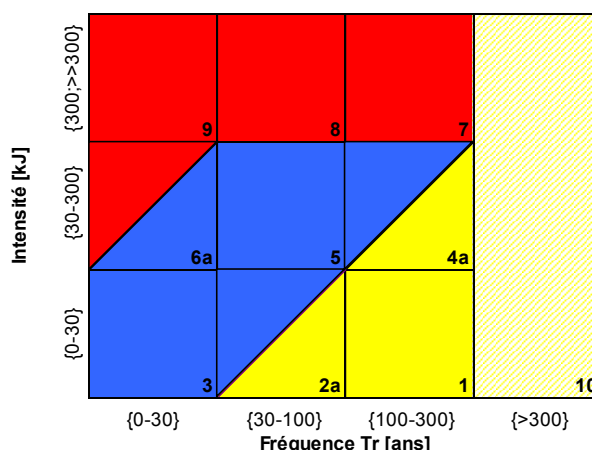


Figure 5 : Matrice du danger de chute de pierres et blocs. La légende est présentée dans le Vade-mecum dangers naturels.

L'aléa de chute de pierres et blocs ne traite pas des cas d'objets construits au-dessus de falaises, dont les fondations seraient déstabilisées par le décrochement d'un bloc.

5.3 Glissements superficiels et spontanés (GSS)

5.3.1 Calcul de la prédisposition

Les zones sensibles aux glissements spontanés ont été déterminées par l'analyse du géologue sur le terrain.

La quantification de ce danger pourrait être aléatoire si elle n'est pas objectivée par une méthodologie établie : étant donné que les phénomènes de glissements spontanés ne peuvent être caractérisés par un temps de retour au sens strict, une prédisposition à ce phénomène a dès lors dû être définie pour les zones potentiellement affectées par ce phénomène. Pour la déterminer, une équation associant une valeur à chacun des paramètres suivants a été utilisée (valeur entre [] ci-dessous) :

- la valeur moyenne de susceptibilité aux glissements spontanés de la carte indicative des dangers (nulle à faible [0], moyenne [1], élevée [2], très élevée [3]) ;
- la présence d'évènements ou de traces de glissements spontanés observés sur le terrain (pas d'évènement [0], évènement isolé [2], plusieurs évènements [4]) à proximité immédiate ou dans un contexte géologique et géomorphologique identique ;
- la présence sous-jacente d'un glissement profond et permanent (pas de glissement permanent [0], présence d'un glissement permanent [1]) ;
- La présence de sources ou de zones de concentration des eaux (absence [0], présence [2]) ;
- Autres facteurs ajoutés par le géologue ([1] par facteur additionnel).

La somme des points de chacun de ces paramètres permet de définir la prédisposition aux glissements spontanés en trois catégories suivant le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Calcul de la prédisposition aux GSS.

Somme des paramètres	Prédisposition
[0 à 3]	Faible
[4 à 6]	Moyenne
> 7	Elevée

Cette méthode d'évaluation de la prédisposition se veut quantitative, mais elle est toujours soumise à une appréciation par le géologue pouvant conduire à déclasser ou surclasser le niveau de danger.

L'épaisseur mobilisable (intensité) a été déterminée par le géologue sur base des traces d'évènements dans le terrain ou grâce aux données de sondage disponibles.

Combinée à la prédisposition, elle permet, en se basant sur la matrice de danger, de définir le degré et la classe de danger associés à cet aléa.

Plusieurs facteurs aggravants liés à l'eau sont nécessaires pour générer un danger élevé, soit par augmentation de la prédisposition, soit parce qu'ils peuvent entraîner un potentiel de coulée de boue.

5.3.2 Coulées de boue

La propension à former des coulées de boue augmente sensiblement le danger et les risques résultant d'un évènement de glissement spontané.

Lorsque les indices suivants sont présents, un potentiel de coulées boueuses a été pris en compte :

- Evènements historiques,
- Venues d'eau souterraine combinées avec une morphologie entraînant une concentration des eaux de ruissellement.

La matrice des dangers de glissement spontané est présentée dans la Figure 6.

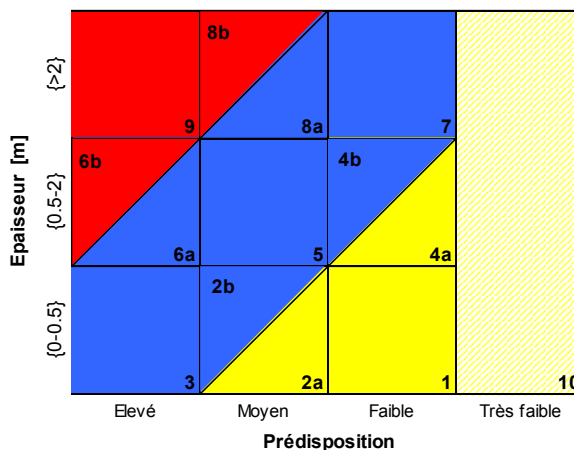


Figure 6 : Matrice du danger de glissement superficiel spontané. La légende complète est présentée dans le Vade-mecum dangers naturels.

5.4 Glissements profonds et permanents

Les secteurs affectés par des glissements permanents ont été identifiés dans un premier temps à l'aide des cartes des phénomènes de glissements permanents (DUTI-1991 et carte indicative des glissements profonds et permanents de l'IGAR 2007) et des cartes géologiques nationales au 1 : 25'000.

Sur le terrain, différents indices morphologiques (présence d'une niche d'arrachement, de bourrelets frontaux, de fissures de tractions, de zones marécageuses, ...), l'observation du bâti (fissures et déformations de routes, fissures sur les bâtiments) et de la végétation (arbres tordus ou penchés) ainsi que des indices d'humidité ou de venues d'eau (végétation hygrophile) ont permis de délimiter les zones affectées par les glissements permanents.

Une validation des limites de glissements a ensuite généralement été réalisée sur le modèle numérique de terrain.

Grâce à l'analyse morphologique, géologique et hydrogéologique, le moteur du glissement, sa vitesse et la profondeur de la surface de glissement, le potentiel d'accélération et/ou de réactivation et enfin les facteurs aggravants et atténuants ont pu être déterminés .

Dans quelques cas, des mesures sur des glissements permanents ont été transmises (mesures inclinométriques, géodésiques, extensométriques, etc.) permettant de définir plus précisément sa vitesse et sa profondeur.

Le potentiel de réactivation brutale est généralement pris en compte s'il est mentionné dans le cadastre des événements ou rapporté par les riverains. Ce potentiel est également pris en compte dans les zones où des modifications rapides de géométrie (à l'échelle des temps géologiques) sont constatées (typiquement, les versants des cours d'eau où une forte activité érosive en cas de crues est identifiée ou suspectée).

La matrice des dangers de glissement permanent est présentée dans la Figure 7.

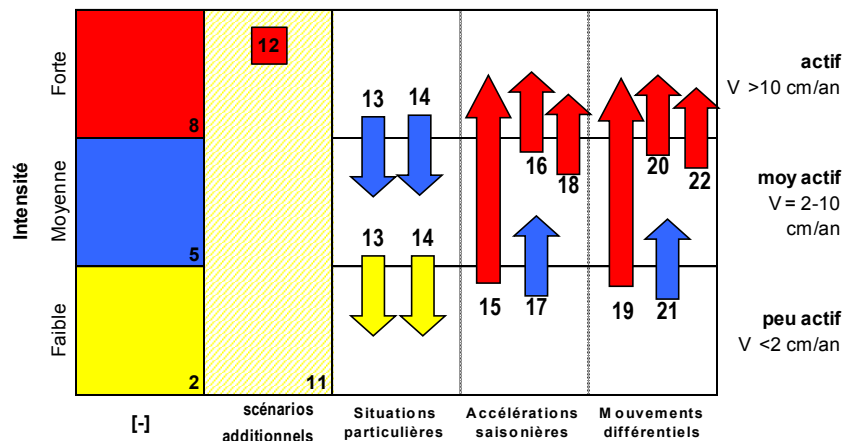


Figure 7 : Matrice du danger de glissement de terrain profond permanent. La légende est présentée dans le Vade-mecum dangers naturels.

5.5 Laves torrentielles ou coulées de débris

Dans un premier temps, les chenaux pouvant potentiellement créer des laves torrentielles ont été identifiés grâce au cadastre des événements et aux levés de terrain. Les traces d'événements telles que des dépôts de matériaux en fond, en bordure ou en pied de chenaux ont été relevés afin de caractériser les anciennes laves torrentielles. Les zones sources ont également été étudiées afin de caractériser les facteurs de déclenchement des événements. Ces facteurs sont la quantité de matériaux disponibles

susceptibles d'être charriés et le potentiel d'embâcle-débâcle liés à la présence de flottants obstruant le lit des cours d'eau (arbres, débris végétaux, plastiques, ...) pouvant aggraver la situation et occasionner la mise en place d'un véritable régime torrentiel sur une portion restreinte du cours d'eau.

Dans un deuxième temps, l'évaluation des volumes de matériaux mobilisables a été réalisée en estimant l'épaisseur de terrain mobilisable dans le lit du torrent au cours d'un même évènement. Le volume de matériaux par mètre linéaire a ensuite été multiplié par la longueur de torrent pour réaliser une première évaluation des accumulations possibles. Une vérification a ensuite été réalisée grâce aux formules de Manning-Strickler et a été comparée aux accumulations lorsque celles-ci étaient présentes ou aux volumes de rétention des dépotoirs.

L'intensité des événements potentiels a été évaluée sur la base de l'épaisseur de matériaux charriés.

A l'aval, l'extension des zones touchées par les laves torrentielles a été arrêtée au périmètre touché par l'épandage des matériaux solides.

La matrice des dangers de lave torrentielle est présentée dans la Figure 8.

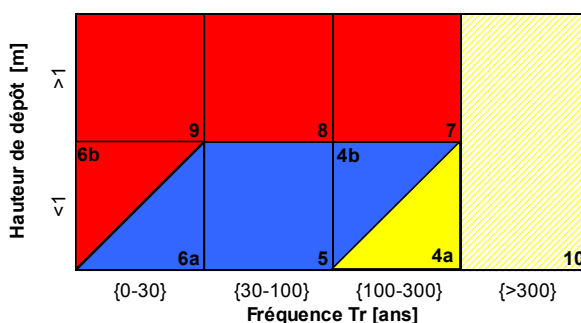


Figure 8 : Matrice du danger de lave torrentielle. Pour cet aléa, l'intensité minimale est moyenne, aucune intensité faible n'est considérée. La légende est présentée dans le Vade-mecum dangers naturels.

5.6 Phénomènes combinés

Plusieurs types de scénarios combinés existent. La plupart sont pris en compte dans le scénario du phénomène amplifié ou déclenché par un autre aléa. Ces scénarios sont les chutes de pierres et blocs déclenchés par des glissements spontanés, des laves torrentielles dont le volume peut être amplifié par des glissements spontanés, et des glissements spontanés dont la prédisposition est augmentée par la présence d'un glissement permanent sous-jacent.

Les scénarios de crues provoquées par des embâcles dus à des glissements de terrain ont été pris en compte dans l'étude du danger d'inondation (rapport e-dric.ch).

6. Explication des produits cartographiques

6.1 Carte des phénomènes

Les cartes de phénomènes constituent les documents cartographiques de référence, établis par le géologue à l'issue de son levé de terrain (phase 1). Les éléments importants permettant la caractérisation des différents phénomènes sont reportés sur carte à l'aide d'une légende unifiée et ensuite sur SIG. Les témoins muets (blocs éboulés, fissures liées aux glissements, accumulations de débris, etc.) sont répertoriés ainsi que les facteurs tels que des venues d'eau souterraine, des zones marécageuses, etc.

Les cartes de phénomènes renseignent une notion d'intensité des phénomènes lorsque celle-ci peut être appréciée sur le terrain. Par contre elles ne contiennent aucune notion de temps de retour et ne tiennent pas compte des scénarios de danger.

6.2 Cartes des processus

Les cartes des processus ont pour objectif de représenter l'extension spatiale maximale de la zone touchée par un danger pour les différents temps de retour retenus dans le scénario. Il y a donc une carte de processus par temps de retour pour les chutes de pierres et blocs et les laves torrentielles.

Les glissements de terrains (GPP et GSS) n'ont pas de carte de processus car ils n'ont pas de propagation à proprement parler.

6.3 Cartes des intensités

Les cartes des intensités reprennent l'extension maximale du processus pour chaque temps de retour et indiquent les intensités (faible, moyenne ou élevée) des aléas. Elles sont réalisées pour tous les phénomènes. A nouveau, il y a une carte des intensités par temps de retour et par phénomène.

- Pour les chutes de pierres, l'intensité reflète l'énergie des blocs, ou la hauteur des coulées pour les laves torrentielles.
- Pour les glissements permanents, les intensités sont remplacées par la vitesse du phénomène. Le temps de retour n'existant pas pour ce type de phénomène, il est remplacé par la profondeur du glissement.
- Pour les glissements spontanés, l'intensité est renseignée par la profondeur ou la hauteur de la coulée boueuse tandis que le temps de retour est remplacé par la notion de prédisposition.

6.4 Carte des dangers naturels

La carte des dangers est un croisement de l'intensité avec la fréquence pour tous les temps de retour et pour chaque phénomène. Le niveau de danger le plus élevé est gardé en chaque point. La caractérisation du danger est présentée dans le Vade-mecum des dangers naturels.

6.5 Carte synthétique des dangers

Cette carte a pour objectif de montrer pour chaque portion de territoire le degré de danger maximal résultant de l'ensemble des phénomènes étudiés. Il s'agit d'une couche SIG obtenue par croisement des différentes cartes de danger.

Les principes suivants ont été observés pour sa réalisation :

- Lorsqu'un secteur est menacé par plusieurs processus dangereux, avec des degrés de dangers différents, le degré de danger le plus élevé lui est attribué.
- L'attribution du degré de danger se fait dans l'ordre hiérarchique suivant, du plus élevé au plus faible : rouge, bleu, jaune, hachuré jaune-blanc, blanc.
- La coïncidence de plusieurs dangers de même degré n'engendre pas un classement dans un degré de danger plus élevé (exemple bleu + bleu ≠ rouge).
- La nature du processus à l'origine du danger dominant n'est pas indiquée. Lorsque plusieurs aléas sont présents avec un même niveau de danger la liste de priorité devient alors la suivante (du plus au moins prioritaire) : AVA – LTO – INO – CPB – GPP – GSS

6.6 Cartes des conflits

La carte des conflits est un croisement de la carte synthétique des dangers et de la carte de vulnérabilité de l'occupation des sols. Elle permet de mettre en évidence les secteurs et les infrastructures du territoire exposés, et d'avoir une vision globale des potentiels de dégâts en cas d'événement. Ce produit n'est pas une analyse de risque à proprement parler, car il ne quantifie aucunement les dégâts.

		Degré de danger		
		Fort	Moyen	Faible
Vulnérabilité de l'occupation du sol	Nulle	Nul	Nul	Nul
	Très faible	Très faible	Très faible	Nul
	Faible	Faible	Faible	Très faible
	Moyenne	Moyen	Moyen	Faible
	Forte	Fort	Fort	Moyen
	Non précisée	Indéterminé	Indéterminé	Fort

Figure 9 : Matrice de la carte des conflits générant une estimation du risque.

La carte obtenue permet de délimiter les zones prioritaires en matière de déficit de protection, mais certaines précautions doivent être prises lors de sa lecture. D'une part, pour les zones dont la vulnérabilité est indéterminée, le niveau de risque ressort comme « fort » avec un danger faible (voir Figure 9). D'autre part, la carte de vulnérabilité peut classer des habitations isolées en zone de vulnérabilité nulle ou très faible. Cette méthode automatique ne tient pas non plus compte du sens de chute des blocs, et des parcelles situées au-dessus de zones sources de blocs peuvent dès lors ressortir en risque élevé alors que le bâti n'est absolument pas exposé.

7. Résultats

7.1 Cadastre des évènements

Un événement correspond à un accident ou un incident lié aux dangers naturels.

Globalement, cette étape a demandé énormément d'énergie et de temps pour obtenir des résultats. Les retours de courriers envoyés aux communes ont été faibles. Par contre, les séances avec les communes ont en général été très fructueuses. La communication des événements par les riverains n'est toutefois pas toujours optimale (oubli des dates, intérêts divergents,...). De plus les différents phénomènes peuvent être difficiles à appréhender par des non-spécialistes. Les événements recensés dans le cadastre fourni par le canton sont parfois mal positionnés ou mal attribués.

En début de mandat, la base de données fournie par le canton comptait 300 événements, dont 30 liés à des phénomènes géologiques. CSD Ingénieurs SA a recensé 23 événements supplémentaires (liés à des aléas géologiques) qui ont été intégrés à ce cadastre.

Ainsi, 16% du total des événements recensés correspondent à des événements liés à des phénomènes géologiques. Le reste des événements provient des phénomènes d'inondation ou d'érosion.

Tableau 3 : Cadastre des événements complet sur l'ensemble du lot (dans et hors périmètre).

	Evènements totaux	Evènements géologiques
Evènements reçus au début du mandat par le canton	300	30
Evènements ajoutés par CD-Vaud	23	23
TOTAL	323	53

7.2 Comparaison des résultats avec les cartes indicatives

Suite à ce travail, les zones réellement concernées par les dangers naturels ont pu être précisées. Le tableau ci-dessous présente de manière informative les modifications des surfaces (ou longueurs de cours d'eau pour les laves torrentielles) concernées par des dangers naturels, entre les cartes indicatives réalisées en 2007 sur base de processus informatiques et la carte des dangers élaborée grâce aux levés de terrain réalisés dans le cadre de la présente étude.

Tableau 4 : Comparaison indicative des surfaces (ou longueurs) concernées des phénomènes de dangers naturels entre les cartes indicatives et la carte de dangers (tous niveaux de danger confondus).

Phénomène	Surface concernée Carte indicative de danger [ha]	Surface concernée Carte des dangers [ha]	Diminution / Augmentation
Chutes de pierres CPB	210.63	140.81	-33 %
Glissements permanents GPP	758.17	493.33	- 35 %
Glissements superficiels GSS	800.96	519.96	- 35 %
Laves torrentielles LTO	237.17	17.52	- 93 %

D'une manière générale, la carte indicative pour les chutes de pierres et blocs s'est révélée relativement précise et constitue un indicateur fiable, surtout pour la présence des zones sources.

La carte indicative des glissements spontanés est relativement fiable, bien qu'elle constitue plutôt une carte des pentes. Elle permet d'attirer l'attention sur les zones potentiellement concernées par le phénomène et s'est souvent révélée utile sur le terrain.

La carte indicative des glissements profonds, déjà très aboutie, est une source d'information précieuse grâce au travail réalisé pour le DUTI¹ par l'EPFL et complété par l'IGAR. Quelques glissements ont été rajoutés, d'autres ont été supprimés lorsqu'aucun signe de glissement n'a pu être observé sur le terrain. Au final, la surface totale concernée a été réduite de 35% pour deux raisons :

- Suppression de certaines zones de GPP qui avaient été ajoutées sur la base de l'analyse MNT

¹ Détection et Utilisation des Terrains Instables

- Réattribution de zones instables à d'autres phénomènes que les glissements permanents

La carte indicative des laves torrentielles est par contre très nettement conservatrice et de nombreuses zones indicatives ne sont en fait pas concernées par ce phénomène, permettant de réduire de plus de 90% environ la surface concernée.

7.3 Cartes de dangers

Une description exhaustive des dangers est présentée dans les 31 rapports de détail destinés aux communes du lot Broye.

Compte-tenu des caractéristiques géologiques et géomorphologiques du territoire étudié, mais aussi du choix des périmètres de dangers où la carte a été établie, les différentes classes de danger associées aux différents phénomènes concernent des surfaces très inégales du territoire.

Il est important de noter que le choix des périmètres à étudier avait été réalisé en fonction des enjeux, mais aussi d'une suspicion de danger, soit grâce aux cartes indicatives de danger, soit suite à des événements passés. Comme la majeure partie des dangers naturels du lot Broye provient des inondations, la proportion des zones étudiées concernée par au moins un danger géologique est faible (seulement 19 % de la surface totale des périmètres étudiés).

Le danger rouge concerne 2 % des périmètres étudiés, tous aléas confondus, et le plus fort contributeur de danger rouge est le phénomène de chutes de pierres, pourtant peu présent en général sur ce territoire, excepté dans les pentes raides de la vallée de la Broye, dans l'escarpement des rives du Lac de Neuchâtel dans la région de Cudrefin, et dans les coteaux du Vully.

Les glissements de terrain, permanents et spontanés, sont les plus représentés sur le territoire. Les glissements permanents ont des niveaux de dangers généralement faibles. Ils sont répartis sur tout le territoire étudié. Ils proviennent généralement de la déstabilisation du versant morainique par l'alimentation en eau souterraine de la molasse gréseuse sur la molasse marneuse.

Les glissements spontanés sont sous-représentés car ils touchent majoritairement des zones de forte pente, non construites, et donc non couvertes par des périmètres d'étude. Il s'agit du phénomène le plus présent dans ce lot.

Les laves torrentielles sont à considérer comme un phénomène marginal sur la zone étudiée, même si elles peuvent entraîner quelques zones de danger élevé dans les talwegs des flancs raides de la vallée de la Broye.

La figure suivante représente les proportions du territoire étudié concernées par les différentes classes de danger :

Tableau 5 : Pourcentages des périmètres étudiés concernés par les différents dangers naturels géologiques.

	Degré de danger				Total
	Résiduel	Faible	Moyen	Elevé	
CPB	0.04%	0.39%	0.69%	1.16%	2.3%
GPP	0.01%	7.52%	0.46%	0.02%	8.0%
GSS	0.33%	2.62%	4.85%	0.64%	8.4%
LTO	0.00%	0.06%	0.03%	0.20%	0.3%
Total	0.4%	10.6%	6.0%	2.0%	19.0%

Il faut absolument prendre en compte que tous les dangers d'une même couleur ne sont pas équivalents. Un danger rouge, lié à une intensité élevée et une probabilité élevée (rouge case 9) n'a pas la même signification qu'un danger rouge associé à des temps de retour de 100 à 300 ans (rouge case 7). C'est le cas également pour le danger bleu associant des énergies très faibles et une probabilité élevée (chutes de petits cailloux d'un affleurement de 2 m de haut par exemple, bleu case 3), insignifiant sur le plan des dangers en comparaison d'une zone classée en intensité moyenne pour des temps de retour compris entre 30 et 100 ans (bleu case 5), où un réel danger existe.

Dès lors, des appréciations au cas par cas sont nécessaires et des possibilités de modulation existent, notamment en ce qui concerne les interdictions. Ce point crucial fait l'objet d'un guide de transcription des cartes de danger dans l'aménagement du territoire réalisé par le Canton de Vaud (Transcription des données relatives aux dangers naturels (DDN) dans l'aménagement du territoire, Directives cantonales du 18 juin 2014).

8. Points critiques

Dans les périmètres à cartographier, plusieurs aléas induisant des situations de risque élevé à très élevé ont été identifiés sur le terrain.

Des analyses plus poussées et/ou des mesures de protection sont nécessaires dans chaque cas, mais ne font pas partie du présent mandat.

Les principaux points critiques du Lot 68 Broye sont :

- Le quartier des Roches menacé par des glissements spontanés et des chutes de pierres, dans la commune de Vully-les-Lacs (périmètres 6034 et 6076). Le quartier a été évacué en 1996, définitivement interdit de résider en 2006, puis démoli en 2015. Le reste du coteaux de Constantine – Vallamand – Mur comporte les mêmes types de dangers, même si le risque a été mieux appréhendé au moment des constructions.
- Les Lieux-dits « Le Vallon », « La Rochette » et le Château de Moudon (tous sur le territoire communal de Moudon, périmètre 8047), menacés par des glissements de terrain spontanés.
- La rive droite de la Broye entre Moudon et Trey (nombreux périmètres) dont les ravines sont sujettes aux laves torrentielles. Des glissements spontanés peuvent également produire des coulées de boue dans ces pentes raides, généralement recouvertes de forêts.
- La route Lucens – Oulens-sur-Lucens (périmètre 8106) dont le versant forestier amont est susceptible de produire des chutes de pierres et des glissements spontanés, et affecté par plusieurs glissements permanents.
- La route Moudon – Sottens (périmètre 8108) affectée par des chutes de blocs à l'amont et des glissements spontanés sur sa partie aval.
- La route Moudon – Montet (Glâne, FR) (périmètre 8103) menacée pas des chutes de blocs.
- Le versant des Roches à Chabrey et Champmartin (périmètres 6041 et 6044) affecté par l'érosion régressive du versant aval.
- Un tronçon de la route Moudon – Montet (FR) (périmètre 8103) affecté en amont et en aval par des glissements spontanés. Suite aux intempéries de 2013, l'accotement de la route a d'ailleurs été partiellement emporté par un glissement spontané.

9. Mesures de protection

9.1 Mesures de protection existantes

Toutes les mesures de protection existantes observées sur le terrain lors de la cartographie des phénomènes ont été relevées sur la fiche de scénario. Seuls les ouvrages importants ont été cartographiés et intégrés dans la base de données SIG. Sur l'ensemble du lot Broye, relativement peu d'ouvrages concernant les aléas géologiques ont été construits. Tous les ouvrages observés dans les périmètres d'étude ont été cartographiés.

9.2 Mesures de protection envisageables

Les mesures de protection envisageables sont des propositions conceptuelles sur la base des points faibles identifiés lors de la cartographie des dangers naturels. Une étude de détail de chacun de ces points faibles est nécessaire pour définir les objectifs précis de protection, évaluer les risques et les solutions de sécurisation à mettre en place.

Le tableau suivant constitue la synthèse des principales mesures de sécurisation envisageables. Il ne reprend que les zones où des enjeux comprenant des bâtiments et/ou des routes d'importance peuvent être atteints par des dangers naturels et engendrer des dégâts.

Tableau 6 : Tableau des mesures recommandées par commune.

Commune	Périmètres	Aléa	Nom Local	Description
Avenches	6022	CPB	La Cabutse – Le Moulin	Fosse de réception et purges occasionnelles des éléments instables
Avenches	6023	CPB	Les Isérables	Purges, ancrages et soutènements
Cudrefin	6040	CPB	Vers le Gibet – Champs qui montent	Fosse de réception et digue en pied de versant forestier
Jorat-Menthue	8108	CPB	Route Sottens - Moudon	Réaliser des purges régulières (~10 ans) et couper les gros arbres au sommet de la falaise et arracher les petits dans les fissures (~5 ans).
Jorat-Menthue	8108	GSS	Route Sottens - Moudon	Déverser les eaux de la route au fond du vallon et non en bordure aval de la route.
Moudon	8103	CPB	Route de Montet	Purges, filets et soutènements
Moudon	8047	CPB	Le Bourg	Purges occasionnelles des éléments mobilisables ; fosse de réception et digue localement ; entretien des soutènements
Vully-les-Lacs	6034 – 6076	CPB	Les Roches – Grandes Vignes - Guévaux	Entretien de la forêt protectrice, ne pas infiltrer les eaux claires et de ruissellement en amont du versant forestier pour limiter les glissements spontanés ; localement filet haute énergie
Vully-les-Lacs	6031 - 6060	CPB	Les Marnes à Constantine – Les Rintses – Grandes Vignes	Etude de détail pour définir les zones les plus critiques et les ouvrages de protection appropriés (p. ex. purges occasionnelles, ancrages, soutènements, gunitage)
Vully-les-Lacs	6060	CPB	Eglise Saint-Séverin à Cotterd	Renforcer et étendre la sécurisation actuelle ; suivi géodésiques par géomètre

Vully-les-Lacs	6060	GPP	Eglise Saint-Séverin à Cotterd	Investigation de détail, surveillance géodésique par géomètre ou suivi radar « INSAR » et évt. drainage et soutènement
Moudon - Trey	multiples	LTO	Versants raides de la plaine de la Broye	Entretien des cours d'eau, entretien de la forêt (évacuation du bois mort), canalisations sous routes élargies.

10. Conclusion

L'établissement des cartes de dangers géologiques gravitaires pour le lot 68 Broye a été réalisé entre 2010 et 2014 sur un territoire d'une surface totale de 390 km², dont environ le quart est couvert par la carte de dangers naturels au moyen de périmètres de dangers naturels (PDN). Préalablement à la présente étude, un processus participatif a été mis en place par le Canton de Vaud et les communes vaudoises concernées de manière à sélectionner ces périmètres d'étude en fonction des enjeux territoriaux et de leur exposition aux dangers naturels, déterminée à partir des cartes indicatives réalisées par l'IGAR en 2007. Au cours de la présente étude, des zones initialement considérées comme non exposées aux dangers ou à faibles enjeux ont été proposées par CSD et ajoutées aux périmètres d'étude. Au total, les périmètres d'étude couverts par les cartes de danger totalisent 92 km².

Les cartes de dangers géologiques gravitaires ont été réalisées en utilisant les données mises à la connaissance de CSD, qu'elles soient techniques, écrites ou orales. Les événements historiques et les études antérieures ont été pris en compte lorsqu'ils ont pu être retrouvés et mis à notre connaissance. Les informations transmises lors des séances de travail avec les communes du lot ont généralement été de très haute qualité et ont permis d'affiner et moduler les appréciations de terrain ainsi que les calculs et modélisations ultérieurs.

La totalité du territoire d'étude dans les PDN a été cartographiée sur le terrain, de manière exhaustive, par des géologues spécialisés dans les dangers naturels. L'ensemble des relevés a fait l'objet d'une digitalisation afin de constituer une base de données complète sur Système d'Information Géographique, utilisable pour les étapes suivantes. Cette base de données consultable renseigne toutes les informations nécessaires à l'établissement des cartes de dangers naturels.

Du fait de sa morphologie et de ses caractéristiques géologiques, le territoire du Lot 68 Broye est peu exposé aux dangers naturels géologiques gravitaires. Les périmètres d'étude sont touchés à moins de 20% par au moins un danger parmi les phénomènes de chutes de pierres, de glissements permanents, de glissements spontanés et de laves torrentielles.

Le danger rouge concerne 2 % des périmètres étudiés, tous aléas confondus. Le plus fort contributeur de danger rouge est le phénomène de chutes de pierres, pourtant peu présent en général sur ce territoire, excepté dans les pentes raides de la vallée de la Broye, dans l'escarpement des rives du Lac de Neuchâtel dans la région de Cudrefin, et dans les coteaux du Vully.

Les glissements de terrain, permanents et spontanés, sont les plus représentés sur le territoire. Les glissements permanents ont des niveaux de dangers généralement faibles. Ils sont répartis sur tout le territoire étudié. Ils proviennent généralement de la déstabilisation du versant morainique par l'alimentation en eau souterraine de la molasse gréseuse sur la molasse marneuse.

Les glissements spontanés sont sous-représentés car ils touchent majoritairement des zones de forte pente, non construites, et donc non couvertes par des périmètres d'étude. Il s'agit pourtant du phénomène le plus présent sur l'ensemble du territoire du lot 68.

Les laves torrentielles sont à considérer comme un phénomène marginal sur la zone étudiée, même si elles peuvent entraîner quelques zones de danger élevé dans les talwegs des flancs raides de la vallée de la Broye.


Sept points critiques nécessitant des analyses complémentaires et/ou des mesures de protection ont été identifiés sur les communes de Vully-les-Lacs, Cudrefin, Moudon, Lucens, Valbroye, Trey et Sottens.

Une liste des zones présentant des déficits de protection a également été identifiée et une série de mesures de protection a été proposée pour y remédier.

Les évaluations de danger prenant en compte les temps de retour élevés (période de retour supérieure à 100 et 300 ans) sont réalisées sur base des conditions climatiques actuelles. Les changements climatiques potentiels à long terme pourraient modifier certains paramètres de base des scénarios. Une mise à jour dans des délais raisonnables (entre 10 et 30 ans par exemple), en fonction de l'évolution des processus naturels, des nouveaux événements mais aussi des méthodologies d'étude, doit être programmée.

Le travail réalisé constitue une étude générale des dangers, dont les produits cartographiques ne sont pas adaptés à l'échelle parcellaire. Ces résultats doivent être intégrés dans les plans d'aménagements (PGA, PPA, PQ) afin d'être directement utilisables pour l'aménagement du territoire.

CSD INGENIEURS SA



pp. Renaud Chantry



pp. Jean-François Brodbeck

Lausanne, juin 2015

COLLABORATEUR(S) CHARGÉ(S) DE L'ÉTUDE

Renaud Chantry, ingénieur géologue, dipl. Ulg, géologue dipl. UCL

Jean-François Brodbeck, géologue dipl. UNIL

Lionel Kopp, géologue, dipl. UNINE, EPFL

Jérôme Dubois, ingénieur géologue, dipl. UNIL, EPFL

Sacha Gaillet, géologue, dipl. IGAR, UNIL

Antoine Quilichini, géologue dipl. UNIL

Andrea Pedrazzini, Docteur ès sciences, géologue, UNIL (actuellement : Géologue Canton du Jura)

Benoit Fragnol, géologue, dipl. UJF (actuellement : Géologue indépendant)

ANNEXE A DESCRIPTION DES FICHES DE SCÉNARIO

DESCRIPTION DES FICHES DES SCENARIOS

Ces explications servent à comprendre et utiliser les fiches de scénario. Chaque champ présent sur une fiche de scénario est décrit ci-dessous dans l'ordre d'apparition. Plusieurs champs *Remarque* apparaissent avec le même nom et sont donc décrits selon leur position (certaines remarques n'apparaissent que si le champ est rempli).

Sur chaque fiche, une carte indique le danger lié au scénario (entouré d'un liseré vert) ainsi que les autres dangers du même aléa dans les environs (rouge, bleu, jaune et hachurés jaune pour des dangers respectivement élevés, moyens, faibles et résiduels). Le scénario est représenté par le symbole **S** pour les CPB, **S** GPP, **S** GSS et **S** LTO. Son numéro est indiqué à côté.

1. Chutes de pierres et blocs

Code Scénario : Identifiant unique définissant le scénario, construit de la manière suivante : N° du lot-code aléa-numéro de scénario (les scénarios 1 à 1000 existaient avant ce mandat).

Accès à la zone source : Indication sur la possibilité pour le géologue de se rendre à la zone source et d'y faire les observations voulues.

Remarque : Ce champ apparaît uniquement s'il n'est pas vide. Informations générales, remarque concernant l'accès à la zone source et référence CSD de tous les aléas concernés par cette fiche de scénario.

Localisation : Coordonnées (système suisse CH1903) et altitude (msm) de la zone où s'applique le scénario. Elles sont calculées au droit du point représenté sur la carte par le symbole **S**.

Commune : Commune touchée par l'aléa décrit dans la fiche de scénario. Un même scénario pouvant s'appliquer à une zone géographique étendue, une seule commune a dès lors été retenue.

Périmètre : Périmètre touché par l'aléa. Un même scénario pouvant s'appliquer à une zone géographique étendue, un seul numéro de périmètre a dès lors été retenu.

Date : Date à laquelle a été créée l'entité SIG (carte des phénomènes) concernée.

Géologue : Initiales du géologue en charge de l'aléa et de son scénario lors de l'étude.

Type de fichier « forme » : Information sur le fichier de forme SIG du phénomène (polygone, ligne ou point).

Référence CSD : Attribut du fichier de forme (carte des phénomènes) sur lequel est lié le scénario.

Description : Champ contenant la description générale du scénario et les différentes hypothèses concernant un événement potentiel.

Événements recensés : Informations sur les événements recensés ayant un lien avec l'aléa.

Identification des phénomènes et processus potentiels

Morphologie : Informations sur la morphologie générale de l'aléa.

Zone source – Géologie : Informations sur la géologie de la zone source (falaise).

Zone source – Typologie : Information sur le type de zone source. Falaise signifie que la zone source est un escarpement rocheux, indépendamment de sa hauteur.

Zone source – Hauteur falaise [m] : Information sur la hauteur de la falaise.

Zone source – Mécanisme de rupture : Liste des mécanismes de ruptures possibles sur la zone source.

Zone source – Densité de fracturation : Evaluation de la densité de fracturation de la roche.

Zone source – Traces d'activité : Indications sur les traces existantes sur la zone source (et dans la zone de transit).

Zone source – Familles de discontinuités : Nombre de discontinuités principales recensées sur la zone source.

Zone source – Orientation stratigraphique : Indication sur la stabilité dépendant de l'orientation et la pente de la stratigraphie.

Zone source – Type de sol au 1^{er} impact : Information sur le type de sol au pied de la zone source, utile pour comprendre l'atténuation du premier rebond.

Zone de transit – Typologie : Information sur le type de la zone de transit.

Zone de transit – Pente [°] : Information sur la pente de la zone de transit.

Zone de dépôt – Typologie : Information sur le type de la zone de dépôt.

Zone de dépôt – Taille des pierres et blocs : Evaluation de la taille maximale des pierres et blocs observés dans la zone de dépôt.

Remarque : Ce champ apparaît uniquement s'il n'est pas vide. Informations générales sur les caractéristiques du phénomène et du processus potentiel.

Éléments déterminants identifiés et zone d'effet

Facteurs atténuants : Principaux facteurs augmentant la sécurité l'aléa, avec l'ampleur de son effet.

Facteurs aggravants : Principaux facteurs diminuant la sécurité l'aléa, avec l'ampleur de son effet.

Facteurs déclenchants : Principaux facteurs augmentant la probabilité de départ de l'aléa, avec l'ampleur de son effet.

Volumes et formes déterminants

Fréquence : Classes de temps de retour de chute de pierres et blocs adaptées à la matrice de danger. La classe de 0 à 1 an a été ajoutée pour caractériser les falaises très actives.

Volume de l'instabilité (m) : Estimation du volume maximal des instabilités, c'est-à-dire de la masse susceptible de tomber en une fois.

Volume des pierres ou blocs (m) : Estimation du volume maximal des pierres ou blocs, c'est-à-dire des entités qui se propagent après le premier rebond. La différence entre le volume de l'instabilité et des pierres ou blocs apparaît quand l'instabilité se brise au premier impact.

Forme : Description de la forme des pierres ou des blocs susceptibles de se propager (Isométrique = pas d'allongement ni d'aplatissement des blocs ; Plaque = blocs aplatis ; Colonne = blocs allongés).

Remarques : Informations complémentaires sur les champs pour la fréquence donnée.

Identifiant : Nom du scénario à un temps de retour donné (nom principal du scénario avec un suffixe compris entre a et d).

Tendance de la matrice à surévaluer le danger : Estimation du géologue dans les cas où la couleur donnée par la matrice de danger reflète pas le niveau de danger réel.

Ouvrages de protection et objets à risque

Type d'ouvrage : Informations sur les ouvrages de protection construits pour sécuriser l'aléa.

Efficacité de l'ouvrage : Information sur l'efficacité de l'ouvrage.

Objets exposés : Information sur les enjeux matériels exposés.

Type de dommages : Liste des dommages observés par le géologue, si aucune mention ne rapporte à un dommage potentiel.

Proposition de nouvelles mesures de protection : Proposition du géologue de construire des nouvelles mesures de protection (valeur indicative).

Recommandations : Proposition du géologue de prendre des mesures pour augmenter la sécurité (valeur indicative).

Mesures simples pouvant diminuer le danger : Liste des mesures simples qui, une fois prises, permettent de diminuer la couleur du danger.

Proposition d'analyse de détail : Proposition de CSD de fournir une étude plus détaillée, à confirmer par le maître d'ouvrage.

Scénario étudié

Autre phénomène pris en compte : Champ recensant les autres phénomènes pris en compte pour l'élaboration du présent scénario.

Facteurs pris en compte : Liste des facteurs pris en compte, ou non retenus pour l'élaboration du présent scénario.

Ouvrages de protection pris en compte : Liste des ouvrages de protection pris en compte pour l'élaboration du présent scénario. Les ouvrages ne sont normalement pas pris en compte, à part s'ils augmentent le danger ou si leur morphologie intervient à long terme sur la propagation de l'aléa.

2. Glissements permanents

Code Scénario : Identifiant unique définissant le scénario, construit de la manière suivante : N° du lot-code aléa-numéro de scénario (les scénarios 1 à 1000 existaient avant ce mandat).

Remarque : Ce champ apparaît uniquement s'il n'est pas vide. Informations générales et référence CSD de tous les aléas concernés par cette fiche de scénario.

Localisation : Coordonnées (système suisse CH1903) et altitude (msm) de la zone où s'applique le scénario. Elles sont calculées au droit du point représenté sur la carte par le symbole **S**.

Commune : Commune touchée par l'aléa décrit dans la fiche de scénario. Un même scénario pouvant s'appliquer à une zone géographique étendue, une seule commune a dès lors été retenue.

Périmètre : Périmètre touché par l'aléa. Un même scénario pouvant s'appliquer à une zone géographique étendue, un seul numéro de périmètre a dès lors été retenu.

Date : Date à laquelle a été créée l'entité SIG (carte des phénomènes) concernée.

Géologue : Géologue en charge de l'aléa et de son scénario.

Type de fichier « forme » : Information sur le fichier de forme SIG du phénomène (polygone, ligne ou point).

Référence CSD : Attribut du fichier de forme (carte des phénomènes) sur lequel est lié le scénario.

Description : Champ contenant le feeling général du géologue sur l'aléa concerné, ainsi que ses points clés. Sorte de résumé de la fiche du scénario.

Événements recensés : Informations sur les événements recensés ayant un lien avec l'aléa.

Identification des phénomènes et processus potentiels

Géologie : Informations sur la géologie affectant le glissement.

Morphologie : Informations sur la morphologie générale de l'aléa ou de la zone.

Moteur : Moteur principal du mouvement (Erosion du pied = pied du glissement érodé par un cours d'eau ; Intrinsèque = mis en mouvement par la pente et la circulation d'eau ; Mixte = Combinaison des deux facteurs)

Mouvement différentiel de la masse : Indication sur la possibilité que le glissement comporte des zones plus actives que d'autre et ne glisse pas uniformément.

Alimentation souterraine : Indication sur la possibilité d'existence de sous-alimentation en eau dans le glissement.

Influence anthropique : Information sur la possibilité que les ouvrages anthropiques influence le glissement.

Remarque : Description de l'influence anthropique citée au champ ci-dessus.

Surface de glissement : Information sur la complexité du plan de glissement (Simple = une seule surface de glissement ; Multiple = plusieurs surfaces à des profondeurs différentes affectent le glissement).

Activité par phase : Information sur la possibilité que le glissement ait une vitesse suffisamment variable dans le temps pour être mentionnée.

Risque d'accélération ou de réactivation : Evaluation de la probabilité que le glissement accélère (ou s'active en cas de glissement stabilisé) sans modification fondamentale des conditions climatiques et anthropiques.

Remarque : Ce champ apparaît uniquement s'il n'est pas vide. Informations générales sur les caractéristiques du phénomène.

Éléments déterminants identifiés et zone d'effet

Facteurs atténuants : Principaux facteurs augmentant la sécurité l'aléa, avec l'ampleur de son effet.

Facteurs aggravants : Principaux facteurs diminuant la sécurité l'aléa, avec l'ampleur de son effet.

Facteurs accélérateurs : Principaux facteurs augmentant la vitesse de glissement, avec l'ampleur de son effet.

Profondeur et vitesse du glissement

Vitesse : Estimation de la vitesse moyenne (sur au moins 10 ans) du glissement séparée en classes. La vitesse précise est mentionnée si elle est connue.

Profondeur : Estimation de la profondeur maximale du glissement séparée en classes. La vitesse précise est mentionnée si elle est connue.

Remarque : Ce champ apparaît uniquement s'il n'est pas vide. Informations générales sur la vitesse et la profondeur du glissement.

Ouvrages de protection et objets à risque

Type d'ouvrage : Informations sur les ouvrages de protection construits pour sécuriser l'aléa.

Efficacité de l'ouvrage : Information sur l'efficacité de l'ouvrage.

Objets exposés : Information sur les enjeux matériels exposés.

Type de dommages observés : Liste des dommages observés par le géologue.

Proposition de nouvelles mesures de protection : Proposition du géologue de construire des nouvelles mesures de protection (valeur indicative).

Recommandations : Proposition du géologue de prendre des mesures pour augmenter la sécurité (valeur indicative).

Proposition d'analyse de détail : Proposition de CSD de fournir une étude plus détaillée, à confirmer par le maître d'ouvrage.

Scénario étudié

Autre phénomène pris en compte : Champ recensant les autres phénomènes pris en compte pour l'élaboration du présent scénario.

Facteurs pris en compte : Liste des facteurs pris en compte, ou non retenus pour l'élaboration du présent scénario.

Ouvrages de protection pris en compte : Liste des ouvrages de protection pris en compte pour l'élaboration du présent scénario. Les ouvrages ne sont normalement pas pris en compte, à part s'ils augmentent le danger ou si leur morphologie intervient à long terme sur la propagation de l'aléa.

3. Glissement spontané

Code Scénario : Identifiant unique définissant le scénario, construit de la manière suivante : N° du lot-code aléa-numéro de scénario (les scénarios 1 à 1000 existaient avant ce mandat).

Remarque : Ce champ apparaît uniquement s'il n'est pas vide. Informations générales et référence CSD de tous les aléas concernés par cette fiche de scénario.

Localisation : Coordonnées (système suisse CH1903) et altitude (msm) de la zone où s'applique le scénario. Elles sont calculées au droit du point représenté sur la carte par le symbole **S**.

Commune : Commune touchée par l'aléa décrit dans la fiche de scénario. Un même scénario pouvant s'appliquer à une zone géographique étendue, une seule commune a dès lors été retenue.

Périmètre : Périmètre touché par l'aléa. Un même scénario pouvant s'appliquer à une zone géographique étendue, un seul numéro de périmètre a dès lors été retenu.

Date : Date à laquelle a été créée l'entité SIG (carte des phénomènes) concernée.

Géologue : Géologue en charge de l'aléa et de son scénario.

Type de fichier « forme » : Information sur le fichier de forme SIG du phénomène (polygone, ligne ou point).

Référence CSD : Attribut du fichier de forme (carte des phénomènes) sur lequel est lié le scénario.

Description : Champ contenant le feeling général du géologue sur l'aléa concerné, ainsi que ses points clés. Sorte de résumé de la fiche du scénario.

Événements recensés : Informations sur les événements recensés ayant un lien avec l'aléa.

Identification des phénomènes et processus potentiels

Géologie : Informations sur la géologie affectant le glissement.

Morphologie : Informations sur la morphologie générale de l'aléa ou de la zone.

Pente : Estimation de la pente (moyenne ou fourchette) dans la zone de glissement potentiel.

Utilisation du sol : Informations sur l'utilisation du sol concerné par le potentiel de glissement spontané.

Moteur : Moteur principal du mouvement (Erosion du pied = pied du glissement érodé par un cours d'eau ; Intrinsèque = mis en mouvement par la pente et la circulation d'eau ; Mixte = Combinaison des deux facteurs)

Alimentation souterraine : Indication sur la possibilité d'existence de sous-alimentation en eau dans le glissement.

Influence anthropique : Information sur la possibilité que les ouvrages anthropiques influence le glissement.

Indices de susceptibilité :

Cheminevements de vache : Ampleur des traces de cheminevements de vache, caractéristiques des sols susceptibles aux glissements spontanés.

Trace d'anciens GS : Nombre de traces d'anciens glissements spontanés visibles dans la zone de glissement potentiel.

Taille des anciens GS :

Largeur : Largeur maximale des anciens glissements spontanés visibles.

Profondeur : Profondeur maximale des anciens glissements spontanés visibles.

Remarque : Ce champ apparait uniquement s'il n'est pas vide. Informations générales sur les caractéristiques du phénomène.

Éléments déterminants identifiés et zone d'effet

Facteurs atténuants : Principaux facteurs augmentant la sécurité l'aléa, avec l'ampleur de son effet.

Facteurs aggravants / déclenchants : Principaux facteurs diminuant la sécurité l'aléa, avec l'ampleur de son effet.

Profondeur et hauteur du glissement spontané, de la coulée de terre ou de boue

Épaisseur de la couche mobilisable : Estimation de l'épaisseur de terrain meuble mobilisable par un glissement. Si aucune information n'est disponible, la valeur de 1.5 m est attribuée.

Épaisseur du dépôt ou de la coulée : Estimation de l'épaisseur maximale du dépôt potentiel, s'il est possible de l'évaluer grâce aux dépôts visibles.

Classe de prédisposition : Evaluation de la classe de prédisposition définie par la matrice de danger (en cours de validation)

Temps de retours / information sur la probabilité : Estimation des temps de retours ou de la probabilité de déclenchement de glissement spontané dans la zone potentielle.

Tendance de la matrice à surévaluer le danger : Avis du géologue concernant la pertinence de l'attribution du danger par la matrice.

Remarque : Ce champ apparait uniquement s'il n'est pas vide. Informations générales sur la hauteur, la profondeur et la probabilité de glissement.

Ouvrages de protection et objets à risque

Type d'ouvrage : Informations sur les ouvrages de protection construits pour sécuriser l'aléa.

Efficacité de l'ouvrage : Information sur l'efficacité de l'ouvrage.

Objets exposés : Information sur les enjeux matériels exposés.

Type de dommages observés : Liste des dommages observés par le géologue.

Proposition de nouvelles mesures de protection : Proposition du géologue de construire des nouvelles mesures de protection (valeur indicative).

Recommandations : Proposition du géologue de prendre des mesures pour augmenter la sécurité (valeur indicative).

Proposition d'analyse de détail : Proposition de CSD de fournir une étude plus détaillée, à confirmer par le maître d'ouvrage.

Scénario étudié

Autre phénomène pris en compte : Champ recensant les autres phénomènes pris en compte pour l'élaboration du présent scénario.

Facteurs pris en compte : Liste des facteurs pris en compte, ou non retenus pour l'élaboration du présent scénario.

Ouvrages de protection pris en compte : Liste des ouvrages de protection pris en compte pour l'élaboration du présent scénario. Les ouvrages ne sont normalement pas pris en compte, à part s'ils augmentent le danger ou si leur morphologie intervient à long terme sur la propagation de l'aléa.

4. Laves torrentielles

Code Scénario : Identifiant unique définissant le scénario, construit de la manière suivante : N° du lot-code aléa-numéro de scénario (les scénarios 1 à 1000 existaient avant ce mandat).

Accès à la zone source : Indication sur la possibilité pour le géologue de se rendre à la zone source et d'y faire les observations voulues.

Remarque : Ce champ apparaît uniquement s'il n'est pas vide. Informations générales, remarque concernant l'accès à la zone source et référence CSD de tous les aléas concernés par cette fiche de scénario.

Localisation : Coordonnées (système suisse CH1903) et altitude (msm) de la zone où s'applique le scénario. Elles sont calculées au droit du point représenté sur la carte par le symbole **S**.

Commune : Commune touchée par l'aléa décrit dans la fiche de scénario. Un même scénario pouvant s'appliquer à une zone géographique étendue, une seule commune a dès lors été retenue.

Périmètre : Périmètre touché par l'aléa. Un même scénario pouvant s'appliquer à une zone géographique étendue, un seul numéro de périmètre a dès lors été retenu.

Date : Date à laquelle a été créée l'entité SIG (carte des phénomènes) concernée.

Géologue : Initiales du géologue en charge de l'aléa et de son scénario lors de l'étude.

Type de fichier « forme » : Information sur le fichier de forme SIG du phénomène (polygone, ligne ou point).

Référence CSD : Attribut du fichier de forme (carte des phénomènes) sur lequel est lié le scénario.

Description : Champ contenant la description générale du scénario et les différentes hypothèses concernant un événement potentiel.

Événements recensés : Informations sur les événements recensés ayant un lien avec l'aléa.

Identification des phénomènes et processus potentiels

Morphologie : Informations sur la morphologie générale de la zone source, de la zone de transit et de la zone de dépôt de l'aléa.

Géologie : Informations sur la géologie de la zone source et de la zone de transit.

Largeur du chenal (m) : Informations sur la largeur du chenal en mètres.

Longueur du chenal (m) : Informations sur la longueur du chenal en mètres.

Estimation du volume mobilisable dans le chenal (milliers de m³) : Estimation du géologue du volume mobilisable dans le chenal, c'est-à-dire le volume maximal mobilisable par une seule lave torrentielle. Le volume est donné en milliers de mètres cubes.

Estimation du volume du cône de déjection (milliers de m³) : Estimation du géologue du volume du cône de déjection, il correspond à la somme des dépôts des précédentes laves torrentielles. Le volume est donné en milliers de mètres cubes.

Estimation du volume mobilisable dans le reste du bassin versant (milliers de m³) : Estimation du géologue du volume mobilisable dans tout le bassin versant, il correspond au volume mobilisable à long terme. Le volume est donné en milliers de mètres cubes.

Estimation de la granulométrie : Informations sur la granulométrie du dépôt.

Remarque : Ce champ apparait uniquement s'il n'est pas vide. Informations générales sur les caractéristiques du phénomène et du processus potentiel.

Éléments déterminants identifiés et zone d'effet

Facteurs atténuants : Principaux facteurs augmentant la sécurité l'aléa, avec l'ampleur de son effet.

Facteurs aggravants : Principaux facteurs diminuant la sécurité l'aléa, avec l'ampleur de son effet.

Facteurs déclenchants : Principaux facteurs augmentant la probabilité de départ de l'aléa, avec l'ampleur de son effet.

Volumes et formes déterminants

Fréquence : Classes de temps de retour de chute de pierres et blocs adaptées à la matrice de danger.

Vitesse d'écoulement (m/s) : Estimation de la vitesse d'écoulement maximale des laves torrentielles dans la zone de transit.

Hauteur maximale du dépôt (m) : Estimation de la hauteur maximale du dépôt susceptible de se créer aux différents temps de retour.

Remarques : Informations complémentaires sur les champs pour la fréquence donnée.

Identifiant : Nom du scénario à un temps de retour donné (nom principal du scénario avec un suffixe compris entre a et d).

Ouvrages de protection et objets à risque

Type d'ouvrage : Informations sur les ouvrages de protection construits pour sécuriser l'aléa.

Efficacité de l'ouvrage : Information sur l'efficacité de l'ouvrage.

Objets exposés : Information sur les enjeux matériels exposés.

Type de dommages : Liste des dommages observés par le géologue, si aucune mention ne rapporte à un dommage potentiel.

Proposition de nouvelles mesures de protection : Proposition du géologue de construire des nouvelles mesures de protection (valeur indicative).

Tendance de la matrice à surévaluer le danger : Estimation du géologue dans les cas où la couleur donnée par la matrice de danger de reflète pas le niveau de danger réel.

Recommandations : Proposition du géologue de prendre des mesures pour augmenter la sécurité (valeur indicative).

Proposition d'analyse de détail : Proposition de CSD de fournir une étude plus détaillée, à confirmer par le maître d'ouvrage.

Scénario étudié

Autre phénomène pris en compte : Champ recensant les autres phénomènes pris en compte pour l'élaboration du présent scénario.

Facteurs pris en compte : Liste des facteurs pris en compte, ou non retenus pour l'élaboration du présent scénario.

Ouvrages de protection pris en compte : Liste des ouvrages de protection pris en compte pour l'élaboration du présent scénario. Les ouvrages ne sont normalement pas pris en compte, à part s'ils augmentent le danger ou si leur morphologie intervient à long terme sur la propagation de l'aléa.

CPB - chutes de pierres et blocs

<p>Code scénario 68-CPB-1037 Accès à la zone source Complet</p>	<p>Localisation, X / Y / Z 553701 / 173430 / 544 Commune Lucens Périmètre 8056 Date 17.04.2012 Géologue SGT Type de fichier « forme » Surface</p>
<p>Description : Versant forestier raide à Molasse burdigalienne subaffleurante ou affleurante sujet aux CPB (également en cas de GS ou de chutes d'arbres)</p>	
<p>Evènements recensés : Non</p>	

Identification des phénomènes et processus potentiels

<p>Morphologie Versant forestier raide à Molasse subaffleurante et avec plusieurs escarpements molassiques</p>	<p>Géologie Molasse du burdigalien affleurante ou subaffleurante</p>
<p>Typologie Hauteur falaise [m] 2-7m</p>	<p>Falaises et versant forestier à Molasse subaffleurante</p>
<p>Mécanisme de rupture</p>	<p>Remobilisation Oui Décrochement Oui Surplomb Oui Basculement Oui Complexe Non</p>
<p>Zone source</p>	<p>Glissement dièdre Non Glissement plan Non Flambage Non Diffus Non Non déterminé Non</p>
<p>Zone de transit</p>	<p>Densité de fracturation Faible Traces d'activité Récentes Familles de discontinuités 2 Orientation stratigraphie Plutôt défavorable au glissement Type de sol au 1er impact Sol forestier</p>
<p>Zone de dépôt</p>	<p>Typologie Pente [°] >33° Typologie Taille des pierres et blocs Non Renseigné Forêt</p>
<p>Remarque : CPB également en cas de GS, chutes d'arbres ou de passages de gibiers</p>	

Eléments déterminants identifiés et zone d'effet

<p>Facteurs atténuants Type Forêt</p>	<p>Effet Elevé</p>
<p>Facteurs aggravants Circulations souterraines Infiltration des eaux de ruissellement et des eaux claires</p>	<p>Elevé Moyen</p>
<p>Facteurs déclenchants Chutes d'arbres GS Descellement par végétation Passages de gibiers</p>	<p>Elevé Elevé Elevé Faible</p>

Volumes et formes déterminants

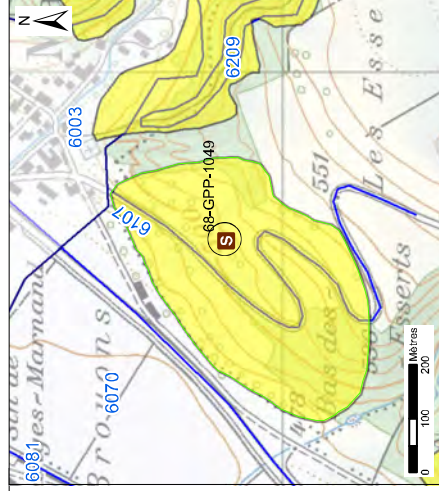
Fréquence	Volume de l'instabilité (m3)	Volume des pierres ou blocs (m3)	Forme	Remarques	Identifiant
0 - 1 an	Non Renseigné	0.05	Plaque	desquamation principalement	68-CPB-1037-a
1 - 30 ans	1.5	0.4	Isométrique	Non renseigné	
30 - 100 ans	5	1.2	Isométrique	Non renseigné	68-CPB-1037-b
100 - 300 ans	20	5	Isométrique	Non renseigné	68-CPB-1037-c
> 300 ans	Non renseigné	Non renseigné		Non renseigné	68-CPB-1037-d

Tendance de la matrice à surévaluer le danger : Non

Non

Ouvrages de protection et objets à risque

<p>Type d'ouvrage Aucun</p>
<p>Efficacité de l'ouvrage Non renseigné</p>
<p>Objets exposés Différentes routes, chemins forestiers et habitations</p>
<p>Type de dommages Aucun</p>
<p>Proposition de nouvelles mesures de protection Aucune</p>
<p>Recommandations claires en amont Entretien forêt protectrice et ne pas infiltrer les eaux de ruissellement et les eaux</p>
<p>Mesures simples pouvant diminuer le danger Fosse du côté amont des routes Oui</p>
<p>Proposition d'analyse de détail Non</p>
<p>Scénario étudié Ev. GS</p>
<p>Autres phénomènes pris en compte Tous les facteurs liés à l'eau et les facteurs déclenchants</p>
<p>Facteurs pris en compte Aucun</p>
<p>Ouvrages de protection pris en compte Aucun</p>



Code scénario 68-GPP-1049
Accès à la zone source Analyse rapide

Localisation, X / Y / Z 558685 / 178104 / 511

Commune Villarzel

Périmètre 6107

Date

Géologue APE

Type de fichier « forme » Surfaccique

Description Glissement permanent peu actif avec zones plus actives à l'intérieur de la masse instable.

Evènements recensés Non

Éléments déterminants identifiés et zone d'effet

Facteurs atténuants	Type	Effet
Drainage de la route bien fait		Faible
Facteurs aggravants	Non renseigné	
Facteurs accélérants	Fortes pluies prolongées	Moyen

Profondeur et vitesse du glissement

Vitesse	Peu actif (<2cm/an)
Profondeur	Moyen (2-10m)
Tendance de la matrice à surévaluer le danger :	Non

Identification des phénomènes

Géologie	20-30 m de moraine sur sillon graveleux d'Henniez.
Morphologie	Morphologie ondulée avec bourlets bien visibles.
Moteur	Intrinsèque
Mouvement différentiel dans la masse	Oui Remarques : Zones superficielles localement actives
Alimentation souterraine	Plutôt oui
Influence anthropique	Plutôt non Remarque : Changement des écoulements des eaux à cause de la route
Surface de glissement	Multiple
Activité par phase	Plutôt oui
Risque d'accélération ou de réactivation	Moyen

Ouvrages de protection et objets à risque

Type d'ouvrage	Aucun
Efficacité de l'ouvrage	Non renseigné
Objets exposés	Route cantonale
Type de dommages induits	Localement fissuration
Proposition de nouvelles mesures de protection	Non
Recommandations :	Non renseigné
Proposition d'analyse de détail	Non
Scénario étudié	
Autre phénomène pris en compte	
Facteurs pris en compte	Facteurs liés à l'eau
Ouvrages de protection pris en compte	Aucun

GSS - Glissement spontané

Code scénario	68-GSS-1050
Accès à la zone source	Analyse rapide
Localisation, X / Y / Z	564664 / 197965 / 461
Commune	Vully-les-Lacs
Périmètre	6044
Date	12.04.2012
Géologue	SGT
Type de fichier « forme »	Surfacique

Description: Versant forestier en forte pente sujets aux GS potentiels avec quelques traces récentes ou végétalisées

Evènements recensés	Non
---------------------	-----

Identification des phénomènes et processus potentiels

Géologie	Molasse aquitainienne subaffleurrante et voiles d'éboulis	
Morphologie	Pente boisée	
Pente [°]	>20°	
Utilisation du sol	Aucune	
Moteur	Saturation	
Alimentation souterraine	Plutôt oui	
Influence anthropique	Oui Remarque : Infiltration des eaux de ruissellement et des eaux claires	
Indices de susceptibilité	Cheminevements de vache	Nul
	Traces d'anciens GS	multiples
Potentiel de coulée boueuse	Largueur [m]	5-20m
	Profondeur [m]	0.5-1.2m

Eléments déterminants identifiés et zone d'effet

Facteurs atténuants	Type	Effet
	Replat Grande Carrière (pas de propagation) Forêt	Elevé Faible
Facteurs aggravants/déclenchants	Circulations souterraine Infiltration des eaux claires et de ruissellement	Moyen Elevé

Profondeur et hauteur du glissement spontané, de la coulée de terre ou de boue

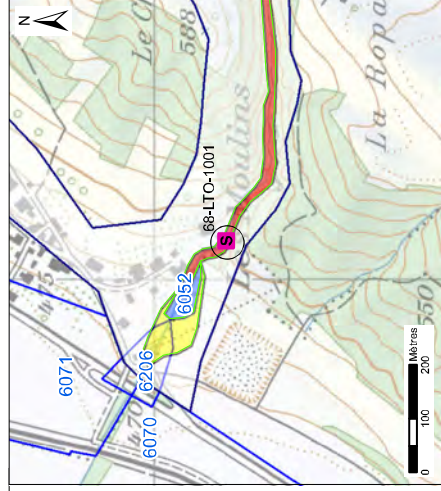
Epaisseur de la couche mobilisable [m]	>2m
Epaisseur du dépôt ou de la coulée	1.0-1.50
Classe de prédisposition	Elevée
Tendance de la matrice à surévaluer le danger :	Non

Ouvrages de protection et objets à risque

Type d'ouvrage	Aucun
Efficacité de l'ouvrage	Non renseigné
Objets exposés	Chemin pédestre et év. quelques habitations en cas d'érosion régressive
Type de dommages induits	Aucun
Proposition de nouvelles mesures de protection	Aucune

Recommandations : Ne pas infiltrer les eaux claires et de ruissellement

Proposition d'analyse de détail	Non	
Scénario étudié	Autre phénomène pris en compte	Aucun
	Facteurs pris en compte	Tous les facteurs liés à l'eau
	Ouvrages de protection pris en compte	Aucun



Code scénario 68-LTO-1001
Accès à la zone source Analyse rapide

Localisation, X / Y / Z 560070 / 179866 / 500

Commune Trey
Périmètre 6052
Date
Géologue BEF
Type de fichier « forme » Linéaire

Description : Ruissseau forestier qui coule sur un lit de grès molassique encaissé. Ses berges sont affectées par des GS. Matériaux graveleux également charriés.

Evènements recensés oui (2006)

Identification des phénomènes et processus potentiels

Morphologie	Zone source	Non déterminé
	Zone de transit	Non déterminé
	Zone de dépôt	Non déterminé
Géologie	Zone source	Molasse burdigalienne gréseuse
	Zone de transit	Molasse burdigalienne gréseuse
Largeur du chenal (m)		2-4 mètres
Longueur du chenal (m)		2-4 mètres
Estimation du volume mobilisable dans le chenal (milliers de m3)		0.5
Estimation du volume du cône de déjection (milliers de m3)		Non renseigné
Estimation du volume mobilisable dans le reste du bassin versant (milliers de m3)		Non renseigné
Estimation de la granulométrie		Non déterminé

Éléments déterminants identifiés et zone d'effet

Type	Effet
Facteurs atténuants	Non renseigné
Facteurs aggravants	Fortes précipitations Arbres qui bouchent le lit du ruisseau (embâcles)
Facteurs déclenchants	Non renseigné
	Elevé Elevé

Volumes et formes déterminants

Fréquence	Vitesse d'écoulement (m/s)	Hauteur maximale du dépôt (m)	Remarques	Identifiant
1 - 30 ans	Non déterminé	0.2	Non renseigné	68-LTO-1001-a
30 - 100 ans	Non déterminé	0.3	Non renseigné	68-LTO-1001-b
100 - 300 ans	Non déterminé	0.5	Non renseigné	68-LTO-1001-c
> 300 ans	Non renseigné	Non renseigné	Non renseigné	

Ouvrages de protection et objets à risque

Type d'ouvrage	Aucun
Efficacité de l'ouvrage	Non renseigné
Objets exposés	Route + habitations
Type de dommages induits	Matériaux qui peuvent atteindre la route ainsi que les habitations.
Proposition de nouvelles mesures de protection	Non renseigné
Tendance de la matrice à surévaluer le danger :	Non

Recommandations Purger régulièrement le chenal (notamment après des événements pluvio-orageux) et nettoyer le sous-bois.

Proposition d'analyse de détail

Scénario étudié	
Autre phénomène pris en compte	GSS
Facteurs pris en compte	Tous
Ouvrages de protection pris en compte	Aucun






ANNEXE B MÉTHODOLOGIE





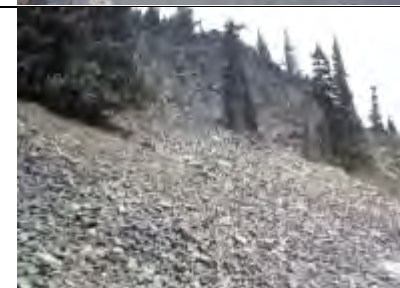

CHUTES DE PIERRES ET BLOCS, EBOULEMENTS, ECGROULEMENTS

Méthodologie		Etappe		Procédure spécifique		Outils employés		Sources		Documents produits		Consultations/Observations	
		<p>Collecte, synthèse et intégration des données disponibles sous SIG, Analyse préliminaire des données et des rapports existants</p> <p>611 des données disponibles</p> <p>Cadastres des Evénements (CEV)</p> <p>612 Evénements (CEV)</p> <p>Cartographie des Phénomènes (CPH)</p> <p>613 Phénomènes (CPH)</p> <p>614 Cartes Indicatives de Dangers (CID)</p> <p>615 description des scénarios</p>		<p>Collecte, synthèse et intégration des données disponibles sous SIG, Analyse préliminaire des données et des rapports existants</p> <p>Contacts avec communes, voyers et ouvriers cantonniers, contacts avec population, Elaboration de documents type (cartes et formulaires) Recolte et formatage des informations Réalisation d'une carte des événements CPB</p> <p>Diagnostic préliminaire, confrontation des données avec le cadastre des événements - Identification du niveau d'info, et de connaissance bon / insuffisant / contradictoire par zone</p> <p>Réalisation de la carte des phénomènes géologiques (CPH) - Identification des zones sources de Chutes de Pierres et Blocs, des couleurs de transit et des zones de dépôt (approche informatique + analyse par photo aérienne et télémétrique)</p> <p>Levé d'identification des phénomènes : vision locale et levé de terrain préliminaire pour tous les dangers géologiques (par périmètre, si nécessaire) + visite avec voyers, personnel d'entretien, etc.</p> <p>Validation des zones sources actives ou potentielles</p> <ul style="list-style-type: none"> - Correction des cartes indicatives (cf 614) - Reconnaissance rapide des sites rocheux in situ - Evaluation préliminaire du danger potentiel/déroulement - Elimination des zones non dangereuses pour CPB <p>Correction des artefacts et des erreurs manifestes lors du levé de terrain (zones sources inexistantes, murs, incohérence ou surévaluation périmètre d'atteinte, ...)</p> <p>Fiche d'évaluation des couples (probabilités de mobilisation / dimension) des différents aléas rocheux, fiches de scénarios T30, T100, T300</p> <ul style="list-style-type: none"> - Influence des facteurs dégradants/déclencheurs/stabilisants - Influence des ouvrages de protection existants (avec/sans) <p>Appréciation des interactions possibles avec d'autres processus</p>		<p>SIG</p> <p>Base de données cadastrales et fiches performantes</p> <p>SIG (outil 3D) Google Earth</p> <p>Investigations géologiques de terrain</p>		<p>Carte géologique, carte des géotypes, cadastre géologique, cartes indicatives IGAR des CPB, études CSO et de tiers, MNT 1m, vecteur25, documents historiques</p> <p>Services techniques et archives communales, particuliers, Canton, mémoire collective, SFFN, Internet, ECA, Communes, Population, Services d'entretien, OFF</p> <p>DATA, Cadastre des événements existant, photos aériennes</p> <p>Carte indicative, carte des phénomènes Rapport technique final IGAR sur CI Vaud</p> <p>Données recueillies et cartes produites précédemment</p>		<p>Couches SIG à usage interne</p> <p>Cadastre (fiches performantes) Carte CEV (format CDN-VD)</p> <p>Carte des phénomènes, selon légende modifiable (OFFEP, 1995)</p> <p>Carte indicative modifiée + tableau récapitulatif des modifications</p> <p>Fiches de scénarios</p>		<p>SESA, SFFN, communes, particuliers, autres bureaux</p> <p>SESA, SFFN (cadastres existants) Importance de la démarche participative avec population</p>	
		<p>Travaux 622 complémentaires de terrain</p> <p>621 Analyse détaillée (option)</p> <p>623 Calculs et modélisation trajectographique</p> <p>627 Analyse complémentaire pour écoulements (option)</p> <p>624 Cartographie des processus (CPR)</p> <p>625 intensités (CIN)</p> <p>626 Définition et cartographie des zones de dangers</p> <p>628 Cartographie des zones de conflits</p> <p>629 Cartographie des mesures de protection</p>		<p>Levé structural expéditif des discontinuités rocheuses Travail de terrain nécessaire à l'analyse détaillée et au paramétrage des modèles d'analyse trajectographique (taille blocs, zone d'atteinte, caractéristiques des zones de transit) Analyse in-situ des facteurs dégradants/déclencheurs</p> <p>Méthodologie Matterock d'analyse des discontinuités du massif rocheux - Paramétrage géométrique / topographique - Définition des scénarios des trajectoires représentatives - Evaluation des métriques d'instabilité, des volumes mobilisables et des caractéristiques des blocs (taille, forme, nombre) - Application de la carte des phénomènes CPH - Evaluation de la probabilité de rupture des différents aléas (= probabilité de mobilisation selon Matterock) + influence des facteurs dégradants/déclencheurs</p> <p>Modélisation 3D sur zones étendues</p> <p>Modélisation 2D sur trajectoires représentatives</p> <p>Calcul des énergies et des probabilités d'atteinte</p> <p>Identification des zones présentant des risques d'éboulement à grande échelle (structure défavorable menant à des glissements plans, obliques ou basculement) et des zones présentant des risques d'écroulement (grande falaise avec pied d'argile, niveau marnoux)</p> <p>Elaboration de la carte des processus (extension spatiale maximale des zones source, zones de transit et zones d'atteinte pour les scénarios de probabilités T30, T100, T300, Text)</p> <p>Réalisation de la carte des intensités d'après les énergies calculées et/ou les résultats de modélisation pour les scénarios de probabilités T30, T100, T300.</p> <p>Etablissement de la carte de danger pour les scénarios de probabilités T30, T100, T300 selon la méthodologie Matterock ou Matterock modifiée (meilleure robustesse - à déterminer d'entente avec le maître d'ouvrage)</p> <p>Principe : Probabilité d'occurrence = probabilité de mobilisation x probabilité d'atteinte (selon matrice type)</p> <p>Danger = ln(probabilité d'occurrence, énergie) selon matrice DN-OFFEP</p> <p>Etablissement de la carte des zones de conflits par croisement entre la carte des dangers et les objectifs de protection des éléments territoriaux</p> <p>Etablissement d'un catalogue de mesures envisageables pour réduire les risques + chiffrage sommaire</p>		<p>Outils de levé structural</p> <p>Méthodologie d'analyse de la probabilité de mobilisation selon Matterock (Crealp) Matterock (Crealp) Dips (Rocscience)</p> <p>SIG Rockyford3D (ecorisQ) Rockyfall (Dr Spang)</p> <p>Matteroff Dips</p> <p>SIG, RockyfordD, Rockyfall</p> <p>SIG, Rockyford3D, Rockyfall</p> <p>SIG</p> <p>SIG, Rockyford3D, Rockyfall</p>		<p>Données recueillies et cartes produites précédemment</p> <p>MNT, données recueillies sur le terrain, cadastre des événements</p> <p>Photo aériennes, analyses de terrain réalisées, MNT, mémoire collective</p> <p>Carte des phénomènes, analyse détaillée, études trajectographiques</p> <p>Carte des processus</p> <p>Carte des intensités</p> <p>Carte des dangers CPB</p> <p>Carte des zones de conflits</p> <p>Carte des mesures de protection envisageables</p>		<p>L'analyse détaillée des secteurs rocheux est une analyse longue et minutieuse pour toutes les zones ne pouvant faire l'objet d'une sélection pour cause et être réalisée à l'étape précédente sur base des éléments décrits.</p> <p>Notes d'analyse détaillée</p> <p>Note de calcul avec indication des paramètres de modélisation</p> <p>Carte des phénomènes + notes de calcul éventuelles</p> <p>Carte des processus</p> <p>Carte des intensités</p> <p>Carte des dangers CPB</p> <p>Carte des zones de conflits</p> <p>Carte des mesures de protection envisageables</p>		<p>Autorités communales et cantonales (SESA, SFFN) pour déterminer les sites faisant l'objet d'une étude détaillée ainsi que les périmètres à cartographier</p> <p>Autorités communales et cantonales (SESA, SFFN) pour déterminer les sites faisant l'objet d'une étude détaillée ainsi que les périmètres à cartographier</p> <p>Autorités communales et cantonales (SESA, SFFN) pour déterminer les sites faisant l'objet d'une étude détaillée ainsi que les périmètres à cartographier</p> <p>Autorités communales et cantonales (SESA, SFFN) pour déterminer les sites faisant l'objet d'une étude détaillée ainsi que les périmètres à cartographier</p>	

Modélisations Rockyfor3D

Annexe I. Examples of parameter values for different slope surface types

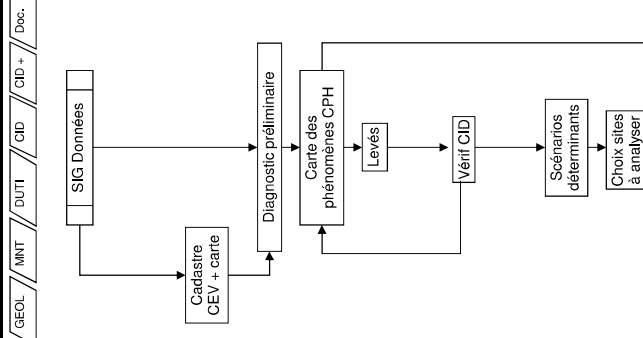
Photo	rg70	rg20	rg10	soiltype
	0	0	0.05	6
	0	0.05	0.1	5
	0.25	0.5	0.9	4
Annexe : Exemples de paramètres pour différents types de surface de pente				
				
	0.05	0.05	0.1	4

	0.05	0.1	0.2	4
	0.03	0.03	0.03	3
	0	0	0.05	3
	0	0	0	7
	0.15	0.15	0.25	4
	0.1	0.35	0.15	4

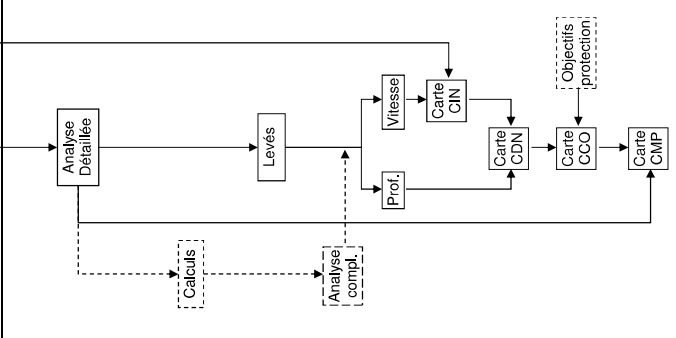
GLISSEMENTS DE TERRAIN PERMANENTS

Méthodologie		Procédure spécifique			Outils employés		Sources		Documents produits		Consultations - Remarques	
Etape												
411	Collecte des données	Collecte, synthèse, géoréférencement et intégration des données disponibles sous SIG. Analyse préliminaire des très nombreuses données et rapports existants pour identifier les zones où des compléments sont nécessaires	Base de données géoréférencée et SIG	Carte DUTI Noverraz, carte indicative IGAR des GPP, études CSD et de tiers, MNT, carte géologique, cadastre géologique, carte géotechnique, données hydrogéologiques	Liste des données (type, sources, fiabilité, lacunes, ...) Base de données géoréférencées	C-Autorités communales, cantonales (SFFN, SESA, OIT, ECA, ...) et fédérales (OFEV, PLANAT, ...) ; organismes, population et autres (littérature, internet, ...) R-Données de base de qualité et très nombreuses. Cartographie très précise grâce aux données DUTI Noverraz						
412	Cadaastre des événements	Contacts avec services techniques, communes, ouvriers cantonniers, sociétés de transport privées	Fiches préformatées	Service technique et archives communales, professionnels, organisme, particuliers, Canton	Cadaastre (fiches préformatées) Carte GEV (format CDN-VD)	C-Autorités cantonales (SFFN, ECA, ...) et communales (municipaux, voylers), journaux et population						
413	Relevés de terrain et cartographie des phénomènes	Contrôle de DUTI Noverraz : saisie, croisement, compilation de toutes les données à disposition y compris observations de terrain et relevés sommaires des indices de glissement (geomorphologie, dégâts, témoins silencieux) dans nouvelles zones détectées par IGAR et zones où changements de conditions sont signalés ou attendus	Base de données géoréférencée et SIG	Base de données géoréférencée et SIG	Fiches des phénomènes par périmètre à cartographier (géodonnées dans BD) Carte CPH (format CDN-VD) selon légende modulable (OFFEP, 1995)	C-Validation par le MO						
414	Vérification des zones indicatives de dangers	Vérification par visites de terrain pour vérification des zones identifiées par l'IGAR (nouveaux glissements, contours modifiés) et contrôle des limites et de l'activité des glissements du DUTI, cartographie des autres glissements détectés	Stéréoscope Google Earth	Carte indicative (CID, CID+), carte des phénomènes, carte DUTI Noverraz, Rapport final IGAR sur CID Vaud	Carte indicative modifiée Tableau de corrections proposées (périmètre, potentiel, ...) Rapport synthétique pour les CID et les CID+	C-Validation par le MO R-La carte indicative est généralement précise						
415	Identification et description des scénarios	Etablissement des scénarios de tous les glissements et sélection des glissements à étudier de façon détaillée. Etudes des interactions éventuelles avec d'autres phénomènes	Base de données géoréférencée et SIG	Résultats antérieurs du mandat Sonnées hydrogéologiques	Fiche des scénarios	C-Autorités communales (municipaux) et cantonales (SFFN, SESA), pour déterminer les sites faisant l'objet d'une étude détaillée ainsi que les périmètres à cartographier C-Validation par le MO						
421	Analyse détaillée (option)	Levés de terrain approfondis (aspect hydrogéologiques, mouvement différenciés, mesures et observation in-situ) des sites pour lesquels : 1. Les conditions ont été modifiées depuis Noverraz 2. Une interprétation radicalement différente par rapport à Noverraz serait pressentie 3. Les conditions ne sont pas connues (nouveaux sites détectés par IGAR)	Base de données géoréférencée et SIG	Cadaastre des sources, études disponibles, relevés cadastraux historiques, données recueillies précédemment	Description des phénomènes dans un rapport technique	C-Autorités cantonales et communales, évent. R-Compte-rendu des études déjà réalisées, notre apport sera limité à quelques cas bien identifiés. L'analyse détaillée des glissements profonds ne peut être réalisée que sur base de données précises sur le profondeur et les mouvements le long des plans de glissement (forages équipés d'indinomètres) et sur les conditions hydrogéologiques (piézomètres, données hydrogéologiques précises). A ce stade, aucune demande d'étude détaillée n'a été formulée						
422	Calculs et modélisation	Modélisation géomécanique simple pour évaluer la profondeur des surfaces de glissements (pour cas sélectionnés et pour lesquels des données existantes n'auraient pas été valorisées)	Base de données géoréférencée et SIG	Résultats antérieurs du mandat	Note de calcul avec indication des paramètres de modélisation							
423	Travaux complémentaires de terrain	Travaux de terrain éventuellement nécessaires pour réaliser analyse détaillée (attention portée aux paramètres déstabilisants et aux zones à fortes déformations - mouvements différenciés)	Z-Soil	Résultats antérieurs du mandat	Notes de calcul éventuelles							
424	Analyse complémentaire (option)	Réalisation des travaux permettant d'évaluer la profondeur et l'activité des plans de glissements (pose d'indinomètres) et la position de la nappe ainsi que la pression d'eau sur le plan de glissement (mise en place de piézomètres)	Indinomètres, sonde piézométrique, outils, sondage, pénétromètre, scissomètre	Résultats antérieurs du mandat	Rapport technique succinct	C-Autorités cantonales (SFFN, SESA) évent., R-presiations sur demande du MO						
425	Cartographie des intensités	Mise à jour de la carte DUTI Noverraz (vitesse de glissement, profondeur)	Base de données géoréférencée et SIG	SIG (DUTI et CID), éventuellement résultats de calcul et d'analyse complémentaire	Carte CIN (format CDN-VD, géodonnées)	C-Validation par le MO						
426	Délimitation et cartographie des zones de dangers	Etablissement de la carte selon recommandation fédérales et matrice vitesse/profondeur + cas ouverts (conditions particulières)	Base de données géoréférencée et SIG	Recommandations fédérales, données recueillies et carrés produits précédemment	Carte CDN (format CDN-VD, géodonnées)	C-Validation par le MO						
427	Cartographie des zones de conflits	Dessin des zones de conflits (selon mise en commun de la carte de dangers, de l'occupation du sol et de la vulnérabilité)	Base de données géoréférencée et SIG	Carte d'occupation des sols, grille des objectifs de protection par type d'objet	Carte CCO (format CDN-VD, géodonnées)	C-Validation par le MO R-Objectifs de protection sont fournis par le MO						
428	Cartographie des mesures de protection	Etablissement de la carte des mesures de protection et d'un catalogue de mesures envisageables pour réduire les risques	Base de données géoréférencée et SIG	Données d'analyse détaillées et de levé de terrain sur les paramètres déstabilisants	Carte CMP (format CFN-VD, géodonnées)	C-Validation par le MO R-Spectaculaires, les glissements profonds menacent moins les bâtiments que les objets linéaires, tels que routes et voies						

Etape 1 - Analyse générale



Etape 2 - Analyse détaillée



GLISSEMENTS DE TERRAIN SPONTANES, COULEES DE TERRE

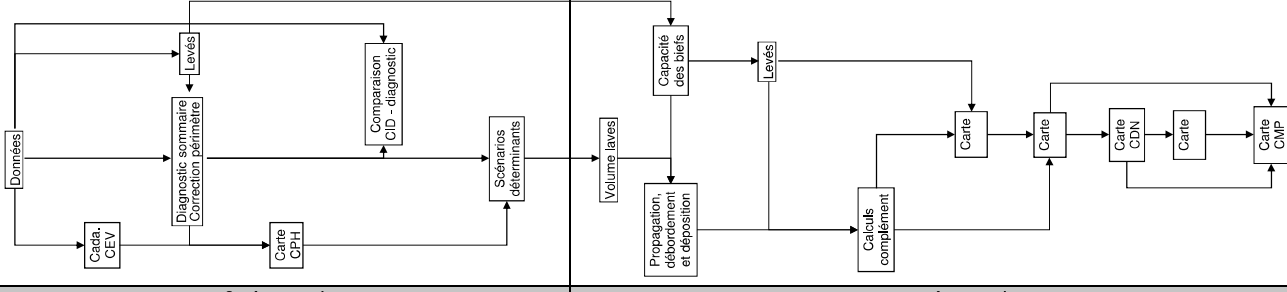
Méthodologie		Procédure spécifique			Outils employés		Sources		Documents produits		Consultations-Remarques	
Etape		Procédure spécifique			Outils employés		Sources		Documents produits		Consultations-Remarques	
<p>511 Collecte et analyse des données disponibles (DATA)</p>		<p>Collecte, synthèse et intégration des données disponibles sous SIG. Analyse préliminaire des données</p>			<p>Base de données géoréférencée et SIG</p>		<p>Cartes géologiques, cartes hydrogéologiques, carte des géotypes, cadastre géologique, cartes géotechniques, Carte DUTI Noveraz, cartes indicatives IGAR des GSS; études GSD et de tiers, MNT, données pluviométriques, coefficients de ruissellement, cartes d'infiltration, cadastre des sources, cartes hydrographiques</p>		<p>Liste des données (type, sources, fiabilité, lacunes, ...) Base de données géoréférencées</p>		<p>C-Autorités communales, cantonales (SFFN, SESA, CH, ECA, ...) et fédérales (OFEV, PLANAT, ...); organismes, population et autres (littérature, internet, ...) R-Peu de données disponibles</p>	
<p>512 Consultation pour Evénements (CEV)</p>		<p>Contacts avec SFFN, communaux, voyers et ouvriers cantonniers, entrepreneurs et population. Elaboration de documents (cartes et formulaires) Récupération et formatage des informations Réalisation d'une carte des événements GSS</p>			<p>Fiches préformatées Base de données géoréférencée et SIG</p>		<p>Service technique et archives communales, professionnels, organisme, particuliers, canton, SFFN, entrepreneurs</p>		<p>Cadastre (fiches préformatées) Carte CEV (format CDN-VD)</p>		<p>C-Autorités cantonales (SFFN, SESA, ECA, ...) et communales (municipaux, voyers), journaux et population</p>	
<p>513 Relevés de terrain et phénomènes</p>		<p>Identification des paramètres géologiques et géotechniques - Lithologie du substratum - Epaisseur terrains meubles superficiels - Pendage des couches <-> topographie - Présence de niveaux alérisés ou remaniés sur des niveaux imperméables Confrontation avec le cadastre des événements et identification des zones où des processus peuvent se produire par analogie Identification des zones où le niveau d'information est insuffisant ou contradictoire et où un effort supplémentaire de terrain devra être fourni Réalisation de la carte des phénomènes Glissements spontanés et coulées de boue</p>			<p>Modèle numérique de terrain (hill shade) Google Earth Investigations géologiques de terrain</p>		<p>Cartes géologiques, cartes hydrogéologiques, carte des géotypes, cadastre géologique, cartes géotechniques, Carte DUTI Noveraz, cartes indicatives IGAR des GSS; études GSD et de tiers, MNT, données pluviométriques, coefficients de ruissellement, cartes d'infiltration, cadastre des sources, cartes hydrographiques, cadastre et carte des événements et données de terrain</p>		<p>Fiches des phénomènes par commune et cartographier (géodonnées dans BD) Carte CPH (format CDN-VD) sous logiciel modulaire (OFFEP, 1995)</p>		<p>C-Validation par le MO</p>	
<p>514 Vérification ciblée des zones indicatives de dangers</p>		<p>Connexion des erreurs manifestes lors du levé de terrain (incohérences avec données géologiques, surévaluation première d'attente, ...)</p>			<p>Base de données géoréférencée et SIG</p>		<p>Carte indicative (CID, CID+), carte des phénomènes, carte DUTI Noveraz.</p>		<p>Carte indicative modifiée Tableau de corrections proposées (périmètre, potentiel, ...)</p>		<p>C-Validation par le MO R-Nécessaire de vérifier les zones de manière exhaustive car la carte indicative a été réalisée en tenant compte d'une infiltration totale des précipitations et donc largement sécuritaire</p>	
<p>515 Identification et description des scénarios</p>		<p>Fiche de scénario pour chaque aléa Etude des interactions possibles avec les processus des autres dangers naturels. Identification des zones à étudier de façon détaillée</p>			<p>Base de données géoréférencée et SIG</p>		<p>Résultats antérieurs du mandat Données hydrogéologiques, pluviométriques, coefficient de ruissellement et cartes d'infiltration</p>		<p>Fiche des scénarios</p>		<p>C-Autorités communales (municipaux) et cantonales (SFFN, SESA), pour déterminer les sites faisant l'objet d'une étude détaillée ainsi que les périmètres à cartographier C-Validation par le MO R-Evaluer également les scénarios de coulées de terre</p>	
<p>521 Analyse détaillée (option)</p>		<p>Evaluation de la stabilité des pentes, des paramètres géotechniques et hydrogéologiques influant sur la stabilité, étude des facteurs combinés (réactivation, érosion en pied de pente, mise en charge à l'amont, etc.), Evaluation d'un facteur d'infiltration de la pluie centralisée adaptée aux conditions locales Evaluation des apports hydroliques et du drainage de la zone Contacts avec les acteurs locaux pour des informations complémentaires concernant des événements passés; étude détaillée des facteurs déclenchant et des caractéristiques propres au phénomène des GSS locaux.</p>			<p>Base de données géoréférencée et SIG Cartes et fonds topo</p>		<p>Résultats antérieurs du mandat Rapports géologiques et géotechniques</p>		<p>Description des phénomènes dans un rapport technique</p>		<p>C-SFFN, évent. R-A l'heure actuelle, aucune demande d'étude détaillée n'a été formulée</p>	
<p>522 Travaux complémentaires de terrain (option)</p>		<p>Levés de terrain (observation et mesures in-situ) - Cartographie géologique détaillée des secteurs préalablement choisis permettant un affinement des limites géométriques des terrains; - Etude hydrogéologique: caractérisation des débits des bassins d'alimentation des zones d'étude, de la présence de poussées hydrauliques à la base des glissements, évaluation des coefficients d'infiltration locaux, etc. Estimation de la stabilité et de la susceptibilité des terrains par croisement avec la carte indicative de danger et la carte des glissements profonds permanents (GPP) et validation par les observations de terrain Estimation de l'épaisseur mobilisable ou de la hauteur de coulée de terre</p>			<p>Base de données géoréférencée et SIG Outils de terrain (taière, scissomètre, mesures de percolation)</p>		<p>Résultats antérieurs du mandat</p>		<p>Fiche de terrain</p>		<p>C-SFFN, évent. R-Possibilité de mise en œuvre de méthodes de terrain simples pour évaluer les paramètres géologiques et hydrogéologiques conditionnant la stabilité de la couche superficielle</p>	
<p>523 Calculs et modélisation (option)</p>		<p>Estimation de la stabilité et de la susceptibilité des terrains par croisement avec la carte indicative de danger et la carte des glissements profonds permanents (GPP) et validation par les observations de terrain Estimation de l'épaisseur mobilisable ou de la hauteur de coulée de terre</p>			<p>SIG</p>		<p>Données recueillies et cartes produites précédemment, données pluviométriques, coefficients de ruissellement, cartes d'infiltration, MNT</p>		<p>Note de calcul</p>		<p>C-SFFN, évent.</p>	
<p>525 Délimitation et cartographie des zones de dangers</p>		<p>Etablissement de carte selon recommandation fédérales (danger en fonction de l'épaisseur (ou hauteur de coulée de terre et d'un temps de retour unique)</p>			<p>Base de données géoréférencée et SIG</p>		<p>Recommandations fédérales et données recueillies et cartes produites précédemment</p>		<p>Carte CDN (format CDN-VD, géodonnées)</p>		<p>C-Validation par le MO</p>	
<p>526 Cartographie des zones de conflits</p>		<p>Etablissement de la carte des zones de conflits</p>			<p>Base de données géoréférencée et SIG</p>		<p>Grille d'évaluation de la vulnérabilité des objets du territoire, carte d'occupation du sol, carte synthétique de dangers naturels</p>		<p>Carte CCO (format CDN-VD, géodonnées)</p>		<p>C-Validation par le MO R-Objets de protection sont fournis par le MO R-Les glissements superficiels sont responsables de très nombreux dégâts aux bâtiments et murs de retenue, même s'ils sont nettement moins spectaculaires que les glissements profonds</p>	

LAVES TORRENTIELLES

Méthodologie		Procédure spécifique		Outils employés		Sources employées		Documents produits		Consultations - Remarques	
Etape		Procédure spécifique		Outils employés		Sources employées		Documents produits		Consultations - Remarques	
311	Collecte des données	Collecte auprès des autorités, des organismes spécialisés, de la population et de sources complémentaires (littérature, net) - bassins versants, matériaux mobilisables, processus déclencheurs, biels potentiels, événements, ...	Base de données géoréférencée et SIG	Cartes et géodonnées (topographie, géomorphologie, géologie, occupation et affectation du sol, pluviométrie, hydrographie, perméatost, CID, ...), orthophotos et MNT Inventaires (GESPREAU, CADANEAU, ProtectiMe, ECA, SILVAProtect, ...)	Cartes et géodonnées (topographie, géomorphologie, géologie, occupation et affectation du sol, pluviométrie, hydrographie, perméatost, CID, ...), orthophotos et MNT Inventaires (GESPREAU, CADANEAU, ProtectiMe, ECA, SILVAProtect, ...)	Liste des données (type, sources, fiabilité, lacunes, ...)	C-Autorités communales, cantonales (SFFN, SESA, ECA, ...) et fédérales (OFEV, PLANAT, ...), organismes (SLF, Crealp, ...), population et autres (littérature, internet, ...)				
312	Cadastre des événements	Contact spécifique (canton, commune, population)	Fiches préformatées	Inventaires, archives, journaux, mémoires vivantes	Inventaires, archives, journaux, mémoires vivantes	Cadastre (fiches préformatées)	C-Autorités cantonales (SFFN, SESA, ECA, ...) et communales (municipaux, voyiers), journaux et population				
313	Relevés de terrain	Relevé des traces (bournelet, front de coulée, ...) et estimation de leur âge, relevé des matériaux mobilisables (éboulis, érosion, ...) et des mécanismes déstabilisants (biel, perméatost, ...) relevé des capacités critiques et des ouvrages existants (état, efficacité, ...), pour validation/rejet des périmètres	Fiches de terrain	Terrain	Terrain	Fiches de terrain géoréférencées	-				
314	Cartographie des phénomènes	Etablissement de la carte des événements	Base de données géoréférencée et SIG	Cartes, orthophotos et MNT	Terrain, cartes et orthophotos (comparaison entre état ancien et récent)	Fiches des phénomènes par périmètre à cartographier (géodonnées dans BD)	C-Validation par le MO				
315	Vérification oblique des zones indicatives de dangers	Etablissement de la carte des phénomènes (zone d'érosion, zone de dépôt, point de capacité critique, ...)	Base de données géoréférencée et SIG	Cartes, orthophotos et MNT	Cadastre des événements	Cartes CPH (format CDN-VD) selon légendes modifiables (OFPEF, 1995)					
316	Identification et description des scénarios	Différenciation des processus traités par la CID (lave torrentielle, coulée boueuse, charriage) et de leur zone source	Base de données géoréférencée et SIG	CID et CID+	CID et CID+	Tableau de corrections proposées (périmètre, potentiel, ...)	C-SFFN évent.				
321	Analyse détaillée (option)	Estimation de documents comparatifs (tableau, rapport)	Base de données géoréférencée et SIG	Résultats antérieurs du mandat	Résultats antérieurs du mandat	Rapport synthétique pour les CID et les CID+	C-Validation par le MO				
322	Levés de terrain complémentaires (option)	Définition de scénarios pour les probabilités T30, T100 et T300, en fonction des conditions locales (matériau mobilisables, mécanismes déstabilisants, biel d'écoulement, cône de déjection, ouvrages existants) et en fonction des interactions possibles avec les autres dangers	Base de données géoréférencée et SIG	Résultats antérieurs du mandat	Résultats antérieurs du mandat	Fiche des scénarios	C-Autorités communales (municipaux) et cantonales (SFFN, SESA) évent.				
323	Calculs et modélisations (option)	Estimation des matériaux mobilisables (lieu, type, volume, ...) Estimation des mécanismes déstabilisants (type, intensité, ...) Estimation des processus (lave boueuse/granululaire, coulée) Estimation des biels de propagation (pente, capacité, ...) Estimation des propagations (volume, vitesse, force, ...) Estimation des dépôts (localisation, volume, ...)	Formules d'évaluation du potentiel de déclenchement (Caillé, Zimmermann al.)	Résultats antérieurs du mandat	Résultats antérieurs du mandat	Description des phénomènes : - matériaux mobilisables - mécanismes déstabilisants - phénomène (type, composition, ...) - chemin de propagation - déposition	C-Validation par le MO				
324	Cartographie des processus	Relevés complémentaires (hauteur des dépôts - f(volume), forme et angle du front de coulée - f(composition), angle des levées latérales - f(vitesse d'écoulement), capacité critique, ...)	Base de données géoréférencée et SIG	Résultats antérieurs du mandat	Résultats antérieurs du mandat	Fiches de terrain géoréférencées					
325	Cartographie des intensités	Vérification sur terrain des résultats de l'analyse détaillée	Base de données géoréférencée et SIG	Résultats antérieurs du mandat	Résultats antérieurs du mandat	Plans et coupes					
326	Délimitation et cartographie des zones de dangers	Précision des estimations établies préalablement (cf. point 321), selon les méthodes employées (incertitude, sensibilité, ...)	Base de données géoréférencée et SIG	Résultats antérieurs du mandat	Résultats antérieurs du mandat	Précisions des points sous n°321	C-Autorités cantonales (SFFN, SESA) évent.				
327	Cartographie des zones de conflits	Evaluation du potentiel de déclenchement des laves	Base de données géoréférencée et SIG	Résultats antérieurs du mandat	Résultats antérieurs du mandat	Plans et coupes					
328	Cartographie des mesures de protection	Evaluation du choc dynamique en front de coulée	Base de données géoréférencée et SIG	Résultats antérieurs du mandat	Résultats antérieurs du mandat	Fiches de terrain géodonnées					

Etape 1 - Analyse générale

Etape 2 - Analyse détaillée





Projet CDN-VD
Commission cantonale des dangers naturels
Canton de Vaud
COFIL Lot 8 – Haute Broye



CARTOGRAPHIE INTÉGRALE DES DANGERS NATURELS

RAPPORT TECHNIQUE INONDATION

LOT 8 HAUTE BROYE

AU MONT-SUR-LAUSANNE, LE 17 AOUT 2015



e-dric.ch

eau énergie environnement

Ch. du Rionzi 54

CH-1052 LE MONT SUR LAUSANNE

www.e-dric.ch

info@e-dric.ch

Tel 021 784 33 13

Fax 021 784 33 22

TABLE DES MATIERES

1	RESUME	2
2	VUE D'ENSEMBLE DU MANDAT	3
3	CADASTRE DES EVENEMENTS	7
3.1	METHODOLOGIE.....	7
3.2	RESULTATS	7
4	CARTE DES PHENOMENES	10
4.1	METHODOLOGIE.....	10
4.2	RESULTATS	12
4.2.1	<i>Relevés de terrain.....</i>	<i>12</i>
4.2.2	<i>Hydrologie.....</i>	<i>13</i>
4.2.3	<i>Transport solide</i>	<i>17</i>
4.2.4	<i>Capacité hydraulique des ouvrages</i>	<i>18</i>
5	SCENARIOS	19
5.1	METHODOLOGIE.....	19
5.2	FICHE TYPE : CLE DE LECTURE	19
6	RESULTATS HYDRAULIQUES	23
6.1	METHODOLOGIE.....	23
6.2	DONNEES DE BASE	26
6.3	PRODUITS RESULTANTS.....	27
7	CONCLUSIONS	28
8	REFERENCES.....	30

1 Résumé

Première étape	<p>A la fin de la première étape en 2012, la cartographie intégrale des dangers naturels du lot 8 Haute Broye présente l'état d'avancement suivant pour les aspects hydrologie et hydraulique (INO) :</p> <ul style="list-style-type: none">- visites de terrain effectuées pour l'ensemble des cours d'eau qui touchent un périmètre d'étude;- visites aux communes présentant des périmètres d'étude;- compléments apportés au cadastre des événements;- base de données SIG des ouvrages avec leurs principales dimensions et photographies;- identification des phénomènes et implémentation des informations dans la base de données;- apports hydrologiques établis sur l'ensemble de la surface du lot;- charge sédimentaire établie pour les cours d'eau principaux.
Scénarios de crue	<p>Suite à cette première étape, les fiches de scénarios de crue sont établies pour les différents périmètres et les premiers modèles hydrauliques numériques implémentés avant la fin de l'année 2012.</p>
Seconde étape	<p>Au printemps 2013, un travail conjoint entre l'Unité des Dangers Naturels (UDN), le bureau d'appui au maître d'ouvrage (BAMO) et e-dric.ch sur la base des cartes de dangers préliminaires permet d'en améliorer la qualité. Ces cartes sont ensuite présentées aux communes en automne 2013. Ces entretiens permettent de prendre en considération les remarques des communes tant pour les scénarios choisis que pour l'étendue des inondations. Dans l'optique d'améliorer la crédibilité des cartes, des modifications sont apportées durant la fin de l'année 2013.</p>
Dernière validation terrain	<p>Afin de faciliter la lecture des cartes de dangers, les cartes préliminaires sont digitalisées et harmonisées durant le printemps 2014. Une dernière visite de terrain par e-dric.ch puis par l'UDN permet de tenir compte des obstacles qui n'auraient pas été identifiés sur le MNT et donc pas pris en considération dans la modélisation numérique. Le croisement entre le degré de danger et la vulnérabilité du territoire pointe les zones de conflits pour lesquelles des mesures de protection sont préconisées.</p>
Rapports	<p>Ce rapport technique explique la méthodologie complète pour l'aléa "Inondation". Il développe les bases théoriques, les hypothèses considérées pour l'établissement des scénarios et la manière dont l'information ainsi établie est synthétisée (fiche de scénarios). Il est accompagné d'un rapport spécifique à chaque commune où sont recensés les principaux résultats des cours d'eau présents sur la commune en question.</p>

2 Vue d'ensemble du mandat

Territoire

Le territoire concerné par cette étude est situé sur le bassin versant de la Haute Broye entre les communes de Forel et Oron au Sud et les communes de Moudon et Lucens au Nord. La zone d'étude s'étend des crêtes de la Haute Broye caractérisées par le Signal de Grandvaux (805 m s.m.), la Tour de Gourze (825 m s.m.), les Monts Pèlerin et Vuarat, le Niremont et les Alpettes (1403 m s.m.) jusqu'à la commune de Lucens où la Broye a parcouru une quarantaine de kilomètres et se situe à environ 480 m s.m. Une dizaine d'affluents de plus grande importance alimentent la Broye du Sud au Nord, la Biorde, la Mionne, le Flon d'Oron et le Grenet à hauteur de la commune d'Oron, le Carrouge, la Bressonne et la Mérine à Moudon et la Cerjaule et le ruisseau des Vaux à Lucens. La Haute Broye présente un territoire relativement rural avec 3 entités urbanisées qui sont les communes d'Oron, Moudon et Lucens. Le Tableau 1 donne la liste des cours d'eau d'importance avec leurs caractéristiques principales. La Figure 1 illustre les différents bassins versants issus de la base de données cantonale Gesreau pour chaque cours d'eau. Ces derniers sont en bleu foncé s'ils sont réels (à ciel ouvert) ou en bleu clair s'ils sont virtuels (enterrés). La couleur verte est retenue pour les cours d'eau artificiels.

Tableau 1 : Liste des principaux cours d'eau du lot 8 Haute Broye

NOM	Longueur km	Bassin versant km ²	Q ₁₀₀ (exutoire) m ³ /s	EHQ (exutoire) m ³ /s
Biorde	8.3	25.9	30.0	50.0
Mionne	11.2	18.3	20.0	30.0
Flon d'Oron	10.9	16.6	19.0	30.0
Grenet	12.8	28.1	35.0	45.0
Carrouge	14.6	51.4	50.0	80.0
Bressonne	15.5	32.6	32.5	52.0
Merine	7.2	18.1	20.0	32.0
Cerjaule	9.4	18.9	20.0	30.0
Vaux	6.8	10.5	17.0	23.0
Broye Oron	19.7	113.6	120.0	190.0
Broye Moudon	33.8	254.2	230.0	360.0
Broye Lucens	40.1	301.8	290.0	420.0

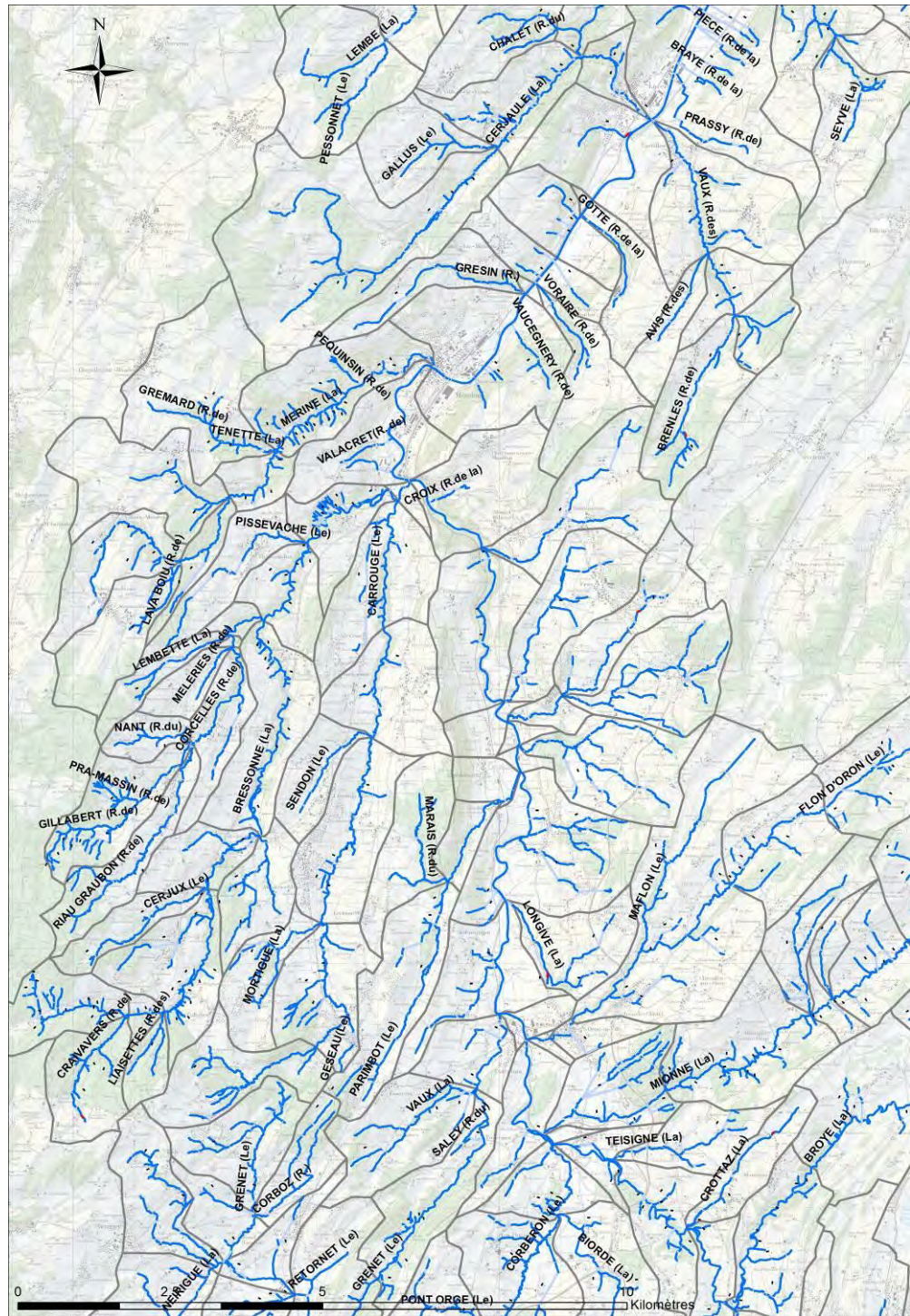


Figure 1 : Vue générale des cours d'eau du lot 8 Haute Broye

19 communes
concernées

Dix-neuf communes sont concernées par ce projet du point de vue de l'aléa "inondation" : Forel (Lavaux), Servion, Oron, Montpreveyres, Carrouge, Ropraz, Jorat-Menthue, Moudon, Lucens, Curtilles, Savigny, Hermenches, Syens, Vulliens, Maracon, Bourg-en-Lavaux, Corcelles-le-Jorat, Montanaire et Granges (Veveysse, Fribourg).

35 périmètres à
cartographier

Une présélection de périmètres à cartographier a été réalisée par le canton en collaboration avec les communes concernées afin d'orienter l'analyse des dangers

naturels sur les zones du territoire les plus sensibles. Les critères de sélection ont été tant l'aménagement du territoire que la gestion des dangers naturels. 35 périmètres prioritaires (INO) ont ainsi été définis avec une surface totale d'environ 26.5 km². Selon les cartes indicatives de dangers, 10.1 km² de l'ensemble de ces périmètres est potentiellement affecté par des dangers naturels, soit prêt de 38% de la surface de l'ensemble des périmètres définis par le canton. La Figure 2 illustre le lot 8 Haute Broye avec ses différents périmètres "Inondation".

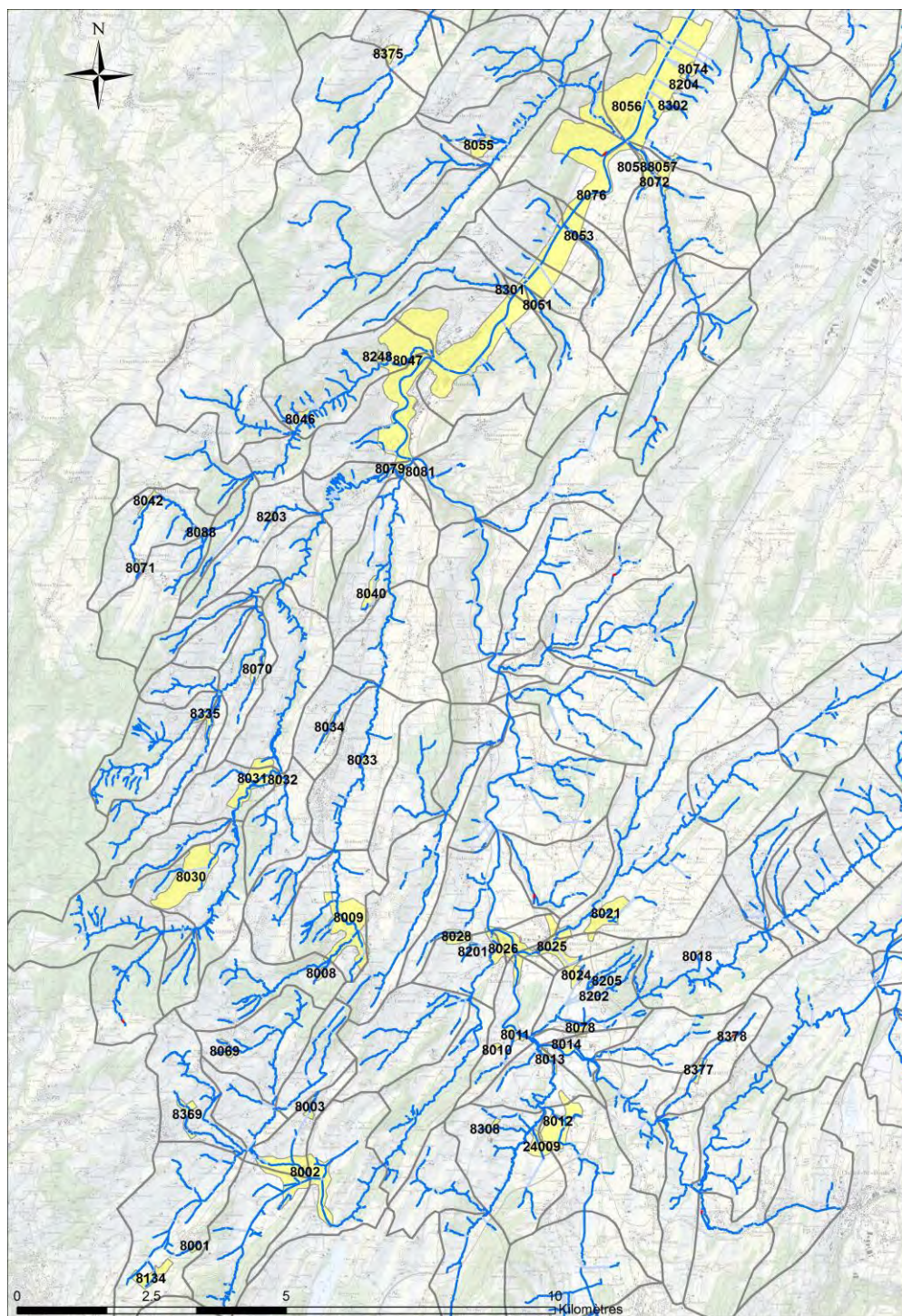


Figure 2 : Vue générale des périmètres du lot 8 Haute Broye

3 Cadastre des événements

3.1 Méthodologie

Cadastre de base	Un cadastre des évènements sous forme d'une base de données SIG a été fourni par le canton. Ce dernier a été complété à l'aide des mandats déjà réalisés par les différents acteurs du groupement. De nombreuses séances avec les communes concernées ainsi que des visites de terrain avec leurs représentants ont été réalisées.
Recherche d'information auprès des communes	Dans un second temps, plusieurs envois groupés de courriers aux communes et aux services techniques ont été rédigés afin d'acquérir des informations supplémentaires concernant des évènements et afin d'obtenir différentes études existantes.
Voyer des eaux	Enfin, la rencontre avec le voyer des eaux Monsieur Rapin a permis d'obtenir des compléments d'informations sur les évènements survenus, leur intensité et leur probabilité d'occurrence ainsi que les éventuels moyens mis en œuvre (le plus souvent grilles et bassins de décantation) pour réduire le risque.

3.2 Résultats

Cadastre initial très complet	Le cadastre des événements « inondation » reçu par le canton s'est avéré très complet. L'aléa hydrologique est en effet répertorié depuis près d'un siècle, probablement à cause de l'ampleur des événements généralement observés. Les traces journalistiques sont ainsi très présentes et déjà incluses. Au contraire, la mémoire collective des personnes interrogées (municipalité, anciens municipaux, riverains) n'a pas donné tous les résultats escomptés. Très peu de nouveaux événements ont ainsi été rajoutés. Seule une indication de temps de retour a pu être précisée pour les événements les plus forts observés (généralement période de retour de 30 ans). Des précisions sur les événements du cadastre ont également parfois été obtenues (cause des inondations, concentrations des écoulements en ville). D'une manière générale, les interviews ont plutôt eu tendance à minimiser les conséquences des inondations.
-------------------------------	--

Pour l'ensemble des cours d'eau du lot 8 Haute Broye, le Tableau 2 synthétise les événements reçus avec la base de données et ceux rajoutés. Ces mêmes événements sont localisés sur la Figure 3. Les événements "point" sont des inondations localisées. Pour de nombreux évènements, il s'agit de problème lié à du ruissellement de surface ou à une capacité limitée du réseau d'eau claire, notamment dans les zones urbanisées. Les évènements "ligne" sont intégralement des érosions de berges. Les visites de terrain ont ainsi permis de compléter de façon plus importante ce cadastre.

Tableau 2 : Liste des événements du lot 8 Haute Broye

Liste des événements	Evènements reçus	Evènements ajoutés	Total
Evènements	81	12	93

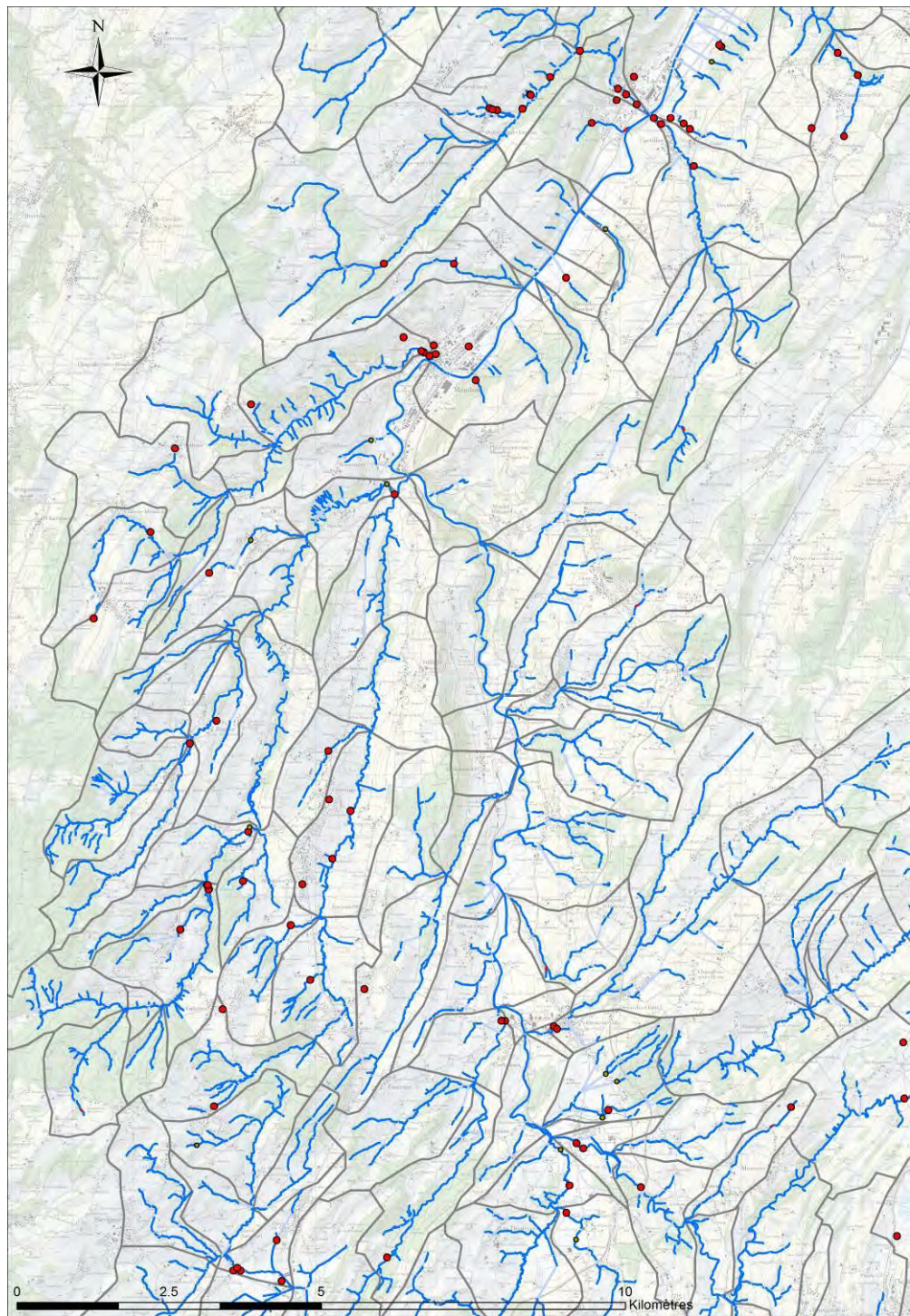


Figure 3 : Vue générale des périmètres du lot 8 Haute Broye avec les relevés de terrain

Evénements à considérer avec précaution

L'analyse du cadastre des événements n'a pas permis de véritablement mettre en évidence des zones potentiellement dangereuses. Ceci est lié aux causes suivantes :

- trop d'événements sont localisés de manière imprécise (territoire communal);
- trop d'événements ne sont pas reliés à une inondation de cours d'eau mais plutôt du ruissellement de surface ou une sous capacité du réseau

d'évacuation des eaux claires;

- la cause réelle des événements recensés est rarement identifiée. La date étant également parfois peu précise, la recherche de cette cause peut générer un travail trop conséquent (recherche de l'événement météorologique correspondant).

4 Carte des phénomènes

4.1 Méthodologie

La méthodologie d'acquisition hydrologique pour le lot Haute Broye est basée sur les constatations suivantes :

Absence de digues latérales	- Exceptée la Broye, les cours d'eau ne présentent généralement pas de digues latérales mais le plus souvent le lit est encaissé et inférieur au niveau des rives. Le risque de rupture de digue est ainsi très peu présent;
Plus de 200 ouvrages	- Un nombre élevé d'ouvrages qui enjambent les cours d'eau avec une section transversale, la plupart du temps, inférieure à celle du lit amont. Ces ouvrages sont de type très différents (pont, ponceau, canalisation, passage sous route), de taille très différentes (diamètre 30 cm à 3.0 m) et de qualité également très différentes (vétuste ou complètement neuf);
Forêt	- Une présence forestière marquée notamment dans la partie amont des bassins versants;
Canaux de dérivations	- La plupart des canaux de dérivation sont désaffectés;
Faible urbanisation	- Une composante rurale extrêmement marquée sur l'ensemble amont du bassin versant. Seules les communes d'Oron, Moudon et Lucens présentent une densification urbaine plus importante qui conduit à réduire l'emprise des cours d'eau, voire à les enterrer (canalisation ou cours d'eau souterrain). Par ailleurs, cette même densité conduit à une imperméabilisation des sols et un réseau d'eaux claires dont les rejets aboutissent dans les cours d'eau avec une importante concentration de débit.
4 phases	En conséquence, la méthodologie est basée sur quatre étapes complémentaires menées parallèlement, soit: les visites de terrain, l'établissement des apports hydrologiques, l'évolution du transport sédimentaire et le calcul de la capacité des ouvrages.
Visites de terrain	<p>Les visites de terrain et le parcours pédestre le plus exhaustif possible des cours d'eau (tronçons inclus dans les périmètres ainsi que tronçons amont) ont permis d'établir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - un relevé des principales dimensions des tronçons de chaque cours d'eau ; - le potentiel des apports solides par tronçon (méthodologie du GHO, érosion du lit, des berges et du BV) ; - un cadastre des ouvrages hydrauliques (ponts, ponceau, canalisation, mise en souterrain, avec leurs dimensions principales et leur état) ; - un cadastre photographique des ouvrages hydrauliques.
Indication des riverains	Par ailleurs, les contacts avec les riverains ont également apportés des indications sur les débits, exprimés en fonction de la capacité des ouvrages, pour une durée

d'observation (10 à 30 ans de voisinage). Ces informations permettent d'établir a priori l'apport hydrologique pour une période de retour donnée (admise comme la durée d'observation). Cette information doit néanmoins être considérée avec prudence.

Apports hydrologiques	<p>Les apports hydrologiques des tronçons de chaque cours d'eau sont établis par comparaison des débits de pointes entre les quatre sources complémentaires suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none">- l'analyse des études antérieures et des valeurs de débits admises ;- les valeurs de débit calculées dans l'outil Gesreau ;- les valeurs obtenues sur la base d'une modélisation pluie-débit (modèle GSM-SOCONT, développé à l'HYDRAM – EPFL [1]), calée sur les mesures de débit existantes, avec des scénarios de pluie spatialement distribués ;- l'extrapolation statistique (loi de Gumbel) des mesures de débit (Grenet, Flon d'Oron et Broye uniquement, seuls ces trois cours d'eau possèdent une station de mesure du débit).
Synthèse	<p>Une synthèse des quatre valeurs obtenues permet finalement de choisir un débit de projet pour chaque tronçon. Dans la majorité des cas, les différentes sources sont concordantes. L'hydrogramme déterminant est ensuite généré sur la base de l'hydrogramme issu du modèle pluie-débit adapté pour obtenir le débit de pointe choisi (coefficient de multiplication de l'amplitude).</p>
Majoration des débits avec la réduction des BV	<p>Pour les bassins versants plus petits que le découpage initial du modèle (découpage Gesreau), une majoration des débits est intégrée pour majorer l'intensité de pluie admise par le modèle (effet des pluies locales plus intenses).</p>
Débâcle	<p>Le débit issu des calculs hydrologiques est encore comparé, dans le cas d'embâcle, au débit généré par une débâcle (débit généralement admis comme centennal par les formules usuelles). Si ce dernier dépasse le débit des apports hydrologiques de Q_{100}, le temps de retour de l'hydrogramme correspondant au débit de débâcle est réduit à 100 ans. Les formules utilisées pour calculer le débit de débâcle sont celles de Costa et Ritter [2], de Froehlich [3] et de Webby [4].</p>
Transport sédimentaire	<p>Le calcul du transport sédimentaire est effectué selon la méthode développée par le GHO basée sur un découpage en tronçons homogènes du cours d'eau [5]. Les apports solides sont définis par le potentiel d'érosion des berges, du lit et du bassin versant. Les deux premiers potentiels sont issus des observations in situ. Le potentiel d'apport du bassin versant est défini par la qualité géologique du sol et la pente moyenne. Les apports locaux (niches d'arrachement, glissements très locaux), mesurés in situ, viennent compléter les apports totaux. A partir des apports hydrologiques et de la pente du tronçon qui conditionnent la capacité de transport solide, un bilan sur le tronçon est effectué entre les apports d'une part et d'autre part le transport solide vers l'aval. Un bilan positif signifie un volume correspondant déposé sur le tronçon. Ce dernier, réparti de manière homogène sur la longueur et la largeur du cours d'eau, détermine la hauteur de sédiments déposés.</p>
Capacité des ouvrages	<p>La capacité des ouvrages est calculée à partir des dimensions mesurées in situ ainsi que des niveaux relatifs amont et aval issu du MNT (recherche manuelle des points</p>

de référence). Le débit est ensuite calculé par la relation de Manning-Strickler avec un coefficient de rugosité estimé sur site (fonction de l'état de surface de l'ouvrage). La probabilité d'obstruction par embâcle est finalement estimée sur la base des règles définies avec la DGE-EAU en fonction de la ligne d'eau pour un débit donné. Chaque ouvrage possède une capacité hydraulique ainsi qu'une capacité réduite qui tient compte des obstructions possibles. Pour rappel et de manière générale, les règles d'obstruction définies par la DGE-EAU sont les suivantes en fonction des dimensions et des probabilités de flottants :

- conduite inférieure à 1 m de diamètre :
 - Probabilité forte : obstruction complète, pas de transit des flottants vers l'aval
 - Probabilité moyenne : obstruction à 50% de la section et transit des flottants vers l'aval
 - Probabilité nulle : pas d'obstruction
- ouvrage ou conduite supérieure à 1 m de diamètre :
 - si le tirant d'air est supérieur à 1.0 m : pas d'embâcle
 - si le tirant d'air est compris entre 50 cm et 1.00 m : la section est réduite de 50 cm si la probabilité de flottants est faible et de 1.0 m si elle est élevée. Le transit des flottants vers l'aval est possible.
 - si le tirant d'air est inférieur à 50 cm : la section est réduite de 1.00 m si la probabilité de flottants est faible et de 2.0 m si elle est élevée. Par ailleurs, il est admis que les flottants ne peuvent pas transiter vers l'aval.

4.2 Résultats

4.2.1 Relevés de terrain

Base d'ouvrages
avec photographies
associées

L'ensemble des indications de relevé de terrain est introduit dans une base SIG selon la symbolique développée par le canton de Vaud. En parallèle, les principaux ouvrages sont répertoriés et associés à des photographies. Les dimensions des ouvrages sont mentionnées dans les fiches de scénarios et les photographies disponibles dans un répertoire ad hoc par cours d'eau. Pour les besoins de la modélisation, les érosions potentielles ainsi que les dimensions des ouvrages sont également introduites dans des outils de calcul hydrauliques (modélisation sur tableur). La Figure 4 illustre le lot 8 avec chacun des ouvrages répertoriés.

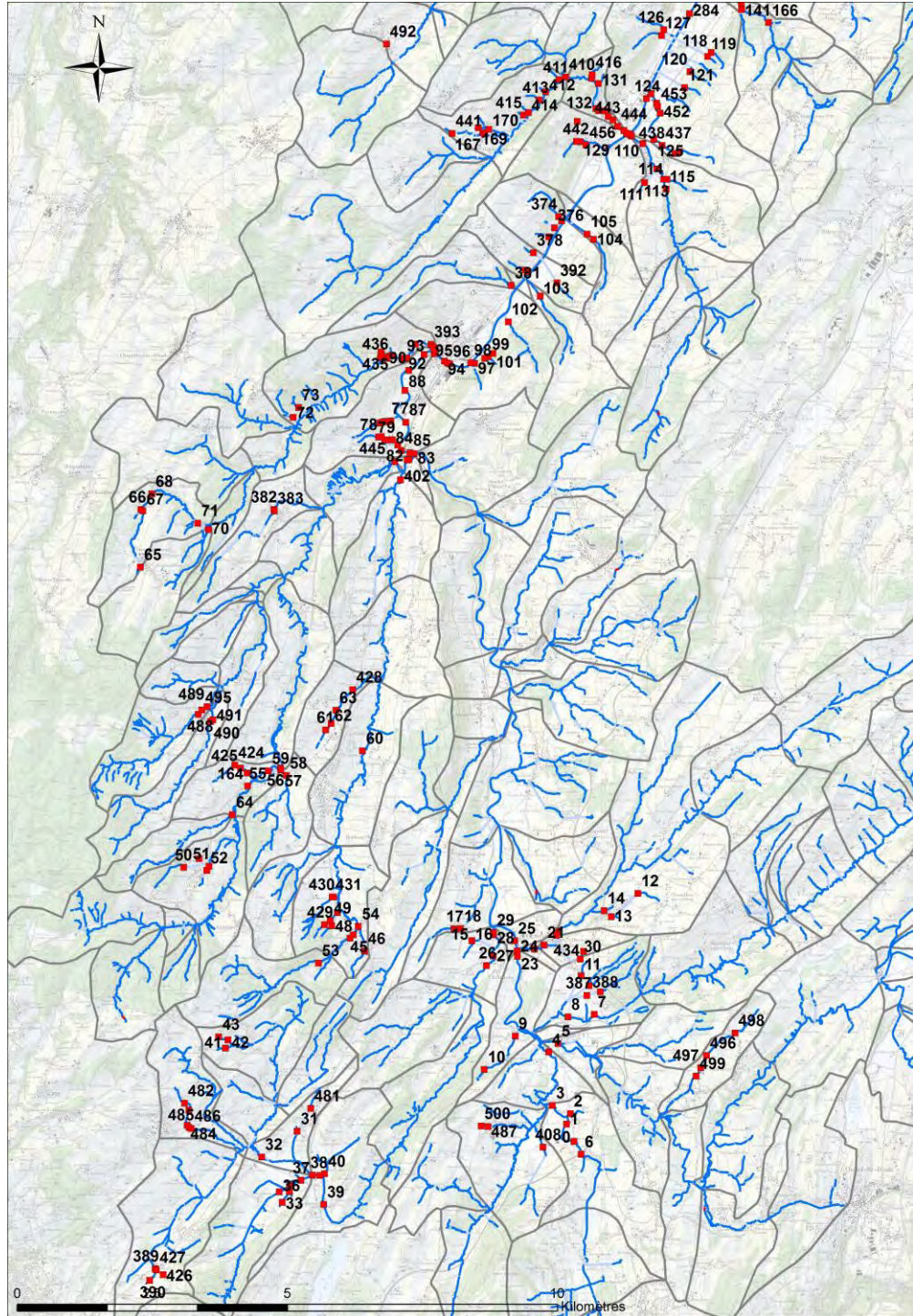


Figure 4 : Vue générale du lot 8 Haute Broye avec les ouvrages

4.2.2 Hydrologie

Mesure de débit

Seuls trois cours d'eau possèdent une station de mesure des débits, soit le Grenet, le Flon d'Oron et la Broye. La statistique reste toutefois limitée pour les stations de la DGE-EAU dans la mesure où les durées des mesures sont limitées à 19 ans pour le Grenet et le Flon d'Oron. Pour la Broye, la station fédérale de Payerne enregistre les débits depuis 1920.

Modélisation pluie-débit	La modélisation pluie-débit tire profit d'une série de mesures météorologiques plus importante ainsi que du nombre supérieur de stations de mesure. Les stations considérées sont Changins, Payerne et Pully pour les stations ANETZ (valeurs horaires mesurées) et Avenches, Bière, Chaneaz, Chavornay, Cossonay, Courtepin, Echallens, Fruence, Lausanne, Longirod, Marcelin, Moudon, Murten, Orzens, Payerne-ville, Riex, Semsales, Tour de Gourze, Bevey, Villars-Tiercelin et Witzwil pour les stations NIME (valeurs journalières mesurées). Les stations météo disposent le plus généralement d'enregistrements sur une durée qui dépasse 30 ans. L'analyse statistique de chaque station permet d'en tirer sa courbe IDF. Des événements spatialement distribués peuvent ainsi être élaborés et transformés en débit par la modélisation. Le calage du modèle est basé sur la comparaison entre la simulation continue et la mesure de débit correspondante. Pour chaque sous-bassin versant, la durée déterminante est établie en fonction de l'événement qui conduit au débit maximal. Elle se situe typiquement entre 40 minutes pour les petits bassins et jusqu'à quelques heures pour les grands bassins.
Gesreau	La base de données Gesreau est comparée aux résultats obtenus par la modélisation. Généralement la correspondance est bonne. La Figure 5 illustre les débits de projet spécifique finalement considérés pour chaque bassin versant.
Différences observées	Les différences essentielles entre Gesreau et les débits obtenus par modélisation pluie-débit se concentrent sur les petits bassins à forte pente, ainsi que sur la Broye. Pour la Broye, l'analyse statistique de la station de mesure de débit conduit à des valeurs largement supérieures à celles préconisées par GESREAU (320 m ³ /s contre 230 m ³ /s pour Q ₁₀₀). En conséquence, la valeur retenue s'établit à 320 m ³ /s pour Q ₁₀₀ .

Amplification des débits pour les BV de petite taille

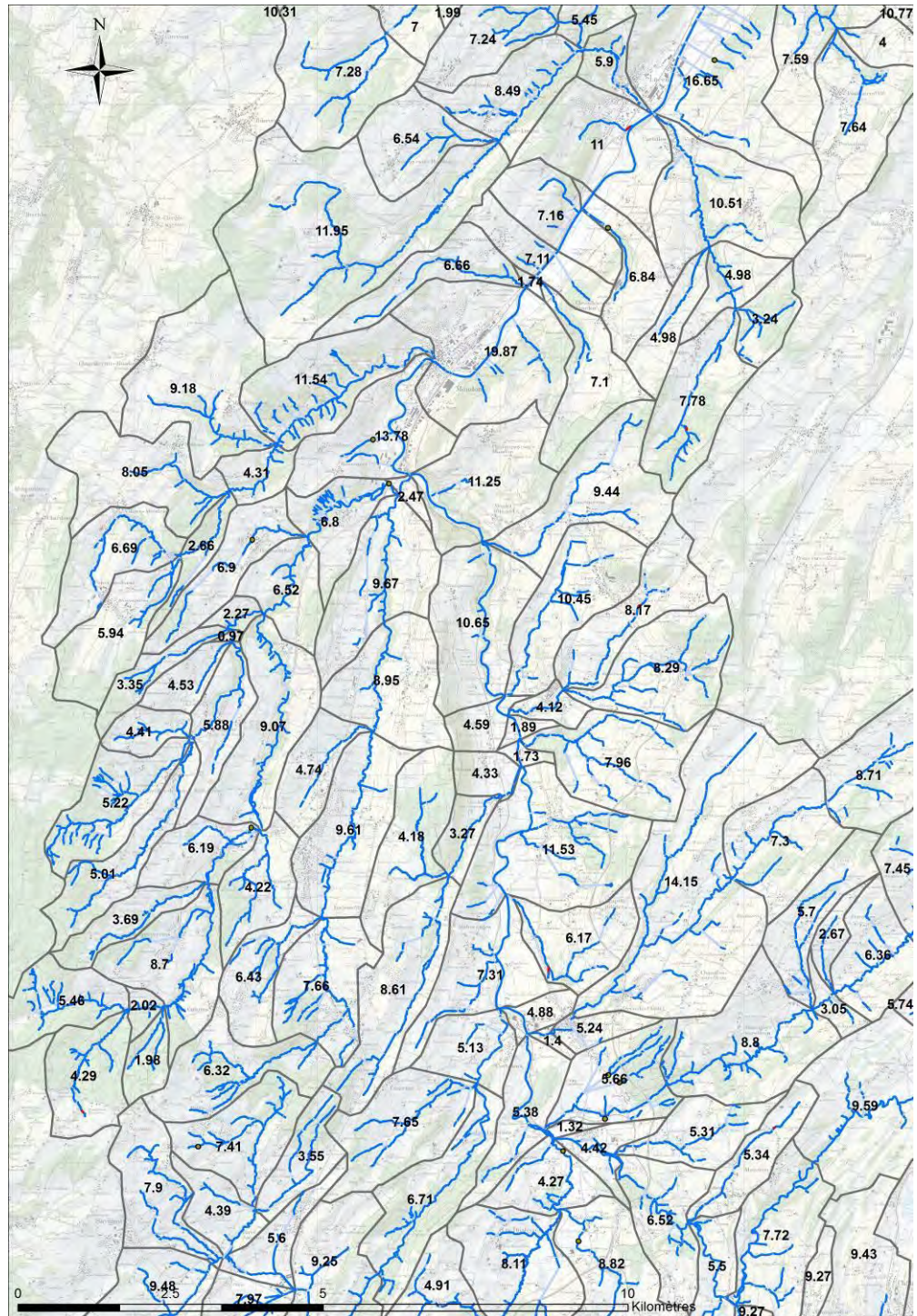


Figure 5 : Vue générale du lot 8 Haute Broye avec le débit centennal (m³/s)

La génération des débits pour les cours d'eau ou ouvrages qui se situent à l'intérieur des bassins versants suit une loi de réduction liée à la surface (loi linéaire au prorata des surfaces) ainsi qu'une loi d'amplification du débit spécifique (loi de puissance inverse au prorata des surfaces). La Figure 6 illustre les lois trouvées pour différentes simulations (GESREAU, RS 3.0). La majoration de débits spécifiques pour les bassins versants de taille inférieure au découpage initial suit la loi de puissance avec les paramètres 4.03 (coefficient multiplicatif) et -0.33 (coefficient puissance).

La Figure 7 présente un hydrogramme de crue caractéristique utilisé pour générer les cartes de dangers. Selon la configuration du site étudié, l'inondation est due:

- (principalement) à une capacité hydraulique de l'ouvrage / du lit du cours d'eau inférieure au débit de pointe de la crue (hydrogramme de crue pas nécessaire);
- et/ou à un volume de la crue trop important lorsque la configuration du site induit de la rétention (générée par un obstacle de type routes, digues).

La partie de l'hydrogramme utilisée dans la modélisation 2D, déterminant dans le second cas lorsque l'inondation est générée par de la rétention, se concentre depuis l'augmentation du débit dans le cours d'eau jusqu'à son retour à un débit de base. Ce volume théorique est le plus souvent excessif mais sécuritaire car il considère une obstruction complète sur tout l'hydrogramme de crue.

D'autre part, la valeur des débits de pointe déterminante dans les cas d'insuffisance de capacité hydraulique, est également plutôt surestimée, notamment pour les petits bassins versants où un coefficient de majoration est appliqué sur ces débits.

De ce fait, l'hydrologie employée dans l'établissement des cartes de dangers est le plus souvent surestimée, permettant ainsi de garantir une certaine marge de sécurité.

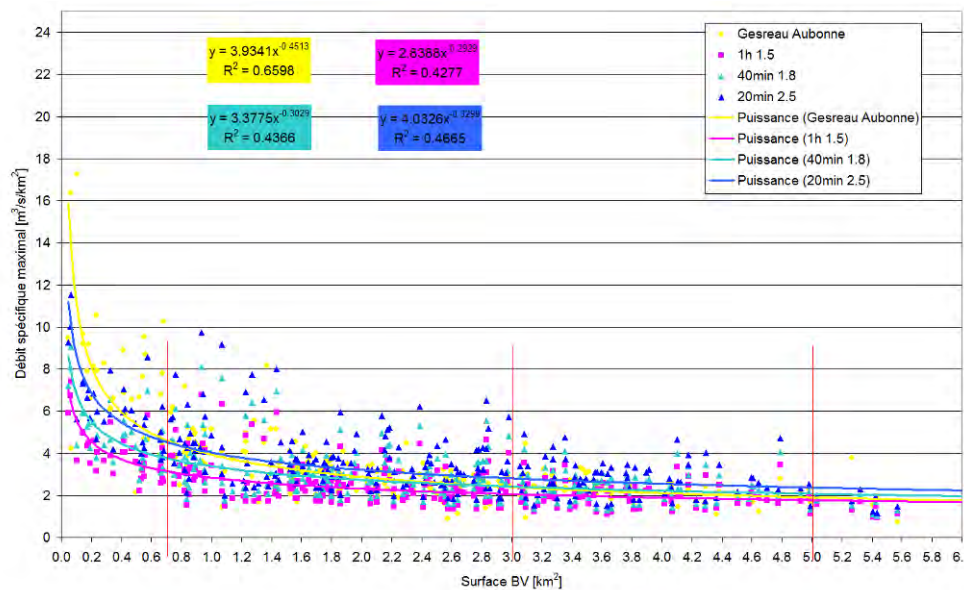


Figure 6 : Majoration du débit spécifique en fonction de la surface du BV

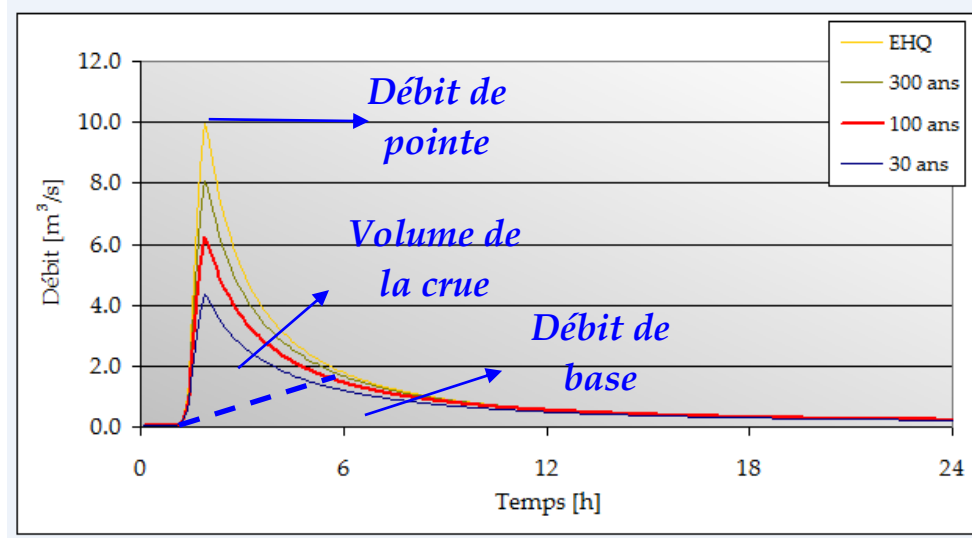


Figure 7 : Hydrogramme de crue caractéristique

4.2.3 Transport solide

Méthode du GHO	L'application de la méthode d'estimation du risque de déposition de matière solide dans les cours d'eau développée par le GHO est appliquée sur les plus grands cours d'eau du lot Haute Broye. Comparativement aux risques d'embâcle (obstruction totale du cours d'eau, notamment par des flottants), le risque de réduction de la section utile par déposition apparaît comme plus faible, en particulier pour les plus petits cours d'eau.
La Biorde	La Biorde présente un certain potentiel de matériaux mobilisables en amont du périmètre d'étude 1012. En aval de la route de Granges à la frontière valdo-fribourgeoise, la Biorde accuse une rupture de pente assez franche favorisant la déposition sur ce tronçon. La capacité hydraulique du lit est ainsi réduite et le risque de débordement du ruisseau accentué.
La Mionne	La Mionne présente également un fort potentiel en matériaux mobilisables en amont du périmètre 1078. La Mionne présente une rupture de pente plus ou moins à l'endroit où le chemin du Viaduc traverse le cours d'eau. Une zone de déposition de matériaux s'observe à l'aval du périmètre entre le chemin du Viaduc et la route d'Oron
Le Flon d'Oron	Le Flon d'Oron en amont d'Oron-la-Ville présente un lit avec de nombreux matériaux mobilisables. A l'entrée d'Oron, en amont de la route de Bulle, le lit du Flon accuse une rupture de pente qui favorise la déposition des matériaux.
Le Grenet	Le Grenet en amont d'Oron-la-Ville se charge également en sédiments susceptibles de se déposer sur le périmètre 1025 entre la route de Lausanne et la confluence avec la Broye.
La Bressonne	La Bressonne avant de se jeter dans le Carrouge en amont de Moudon présente une rupture de pente bien en amont de la route de Berne. De ce fait, la déposition des matériaux transportés par la Bressonne s'effectue déjà en amont de la route de Berne et affecte moins le tronçon étudié sur le périmètre 1301.
Le Carrouge	Le Carrouge présente quant à lui une rupture de pente plus marquée juste en amont

de la confluence. Tous les matériaux transportés par le cours d'eau se déposent alors entre la confluence avec la Bressonne et la confluence avec la Broye.

La Mérine	La Mérine, affluent rive gauche de la Broye à Moudon présente un lit canalisé dans la traversée de Moudon avant de se jeter dans la Broye. La pente longitudinale du lit sur son tronçon terminal est plus faible et favorise la déposition des matériaux transportés de quelques centimètres. Le barrage localisé le long de la route de Sottens récupère une partie des matériaux et réduit ainsi le risque d'obstruction par déposition. De plus, le lit canalisé favorise les grandes vitesses et réduit le risque de déposition..
La Cerjaule	La Cerjaule, affluent rive gauche de la Broye à Lucens présente également un lit canalisé dans la traversée de Lucens en aval de la scierie le long de la route d'Oulens. Contrairement à la Mérine, la Cerjaule charrie énormément de sédiments qui se déposent à l'entrée de Lucens au droit de la rupture de pente. N'ayant pas de véritable piège à sédiments en amont de la commune, tous les matériaux arrivent jusqu'au tronçon canalisé et se déposent sur quelques dizaines de centimètres ou se propagent dans les rues avec les débordements.
Le ruisseau des Vaux	Le ruisseau des Vaux présente une pente relativement constante sur son parcours terminal jusqu'à la Broye et ne présente pas de rupture de pente brutale. De ce fait, aucune réduction de capacité hydraulique par déposition de sédiments n'est considérée sur ce cours d'eau.
La Broye	La Broye d'Oron à Moudon présente une pente variant de 0.5 à 1%. Plus en aval, la pente diminue de 0.3% à moins de 0.1% avant l'embouchure dans lac de Morat. Sur le lot Haute Broye, la déposition de matériaux dans le lit de la Broye est relativement faible au regard du gabarit du lit et n'est par conséquent pas considéré dans les calculs.

4.2.4 Capacité hydraulique des ouvrages

Diversité d'ouvrages	Le lot Haute Broye offre une très grande diversité d'ouvrages tant dans la taille que dans la forme et l'état général d'entretien. Un nombre important d'entre eux est toutefois constitué par des ponceaux de dimensions modestes (1 m ou inférieur) rendus nécessaires pour une traversée de route. Un soin particulier au surdimensionnement a été apporté pour les traversées des voies de chemin de fer.
Impact des embâcles	La capacité hydraulique des ouvrages est calculée de manière distincte sans et avec embâcle. Dans le premier cas, elle est indépendante du débit incident. Dans le second cas, elle dépend de la ligne d'eau, de la revanche et de la probabilité d'embâcle. Pour la grande majorité des ouvrages, cette probabilité est élevée. Conjointement à une taille modeste de l'ouvrage, l'obstruction est ainsi totale pour nombre d'entre eux (capacité supposée nulle). Toute l'information relative aux débits est synthétisée dans la fiche de scénarios correspondante.

5 Scénarios

5.1 Méthodologie

Objectif de la fiche	La fiche de scénario est une synthèse de toute l'information issue du terrain et des témoins historiques (ouvrages, laisses de crue, marques d'érosion ou de dépôt, apports de flottants, événements historique) ainsi que celle issue des différents modèles (hydrologie, transport solide, débit d'embâcle). Elle vise à dresser la liste des scénarios possibles d'inondation et à ne retenir pour le calcul que ceux qui sont déterminants. Elle est complétée par une situation de la zone concernée ainsi que par une représentation cartographique schématique des scénarios calculés (carte de phénomène).
Découpage par périmètre	Chaque périmètre du lot 8 Haute Broye fait normalement l'objet d'une fiche de scénarios. Lorsque le découpage entre les périmètres (PDN) ne fait pas de sens hydrologique (frontière communale par exemple pour un même cours d'eau), les périmètres concernés sont regroupés (en PSE) dans une seule fiche.
Temps de retour	Les temps de retour de chaque scénario sont calculés par la combinaison des temps de retour des événements de base qui forment le scénario (hydraulique et transport solide) avec les événements aggravants (embâcle, rupture d'ouvrage). Ces temps de retour combinés sont obtenus directement selon le principe multiplicatif des probabilités indépendantes. La probabilité des phénomènes aggravants peut varier avec le temps de retour. Cette probabilité est fixée entre 0 et 1.0 selon un avis d'expert donné à la suite d'une visite de terrain.

5.2 Fiche type : clé de lecture

Afin de faciliter la lecture de la fiche de scénario développée spécifiquement, une fiche type est donnée comme clé de lecture à la Figure 8. La fiche de scénario contient les éléments suivants :

Identifiant	- l'identifiant du scénario avec le numéro du lot, le type de danger et le numéro de périmètre concerné (3 chiffres) précédé par un numéro de millier (chiffre minimum de 1).
Localisation	- le premier bloc (localisation de l'aléa) positionne le périmètre avec son contexte. Il donne explicitement le numéro du périmètre, la localisation selon les lieux-dits de la CN25, la commune politique concernée, le(s) bassin(s) Versants(s) Gesreau corrélé(s) ainsi que le nom cours d'eau et la longueur du tronçon concerné (repéré sur le profil en long kilométrique). Un bref descriptif du contexte géographique ainsi que les enjeux inondables complètent ce bloc. Une image de la CN25, avec les frontières du périmètre, les cours d'eau (y compris le profil en long km) ainsi que les ouvrages, illustre la situation.
Evénements	- Le second bloc recense les événements historiques présents dans la base cantonale de données. Il donne la date de l'événement ainsi que son code dans la BD
Phénomènes	- Le troisième bloc recense les phénomènes et processus qui composent

les scénarios. Ce bloc comprend :

- Le phénomène de base constitué par le débit incident pour les 4 périodes de retour (B0, avec une probabilité de 1);
- Le processus implicitement associé constitué par le transport solide pour les 4 périodes de retour (A1, avec une probabilité de 1);
- Les mécanismes aggravants constitués par les obstructions et embâcles (O, avec sa probabilité par occurrence), les réductions de capacité hydraulique qui en découlent (H, avec sa probabilité par occurrence), les apports et érosion de matériau solide (E, avec le volume de sédiment en fonction du temps de retour considéré) et les réductions de capacité hydraulique engendrées (D, avec la hauteur de sédimentation calculée selon les temps de retour) ;
- Les mécanismes atténuants constitués par les ouvrages de protection (P, avec sa probabilité de bon fonctionnement par occurrence).

Scénarios

- Le quatrième et dernier bloc recense les scénarios élaborés. Ce bloc comprend :
 - Les grandeurs déterminantes par occurrence, à savoir le débit de base qui représente le débit des apports de l'ensemble du bassin versant amont sans tenir compte des modifications liées aux ouvrages amont, les débits déversés avec dépôt de sédiments éventuels (processus associé) mais sans embâcles et les débits déversés avec sédiments et embâcles. Les couleurs verte et rouge indiquent un déversement avec ou sans retour du débit dans le cours d'eau à l'aval;
 - La liste des scénarios développés avec une description codée et un commentaire (en brun si le scénario inclut des dépositions), la probabilité d'occurrence du scénario (calculée par la multiplication des occurrences de chaque élément qui le compose), son nom (nom de la fiche de scénario complétée par une lettre) ainsi qu'une indication si ce dernier est calculé ou non pour générer la carte des intensités.

Carte des phénomènes

- La fiche est complétée par une représentation cartographique schématique des phénomènes avec la CN25, le MNT-ombrage, le périmètre considéré, le cours d'eau, les apports de flottants, la déposition des matériaux solides, les points de débordement ainsi que les chemins préférentiels de l'eau (avec ou sans retour du débit dans le cours d'eau aval). Des étiquettes (données pour les 4 temps de retour voire plus si différents scénarios) complètent ce schéma avec les débits considérés pour le calcul de la carte d'intensité ($Q_{entrants}$ et $Q_{déversés}$). Le code de lecture considéré est le suivant :
 - en bleu, les " Q_{in} " sont les débits qui alimentent les cours d'eau soit à l'amont du périmètre, soit aux jonctions si un débit additionnel rejoint le lit principal (affluent latéral), soit au milieu du périmètre

(s'il est grand, pour tenir compte des apports du bassin intermédiaire);

- en brun, les " Q_{dev} " qui portent le nom du scénario (pour faire le lien avec la définition des scénarios donnés dans la fiche) et qui donnent aux points de déversement (matérialisés par les flèches vertes ou rouges selon si retour ou non du débit déversé dans le cours d'eau à l'aval) la quantité de débit déversé.

De manière générale, il est considéré que pour les déversements avec retour, tout le débit déversé à l'amont retourne dans le cours d'eau plus en aval. Pour les déversements sans retour, il est admis que la moitié des eaux déversées retournent au cours d'eau. Dans certains cas, cette approximation généralisée peut paraître surévaluée mais garantit une marge de sécurité.

Clé de lecture de la
fiche scénarios

Fiches des scénarios		09-INO-1058				
Localisation de l'aléa						
Périmètre n°	58	Localisation Lieux-dits				
Commune	Nom de la commune politique	<input type="checkbox"/> Surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> Linéaire			
Secteur/BV	N° du BV Gesreau	Tronçon km et nom du cours d'eau				
Description	Bref descriptif du cours d'eau, de son contexte géographique et des éléments déterminants					
Enjeux	Type d'éléments menacés par une inondation					
Références rapport, photos	Lien à des rapports ou des photos historiques					
Événements recensés						
1	date	Référence aux événements historiques de la BD				
2	date	...				
...				
Phénomènes et processus						
Phénomènes de base (toujours considérés avec une probabilité totale d'occurrence)						
B0	Q / V eau claire	Q30 / Q100 / Q300 / EHQ				
Processus associés						
A1	V solide	Vs30 / Vs100 / Vs300 / VsEHQ				
Remarques	Transport solide associé avec le BV, le lit et les berges					
Phénomènes aggravants						
Obstruction/embâcle		Commentaires		Activité		
	Effet	Indice	Probabilité d'occurrence / Volumes / Hauteurs			
			30	100	300	EHQ
O1	Eboulement/Glisement	...	Détermine la probabilité d'occurrence du mécanisme aggravant pour chaque période de retour (élevée, moyenne, rare, extrême)			
O2	Lave torrentielles/Aval	...				
O3	Bois flottant	...				
O4				
Réduction capacité hydraulique		Cause	Commentaires		Activité	
	Effet	Indice	Probabilité d'occurrence / Volumes / Hauteurs			
			30	100	300	EHQ
H1	Ouvrage 1	Lien au mécanisme	Dimensions principales de l'ouvrage, positionnement sur l'abscisse curviligne km du cours d'eau			
H2	Ouvrage 2		Détermine la probabilité d'occurrence de la réduction de capacité pour chaque période de retour (élevée, moyenne, rare, extrême)			
H3	...					
Apport/érosion		Commentaires		Activité		
	Effet	Indice	Probabilité d'occurrence / Volumes / Hauteurs			
			30	100	300	EHQ
E1	Erosion berges	Détermine le volume de sédiments pour chaque période de retour (élevée, moyenne, rare, extrême)				
E2	Incision/érosion lit					
E3	Alluvionnement					
E4	Déstabilisation ouvrage					
Réduction capacité hydraulique		Cause	Commentaire		Activité	
	Effet	Indice	Probabilité d'occurrence / Volumes / Hauteurs			
			30	100	300	EHQ
D1	Autre processus	AG n-avéré			Détermine la probabilité d'occurrence pour chaque période de retour	
D1	Autre processus	AG n-avéré				
Phénomènes atténuants						
Protection (ouvrage, forêt)		Commentaires		Protection		
	Effet	Indice	Probabilité d'occurrence			
			30	100	300	EHQ
P1	Bassin, dépotoir	...	Dimensions principales, position sur le cours d'eau (km)			
P2	Détermine la probabilité d'occurrence de l'effet de l'ouvrage considéré pour chaque période de retour (élevée, moyenne, rare, extrême)			
P3				
Remarques Remarques générales additionnelles						
Débit maximal de crue						
Grandeurs déterminantes par occurrence : débit crue [m³/s] - débit déversé avec Vs sans embâcle [m³/s] - débit déversé avec Vs avec embâcle [m³/s]						
Grandeurs Dimensions	Fréquence élevée 30 ans	Fréquence moyenne 100 ans	Fréquence rare 300 ans	Événement extrême > 300 ans		
Nom et tronçon km du cours d'eau concerné						
Ouvrage 1	Pour chaque fréquence, ce tableau donne, pour l'ouvrage concerné, le débit total incident (débit base), le débit déversé sans embâcle et le débit déversé avec embâcle. Les dépôts de sédiments sont toujours considérés dans le calcul du débit déversé.					
Ouvrage 2	La couleur verte claire indique un déversement au droit de l'ouvrage avec un retour du débit dans le cours d'eau derrière l'ouvrage					
	La couleur rouge indique un déversement au droit de l'ouvrage sans retour du débit dans le cours d'eau derrière l'ouvrage					
N°	Description des scénarios	Commentaire	Occ	Code scénario	CIN	
A	B0_30 H1 H2 E3	Explicite le scénario avec les ouvrages impliqués et les phénomènes aggravants considérés	Probabilité d'occurrence du scénario obtenu par multiplication des probabilités	09-INO-1058_A	<input checked="" type="checkbox"/>	
B	Description codée du scénario avec les phénomènes de base, les processus associés et les mécanismes aggravants	Cellule mise en brun si le scénario implique des mécanismes de sédimentation. Uniquement le texte s'y rapportant est mis en brun.		09-INO-1058_B	<input type="checkbox"/>	
C				Code du scénario déterminé par le code de la fiche et la lettre du scénario	Indique si le scénario est calculé ou non	
...						

Figure 8 : Fiche de scénario, modèle explicatif

Une clé de lecture est disponible dans l'Annexe 9.1 et illustrée par 4 exemples distincts qui facilitent la lecture de la fiche des scénarios.

6 Résultats hydrauliques

6.1 Méthodologie

Modélisation des écoulements	Les modélisations hydrauliques calculent les effets sur le territoire des écoulements liés aux scénarios de débordement précédemment établis. Ces écoulements sont obtenus par la méthode suivante :
PSE	- A partir du périmètre d'étude ou du PSE redéfini, l'étendue de la surface à étudier est définie
Bâtiments	- A partir du cadastre des bâtiments, la surface du modèle est extrudée. La surface de chaque bâtiment est ainsi entourée d'un mur virtuel étanche d'une hauteur infinie. Les bâtiments d'une surface inférieure à 5 m ² sont automatiquement supprimés. La rugosité de base du modèle est admise à 0.035.
Routes	- A partir du cadastre des routes, la surface d'étude est délimitée de manière à pouvoir attribuer aux routes une rugosité de Manning réduite à 0.016. Lorsque la distance entre une route et un bâtiment (ou entre deux routes ou deux bâtiments) est inférieur à 2 m, une opération de simplification géométrique est exécutée manuellement.
Cours d'eau	- A partir du cadastre des cours d'eau, ces derniers sont distingués du reste de la surface d'étude pour obtenir un maillage rectangulaire dans le sens du cours d'eau. Ce type d'élément géométrique permet une meilleure approximation des écoulements dans le lit. La rugosité de Manning des cours d'eau est admise à 0.025. Le maillage rectangulaire est toutefois limité au cours d'eau d'importance.
Maillage	- A l'exception des cours d'eau, un maillage triangulaire est appliqué sur l'ensemble du modèle. Ce type de forme géométrique permet de respecter très exactement les frontières des différents objets (route, bâtiments, cours d'eau, limite de modèle). La taille des mailles est de l'ordre de 8 m ² .
Topographie	- Le maillage est interpolé linéairement avec le MNT-MO fourni par le mandant. Cette opération permet d'obtenir une altitude sur le sommet de chaque maille. Les incohérences du maillage sont ensuite corrigées pour supprimer les éléments dont les angles sont trop aigus ou obtus ainsi que ceux dont les pentes présentent des discontinuités. Les incohérences évidentes du MNT-MO sont finalement corrigées manuellement sur le maillage afin d'obtenir la plus grande vraisemblance avec le territoire réel (murs anti-bruit de l'autoroute, talus importants, bruit lié aux arbres, ruelles trop étroites inexistantes dans le MNT, ...). Cette correction intervient sur la base d'un premier calcul hydraulique du modèle, d'observations et de mesures géométriques in situ.
Apports hydrologiques	- Les apports hydrologiques sont introduits dans le cours d'eau le plus à l'amont du modèle sous la forme d'hydrogrammes (définis dans les

- scénarios). Les apports hydrologiques intermédiaires (liés aux bassins versants intermédiaires le long du cours d'eau) sont introduits dans le cours d'eau généralement dans la partie médiane du bassin versant additionnel (dans tous les cas à l'amont d'un ouvrage déterminant).
- Déversements
- Les débits déversés sont générés par la simulation hydraulique. Toutefois, la géométrie du modèle est adaptée pour reproduire la capacité de l'ouvrage déterminée par la fiche d'ouvrage (géométrie de l'ouvrage) et la fiche de scénario (comportement de l'ouvrage avec ou sans embâcle, avec ou sans déposition de matériau solide). Le débit déversé est ainsi implicitement calculé par différence entre le débit incident et la capacité liée au fonctionnement souhaité de l'ouvrage.
- Retour du débit
- De la même manière, le modèle intègre implicitement le retour des débits dans le cours d'eau à l'aval des ouvrages ou au contraire leur divergence dans une autre direction.
- Simulation
- Le modèle numérique est finalement simulé avec le logiciel Basement [6] développé à la VAW de l'EPFZ, spécifiquement pour la simulation des écoulements plan (shallow water) liés à l'élaboration des cartes d'intensité. Fruit d'une recherche sur modèle numérique initiée il y a plus de 30 ans, ce logiciel est spécialement dédié à la modélisation des phénomènes naturels « Basic Environment for simulation of environmental and natural hazard simulation ». Par ailleurs ce logiciel intègre la problématique du transport sédimentaire (matière en suspension et charriage). Enfin, il est également capable d'associer des tronçons modélisés de manière unidimensionnelle à des zones modélisées bidimensionnellement. Il constitue à ce jour un logiciel à la pointe de l'état de l'art.
- Traitement des résultats
- Les résultats obtenus sont initialement une hauteur d'eau et un débit spécifique en chaque nœud du modèle (sommet des mailles). Le traitement de ce résultat double (hauteur et débit spécifique) permet par une densification de points interpolés d'obtenir un raster régulier avec une maille de 1 m. Seule la valeur déterminante entre la hauteur et le débit spécifique est retenu. L'ensemble des points sont ensuite classés en trois catégories (intensité faible, moyenne, forte selon les limites suggérées par la Confédération [7]). La transformation du raster en un shapefile est accompagnée d'une opération de lissage effectuée par comparaison avec les points voisins. Cette opération permet d'éliminer des artefacts liés à la densification ou aux effets de bord du modèle (éléments trop petit) et de simplifier les formes obtenues. Cette opération aboutit à la carte des intensités. Les cartes d'intensité sont générées par chaque période de retour associée à un scénario.
- Carte de dangers
- Les cartes de dangers sont finalement obtenues par agrégation des différentes cartes d'intensité selon la méthode préconisée par la Confédération [8].
- Validation in situ
- Finalement, les cartes d'intensité sont validées sur le terrain et corrigées manuellement si nécessaire pour prendre en compte les singularités locales de petites tailles non répertoriées par le MNT (et donc le modèle

numérique).

Les Figure 9, 10 et 11 présentent la transcription des résultats numériques en carte des intensités (CIN) puis carte des dangers (CDN).

Résultats numériques

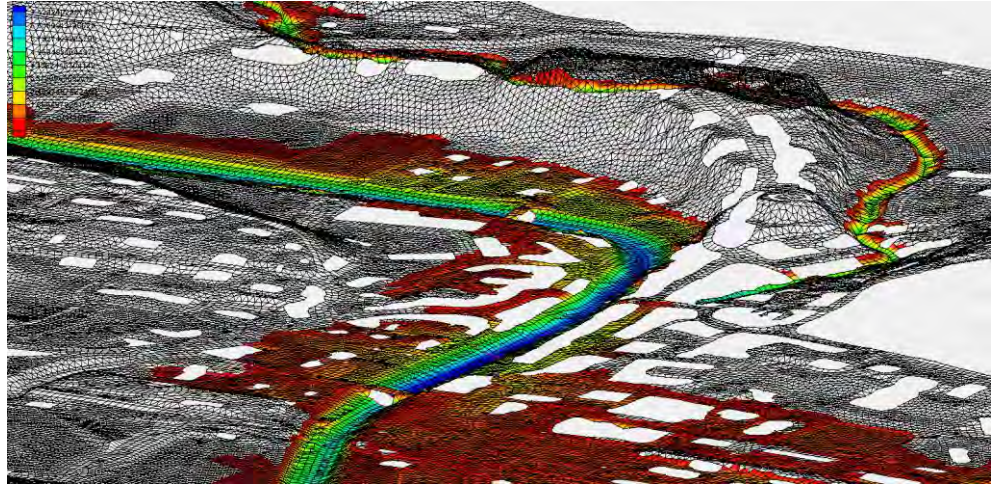


Figure 9 : Résultats bruts issus de la modélisation numérique

CIN

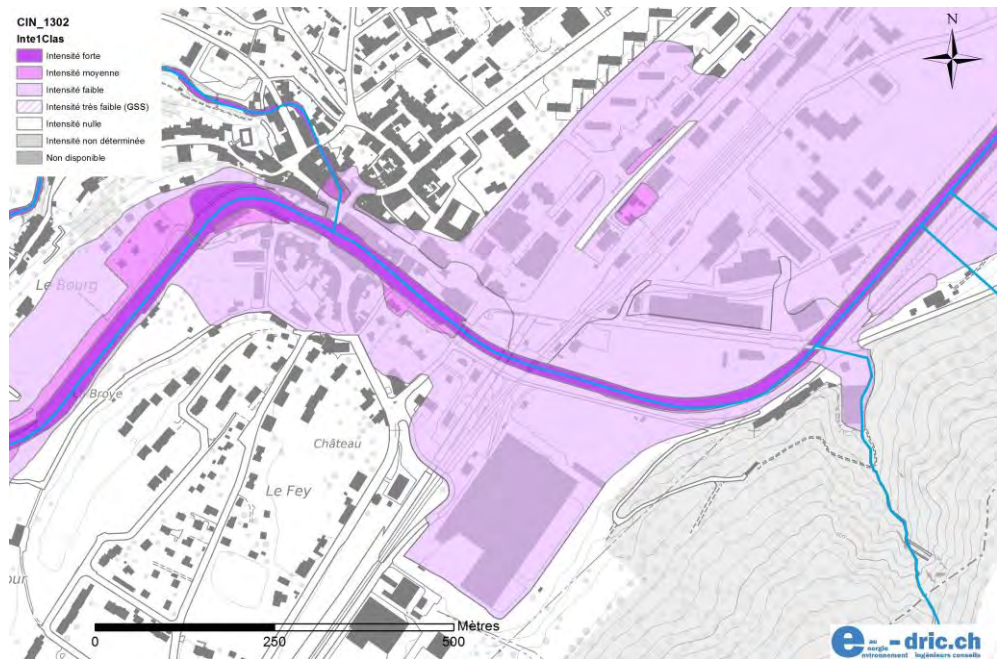


Figure 10 : Transcription en carte des intensités (CIN)

CDN

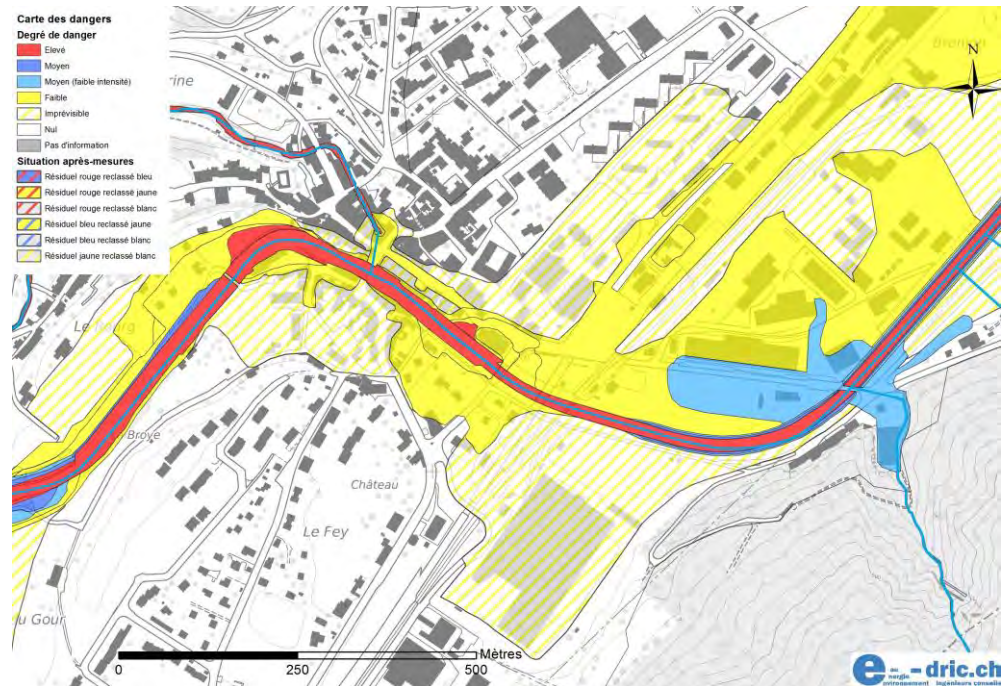


Figure 11 : Transcription en carte des dangers (CDN)

6.2 Données de base

Limitations des données de base

La méthode relativement sophistiquée qui a été développée permet de générer des résultats d'excellente qualité. Elle reste toutefois dépendante de la qualité des données d'entrée intégrée dans le modèle. En particulier la qualité du MNT-MO est déterminante pour les périmètres urbains. Or les données de base présentent les caractéristiques suivantes :

Calage des couches

- la superposition des différentes couches SIG (MNT, orthophoto, carte nationale, cadastre des routes, des cours d'eau et des bâtiments) présente des décalages entre elles.

Cours d'eau

- Le cadastre des cours d'eau est souvent mal positionné par rapport au MNT (ou l'orthophoto). L'axe de ce dernier ne se situe pas au point bas mesuré ni même parfois dans la surface d'eau donnée par l'orthophoto. En conséquence, la génération de profil en travers s'avère délicate.
- Sur ce même cadastre, le linéaire des cours d'eau n'est pas toujours continu. La génération automatique du profil en long conduit ainsi à des sauts ou des retours en arrière qui rendent le résultat inutilisable.

MNT

- Le MNT manque de précision notamment dans les zones urbaines en présence d'arbre (parc, bordure d'avenue). Ceci conduit à des surélévations irréalistes qui doivent être corrigées. Les ruelles trop étroites sont également mal représentées (ou inexistantes).

Périmètres

- Certains périmètres présentent des recouvrements ou des écarts sur leurs limites. Ceci provient probablement de l'absence de la fonction « accrochage » lorsqu'ils ont été générés. La reprise intégrale de ces limites peut ainsi conduire à la duplication des résultats.

Corrections
apportées

En conséquence, et pour garder la méthode développée, un important travail manuel a été accompli pour corriger les données de base. Notamment, les cours d'eau ont été remplacés par croisement avec d'autres sources (orthophoto, point bas du MNT). Leur linéaire a également été travaillé pour obtenir une ligne continue d'aval en amont. Le MNT a finalement été largement corrigé sur la base des résultats numériques pour aboutir à la carte des intensités la plus crédible possible. Le lissage final des résultats a également été développé dans cette direction.

6.3 Produits résultants

L'ensemble des résultats sous forme cartographique (intensité, dangers, phénomènes, résultats synthétiques des dangers, conflits et mesures de protection) est traité par cours d'eau et présenté par périmètre. Un rapport détaillé est fourni pour chaque commune pour les périmètres la concernant.

7 Conclusions

Méthodologie dans les règles de l'art	Les cartes de dangers relatives à l'aléa "Inondation" sont élaborées selon une méthodologie qui prend soin de déterminer l'hydrologie, qui modélise les écoulements au plus proches de la réalité puis dont la vraisemblance est validée sur le terrain. La méthodologie adoptée est cohérente avec celle imposée par l'OFEV mais adaptée particulièrement aux grands cours d'eau. En effet, l'utilisation de cette méthodologie pour les cours d'eau de plus petites tailles pouvant s'apparenter au ruissellement de surface est moins appropriée, dû à des effets d'échelle.
Hypothèses conservatrices	Les hypothèses d'entrée, principalement les débits et le risque d'obstruction par embâcle sont de manière générale jugés sévères, conduisant le plus souvent à des résultats maximisant le danger mais ayant l'avantage d'être sécuritaire.
Modifications écoulement Validité cartes	Une attention particulière doit être accordée aux modifications apportées sur le territoire susceptibles d'affecter l'écoulement du cours d'eau dans son lit ou sur sa trajectoire de débordement. En effet, des modifications de l'écoulement en amont du cours d'eau impactent nécessairement l'aval et modifient ainsi la validité des cartes de dangers actuelles. Ces dernières sont finalement un produit dynamique qui pour être valides doivent régulièrement être mises à jour selon les modifications du territoire.
Carte indicative	Cependant les cartes de dangers permettent de réduire drastiquement l'étendue de la carte indicative des dangers faites à plus grande échelle mais avec moins de précision. Les cartes de dangers élaborées à plus petite échelle avec une meilleure précision du terrain permettent de donner une intensité ainsi qu'un temps de retour de l'aléa et au final d'extraire des parcelles qui initialement se trouvait dans la carte indicative. D'un autre côté, les cartes de dangers ne se substituent pas à des cartes de dangers de détails élaborées pour un degré de précision de l'ordre de la parcelle.
Petits cours d'eau	En résumé, les crues dites fréquentes concernent surtout les cours d'eau de petites tailles qui n'ont pas la capacité hydrauliques suffisantes ou qui s'obstruent facilement par embâcle. Ces débordements sont le plus souvent locaux et affectent des terrains présentant peu d'enjeux (peu voire pas d'habitations, étendue minimale). D'autre part, il y a des crues beaucoup moins fréquentes comme celles observées sur la Broye qui présente une capacité hydraulique suffisante pour les crues fréquentes mais qui pour les crues moins fréquentes peuvent s'étendre considérablement en affectant un territoire à forts enjeux. De manière générale, lorsque les débordements s'observent en région urbaine (Oron, Moudon, Lucens), des crues même de faibles intensités peuvent finalement causer des dégâts considérables.
Grands cours d'eau	
Débordements urbains	
Points critiques	Les principaux points critiques en considérant le degré de danger et la vulnérabilité de l'amont à l'aval: <ul style="list-style-type: none">– la zone industrielle à Forel (Grenet);– la zone bâtie à Oron (Flon d'Oron et Grenet);– la zone bâtie à Servion (Flon et Géseau);

- la zone bâtie à Montpreveyres (cours d'eaux sans nom);
- la Bressonne à Ecorche-Bœuf;
- le Neyrevaux au moulin de Peney;
- le Carrouge à Bressonaz;
- la caserne à Moudon (Ropraz);
- la zone bâtie à Moudon (Broye, Mérine, Brasserie);
- le Russalet et le ruisseau sans nom à Oulens sur Lucens;
- la zone bâtie de Lucens (Cerjaule).

Cette étude a été réalisée par : M. Olivier Le Doucen, Ms. Hydraulique LCH-EPFL
M. Mathieu Oreiller, MS Hydrologie INRS
Dr Philippe Heller, Ing. civ. Dipl. EPFL
Dr Frédéric Jordan, Ing. civ. Dipl. EPFL

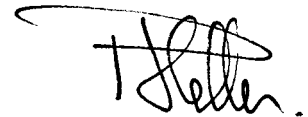
Fait à Lausanne, le 17 août 2015.

e-dric.ch

eau énergie environnement ingénieurs conseils

Dr Frédéric Jordan

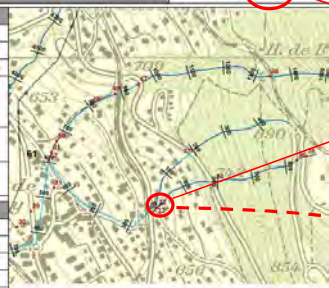
Dr Philippe Heller



8 Références

- [1] RS
- [2] Laigle, Dominique (2001) « Risques d'obstruction des cours d'eau et débâcles brutales », Cemagref, Unité de recherche Erosion Torrentielle, Neige et Avalanches, http://www.risknat.org/projets/riskydrogeo/docs/guide_pratique/Activite1_Ateliers/Presentations%20Atelier3/A3P9-%20Laigle%20CEMAGREF.pdf
- [3] Froehlich, David (1995) « Peakoutflow from Breached Embankment Dam », Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 121, n° 1.
- [4] Webby, Grant (1996) « Discussion on Peakoutflow from Breached Embankment Dam », Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 122, n° 4.
- [5] GHO (1999) « Recommandations concernant l'estimation de la charge sédimentaire dans les torrents », Groupement de travail pour l'hydrologie opérationnelle (GHO), Communication Nr. 4a, Partie I et II, Berne 1999.
- [6] System Manuals of Basement, Version 2.0, Prof Dr Robert Boes, VAW, ETH Zurich, May, 2010.
- [7] Dangers naturels – Recommandations, Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire, OFEE – OFAT – OFEFP, Berne, 1997.
- [8] Protection contre les crues des cours d'eau, Directive de l'OFEG, DETEC, Berne, 2001.

Fiches des scénarios		09-INO-3061	
Localisation de l'axe			
Périmètre n°	61	Localisation (Bionay)	
Commune	Bionay		
Secteur/BV	BV Gesreau 104	Tronçon Ruisseau de Tollettes + 2 x sans nom	
Description			
Source du ruisseau dans la partie amont en zone de forêt relativement pentue puis traversée du village de Bionay en souterrain			
Enjeux			
Habitations, Chemin de fer Bionay - Les Pléiades			
Références			
rapport photos			
Evénements recensés			
1	1900 Q2 13	Inondations crues (év. 5881-INO-1900Q213-01)	
2	1994 O5 19	Inondations crues (év. 5881-INO-1994O519-01)	
3	1903 O8 15	Inondations crues (év. 5881-INO-1903O815-01)	
4	1902 O7 23	Inondations crues (év. 5881-INO-1902O723-01)	
Phénomènes et processus			
Phénomènes de base			
00	Q / V eau claire	Q30 / Q100 / Q300 / EHQ	
Processus associés			
A1	V solide	Vs30 / Vs100 / Vs300 / VsEHQ	
Remarques			
Phénomènes aggravants		Activité	Probabilité d'occurrence / Volumes / Hauteurs
Obstruction/embâcle		Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
O1	Eboulement/Glissement		
O2	Line tonneilière / Aval		
O3	Ibars flottant	Présence importante de forêt	AG averti 1 1 1 1
On	Autre		
Réduction capacité hydraulique		Cause Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
H1	Ouvrage 35	O3 H 0.5 / L 1.0 m, km 860	AG n-avéré 1 1 1 1
H2	Ouvrage 36	O3 H 1.4 / L 1.5 m, km 840 (protégé par le 35)	AG n-avéré 0 0 0 0
H3	Ouvrage 34	O3 H 1.4 / L 1.0 m, km 550	AG n-avéré 1 1 1 1
H4	Ouvrage 32	O3 Diamètre 0.5 m, km 405	AG n-avéré 1 1 1 1
H5	Ouvrage 37	O3 H 1.0 / L 0.9 m, km 198	AG n-avéré 1 1 1 1
H6	Ouvrage 38	O3 H 2.4 / L 3.0 m, km 1345	AG n-avéré 1 1 1 1
H7	Ouvrage 47	O3 H 2.0 / L 1.0 m, km 950	AG n-avéré 1 1 1 1
H8	Ouvrage 48	O3 H 2.5 / L 1.2 m, km 895	AG n-avéré 1 1 1 1
H9	Ouvrage 49	O3 Diamètre 0.8 m, km 805	AG n-avéré 1 1 1 1
H10	Ouvrage 50	O3 Diamètre 0.8 m, km 625	AG n-avéré 1 1 1 1
H11	Ouvrage 51	O3 Diamètre 0.8 m, km 630	AG n-avéré 1 1 1 1
H12	Ouvrage 52	O3 Diamètre 0.8 m, km 602 (protégé par 50 et 51)	AG n-avéré 0 0 0 0
H13	Ouvrage 31	O3 Diamètre 0.8 m, km -- (protégé par 50 et 51)	AG n-avéré 0 0 0 0
H14	Ouvrage 29	O3 Diamètre 0.8 m, km -- (protégé par 50 et 51)	AG n-avéré 0 0 0 0
H15	Ouvrage 30	O3 Diamètre 0.8 m, km -- (protégé par 50 et 51)	AG n-avéré 0 0 0 0
Appostérion		Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
E1	Erosion berges		
E2	Incoercivité/éclat		
E3	Abaissement [m]		
E4	Déstabilisation ouvrage		
Réduction capacité hydraulique		Cause Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
D0			



1. Périmètre 61

2. Ouvrage 32, situé au km 400 environ

3. Ouvrage 32: risque d'embâcle pour Q30, Q100, Q300 et EHQ

4. Ouvrage 32: déversement sans retour (couleur rouge), cause embâcle (Q30 et Q100), également cause capacité (Q300 et EHQ). Totalité du débit pouvant être déversé

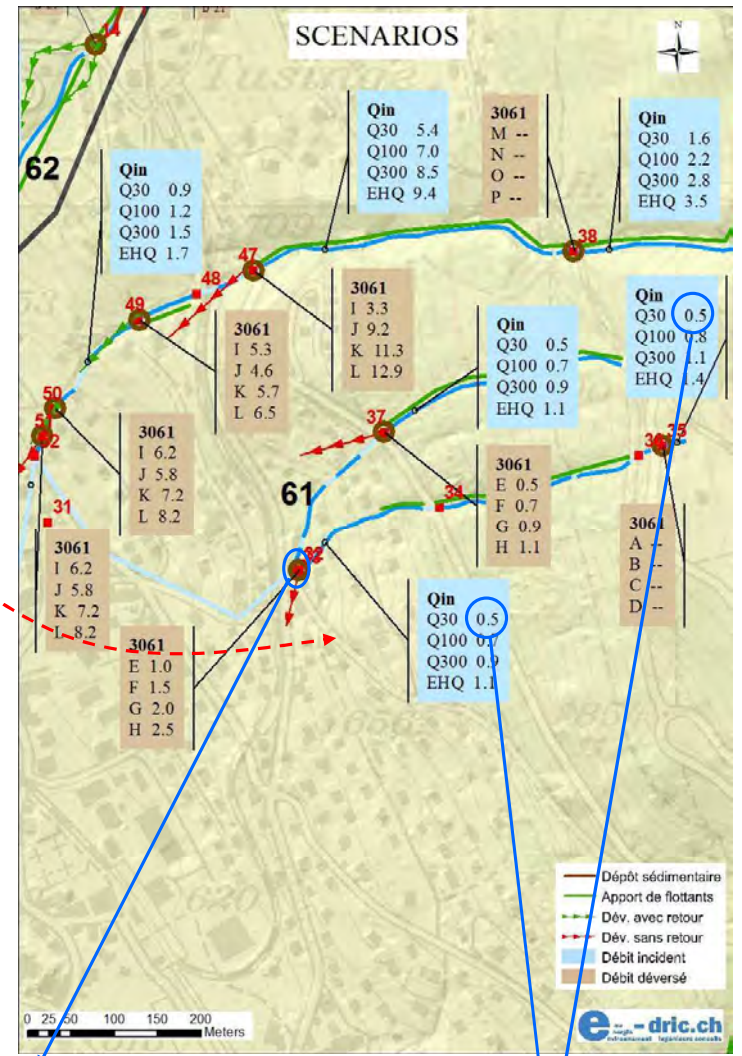
Débit maximal de crue				
Grandeurs déterminantes par occurrence : débit crue [m³/s] - débit déversé avec Vs sans embâcle [m³/s] - débit déversé avec Vs avec embâcle [m³/s]				
Grandeurs Dimensions	Fréquence élevée 30 ans	Fréquence moyenne 100 ans	Fréquence rare 300 ans	Evénement extrême > 300 ans
Ruisseau sans nom km 880 - 0				
Ouvrage 35	0.5 - 0.0 - 0.5	0.8 - 0.0 - 0.8	1.1 - 0.0 - 1.1	1.4 - 0.0 - 1.4
Ouvrage 36	0.5 - 0.0 - --	0.8 - 0.0 - --	1.1 - 0.0 - --	1.4 - 0.0 - --
Ouvrage 34	0.5 - 0.0 - 0.0	0.8 - 0.0 - 0.0	1.1 - 0.0 - 0.0	1.4 - 0.0 - 0.0
Ouvrage 32	1.8 - 0.8 - 1.0	1.6 - 0.0 - 1.6	2.0 - 0.4 - 2.0	2.6 - 0.9 - 2.5
Ruisseau sans nom km 460 - 0				
Ouvrage 37	0.5 - 0.0 - 0.5	0.7 - 0.0 - 0.7	0.9 - 0.0 - 0.9	1.1 - 0.0 - 1.1
Ruisseau de Tollettes, km 1800 - 0				
Ouvrage 38	1.6 - 0.0 - 1.6	2.2 - 0.0 - 2.2	2.8 - 0.0 - 2.8	3.5 - 0.0 - 3.5
Ouvrage 47	7.0 - 0.0 - 3.3	9.2 - 0.8 - 9.2	11.3 - 2.9 - 11.3	12.9 - 4.5 - 12.9
Ouvrage 48	7.0 - 0.0 - 0.0	9.2 - 0.0 - 0.0	11.3 - 0.0 - 0.0	12.9 - 0.0 - 0.0
Ouvrage 49	7.0 - 1.9 - 7.0	9.2 - 4.0 - 9.2	11.3 - 6.2 - 11.3	12.9 - 7.8 - 12.9
Ouvrage 50	7.9 - 2.2 - 7.9	10.4 - 4.6 - 10.4	12.8 - 7.1 - 12.8	14.6 - 8.9 - 14.6
Ouvrage 51	7.8 - 4.6 - 7.9	10.4 - 6.4 - 10.4	12.8 - 8.9 - 12.8	14.6 - 10.7 - 14.6
Ouvrage 52	7.9 - 3.5 - --	10.4 - 6.0 - --	12.8 - 8.4 - --	14.6 - 10.2 - --
Ouvrage 31	8.6 - 4.3 - --	11.3 - 7.0 - --	13.9 - 9.6 - --	15.9 - 11.6 - --
Ouvrage 29	8.6 - 5.9 - --	11.3 - 8.6 - --	13.9 - 11.2 - --	15.9 - 13.2 - --
Ouvrage 30	8.6 - 5.9 - --	11.3 - 8.6 - --	13.9 - 11.2 - --	15.9 - 13.2 - --

Scénarios					
N°	Description des scénarios	Commentaire	Occ	Code scénario	CIN
A	B0_30 A1_30 H1	Ouvrage 35 obstrué par embâcle	30	09-INO-3061_A	<input type="checkbox"/>
B	B0_100 A1_100 H1	Ouvrage 35 obstrué par embâcle	100	09-INO-3061_B	<input type="checkbox"/>
C	B0_300 A1_300 H1	Ouvrage 35 obstrué par embâcle	300	09-INO-3061_C	<input type="checkbox"/>
D	B0_EHQ A1_EHQ H1	Ouvrage 35 obstrué par embâcle	EHQ	09-INO-3061_D	<input type="checkbox"/>
E	B0_30 A1_30 H4 H5	Ouvrage 32 et 37 obstrués par embâcle	30	09-INO-3061_E	<input checked="" type="checkbox"/>
F	B0_100 A1_100 H4 H5	Ouvrage 32 et 37 obstrués par embâcle	100	09-INO-3061_F	<input checked="" type="checkbox"/>
G	B0_300 A1_300 H4 H5	Ouvrage 32 et 37 obstrués par embâcle	300	09-INO-3061_G	<input checked="" type="checkbox"/>
H	B0_EHQ A1_EHQ H4 H5	Ouvrage 32 et 37 obstrués par embâcle	EHQ	09-INO-3061_H	<input checked="" type="checkbox"/>
I	B0_30 A1_30 H7 H9 H10 H11	Ouvrages 37, 49, 50 et 51 obstrués par embâcle	30	09-INO-3061_I	<input checked="" type="checkbox"/>

5. Scénarios calculés dans CIN et considérant l'ouvrage 32

Exemple 1 : ouvrage avec débordement

Sur carte scénarios: uniquement processus calculés dans CIN. Scénarios non calculés = non représentés ici.

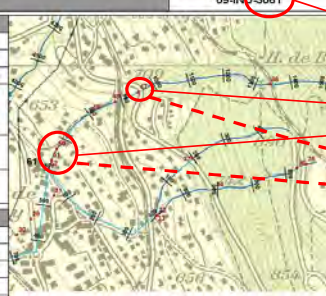


7. Ouvrage 32: débit déversé max Q30=1.0 m³/s (estimation). Sans retour, en direction de la route probablement.

6. Ouvrage 32: débit incident max Q30=0.5+0.5=1 m³/s

Voir scénario E

Localisation de l'axe	
Périmètre n°	61
Commune	Bionay
Secteur/BV	BV Gesreau 104
Description	Tronçon Ruisseau de Tollettes + 2 x sans nom
Enjeux	Habitations, Chemin de fer Bionay - Les Plânières
Références	report photos
Evénements recensés	
1	1900 Q2 13 Inondations crues (év. 5881-INO-1900Q213-01)
2	1994 O5 19 Inondations crues (év. 5881-INO-1994O519-01)
3	1993 O8 15 Inondations crues (év. 5881-INO-1993O815-01)
4	1992 O7 23 Inondations crues (év. 5881-INO-1992O723-01)
Phénomènes et processus	
Phénomènes de base	
00	Q / V eau claire Q30 / Q100 / Q300 / EHQ
Processus associés	
A1	V solide Vs30 / Vs100 / Vs300 / VsEHQ
Remarques	



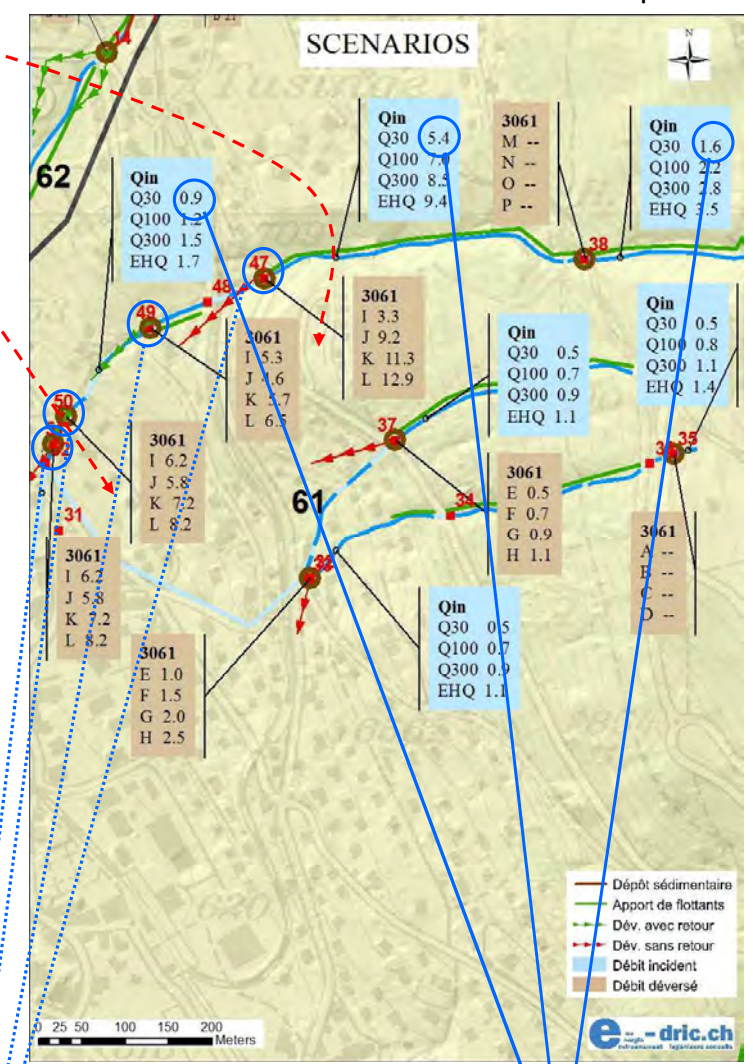
Phénomènes aggravants	Activité	Probabilité d'occurrence / Volumes / Hauteurs
Obstruction/embâcle	Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
O1	L'entraînement/dérèglement	
O2	Lame torrentielle / Aval	
O3	Bois flottant	Présence importante de forêt AG
O4	Autre	
Réduction capacité hydraulique	Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
H1	Ouvrage 35	H 0.5 / L 1.0 m, km 600 AG
H2	Ouvrage 36	H 1.4 / L 1.5 m, km 640 (protégé par 50) AG
H3	Ouvrage 34	H 1.4 / L 1.0 m, km 530 AG
H4	Ouvrage 32	Diamètre 0.5 m, km 405 AG
H5	Ouvrage 37	H 1.0 / L 0.9 m, km 198 AG
H6	Ouvrage 38	H 2.4 / L 3.0 m, km 1345 AG
H7	Ouvrage 47	H 2.0 / L 1.0 m, km 950 AG
H8	Ouvrage 48	H 2.5 / L 1.2 m, km 895 AG
H9	Ouvrage 49	Diamètre 0.8 m, km 305 AG
H10	Ouvrage 50	Diamètre 0.8 m, km 665 AG
H11	Ouvrage 51	Diamètre 0.8 m, km 630 AG
H12	Ouvrage 52	Diamètre 0.8 m, km 602 (protégé par 50 et 51) AG
H13	Ouvrage 31	Diamètre 0.8 m, km - (protégé par 50 et 51) AG
H14	Ouvrage 29	Diamètre 0.8 m, km - (protégé par 50 et 51) AG
H15	Ouvrage 30	Diamètre 0.8 m, km - (protégé par 50 et 51) AG
Apport érosion	Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
E1	Erosion berges	
E2	Incision/érosion lit	
E3	Alluvionnement [m³]	
E4	Désajustement ouvrage	
Réduction capacité hydraulique	Cause	Commentaire
D0		
Remarques: La conduite de dérivation de l'ouvrage 47 n'est pas considérée à cause de son risque d'obstruction (diamètre de prise d'envois 50 cm)		

Grandeur	Débit maximal de crue			
	Fréquence élevée 30 ans	Fréquence moyenne 100 ans	Fréquence rare 300 ans	Evénement extrême > 300 ans
Ruisseau sans nom km 880 - 0				
Ouvrage 35	0.5 - 0.0 - 0.5	0.8 - 0.0 - 0.8	1.1 - 0.0 - 1.1	1.4 - 0.0 - 1.4
Ouvrage 36	0.5 - 0.0 - 0.5	0.8 - 0.0 - 0.8	1.1 - 0.0 - 1.1	1.4 - 0.0 - 1.4
Ouvrage 34	0.5 - 0.0 - 0.0	0.8 - 0.0 - 0.0	1.1 - 0.0 - 0.0	1.4 - 0.0 - 0.0
Ouvrage 32	1.8 - 0.0 - 1.8	1.5 - 0.0 - 1.5	2.0 - 0.4 - 2.0	2.5 - 0.9 - 2.5
Ruisseau sans nom km 460 - 0				
Ouvrage 37	0.5 - 0.0 - 0.5	0.7 - 0.0 - 0.7	0.9 - 0.0 - 0.9	1.1 - 0.0 - 1.1
Ruisseau de Tollettes, km 1800 - 0				
Ouvrage 38	1.6 - 0.0 - 1.6	2.2 - 0.0 - 2.2	2.8 - 0.0 - 2.8	3.5 - 0.0 - 3.5
Ouvrage 47	7.0 - 0.0 - 3.3	9.2 - 0.8 - 9.2	11.3 - 2.9 - 11.3	12.9 - 4.5 - 12.9
Ouvrage 48	7.0 - 0.0 - 0.0	9.2 - 0.0 - 0.0	11.3 - 0.0 - 0.0	12.9 - 0.0 - 0.0
Ouvrage 49	7.0 - 1.9 - 7.0	9.2 - 4.0 - 9.2	11.3 - 6.2 - 11.3	12.9 - 7.8 - 12.9
Ouvrage 50	7.9 - 2.2 - 7.9	10.4 - 4.6 - 10.4	12.8 - 7.1 - 12.8	14.6 - 8.9 - 14.6
Ouvrage 51	7.9 - 4.0 - 7.9	10.4 - 5.4 - 10.4	12.8 - 8.3 - 12.8	14.6 - 10.7 - 14.6
Ouvrage 52	7.9 - 3.5 - 7.9	10.4 - 6.0 - 10.4	12.8 - 8.4 - 12.8	14.6 - 10.2 - 14.6
Ouvrage 31	8.6 - 4.3 - 8.6	11.3 - 7.0 - 11.3	13.9 - 9.6 - 13.9	15.9 - 11.6 - 15.9
Ouvrage 29	8.6 - 5.9 - 8.6	11.3 - 8.6 - 11.3	13.9 - 11.2 - 13.9	15.9 - 13.2 - 15.9
Ouvrage 30	8.6 - 5.9 - 8.6	11.3 - 8.6 - 11.3	13.9 - 11.2 - 13.9	15.9 - 13.2 - 15.9

Scénarios				
N°	Description des scénarios	Commentaire	Occ	Code scénario CIN
A	B0_30 A1_30 H1	Ouvrage 35 obstrué par embâcle	30	09-INO-3061_A
B	B0_100 A1_100 H1	Ouvrage 35 obstrué par embâcle	100	09-INO-3061_B
C	B0_300 A1_300 H1	Ouvrage 35 obstrué par embâcle	300	09-INO-3061_C
D	B0_EHQ A1_EHQ H1	Ouvrage 35 obstrué par embâcle	EHQ	09-INO-3061_D
E	B0_30 A1_30 H4 H5	Ouvrages 32 et 37 obstrués par embâcle	30	09-INO-3061_E
F	B0_100 A1_100 H4 H5	Ouvrages 32 et 37 obstrués par embâcle	100	09-INO-3061_F
G	B0_300 A1_300 H4 H5	Ouvrages 32 et 37 obstrués par embâcle	300	09-INO-3061_G
H	B0_EHQ A1_EHQ H4 H5	Ouvrages 32 et 37 obstrués par embâcle	EHQ	09-INO-3061_H
I	B0_30 A1_30 H7 H9 H10 H11	Ouvrages 47, 49, 50 et 51 obstrués par embâcle	30	09-INO-3061_I
J	B0_100 A1_100 H7 H9 H10 H11	Ouvrages 47, 49, 50 et 51 obstrués par embâcle	100	09-INO-3061_J
K	B0_300 A1_300 H7 H9 H10 H11	Ouvrages 47, 49, 50 et 51 obstrués par embâcle	300	09-INO-3061_K
L	B0_EHQ A1_EHQ H7 H9 H10 H11	Ouvrages 47, 49, 50 et 51 obstrués par embâcle	EHQ	09-INO-3061_L
M	B0_30 A1_30 H6 H11	Ouvrages 38, 52, 31, 29 et 30	30	09-INO-3061_M

Exemple 2 : ouvrages en série avec débordement

Sur carte scénarios: uniquement processus calculés dans CIN. Scénarios non calculés = non représentés ici.



1. Périmètre 61

2. Ouvrages 47, 49, 50 et 51

3. Ouvrages 47, 49, 50 et 51: risque d'embâcle pour Q30, Q100, Q300 et EHQ

4. Ouvrage 47: déversement sans retour (couleur rouge), cause embâcle (Q30 et Q100), également cause capacité (Q300 et EHQ).

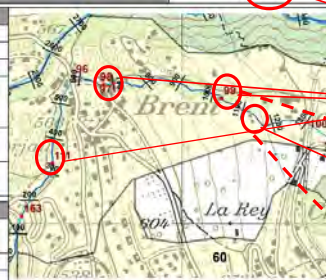
Ouvrage 49: déversement avec retour (vert), cause embâcle et capacité
 Ouvrage 50: déversement avec retour (vert), cause embâcle et capacité.
 Ouvrage 51: déversement sans retour, cause embâcle et capacité.

5. Scénarios calculés dans CIN et considérant les ouvrages 47, 50 et 51

7. Ouvrage 47: débit déversé max Q30=3.3 m³/s (estimation).
 Ouvrage 49: débit déversé max Q30=7.0-3.3/2=5.3 (estimation, car moitié du débit perdu en amont)
 Ouvrage 50: débit déversé max Q30=7.0+0.9-3.3/2-0=6.2. Estimation, solde de 7.9 (incident max) -1.7 (déversé sans retour au 47)
 Ouvrage 51: débit déversé max Q30=7.0+0.9-3.3/2-0=6.2. Estimation, solde de 7.9 - 3.5 (car 50 déverse avec retour)
 Voir scénario I

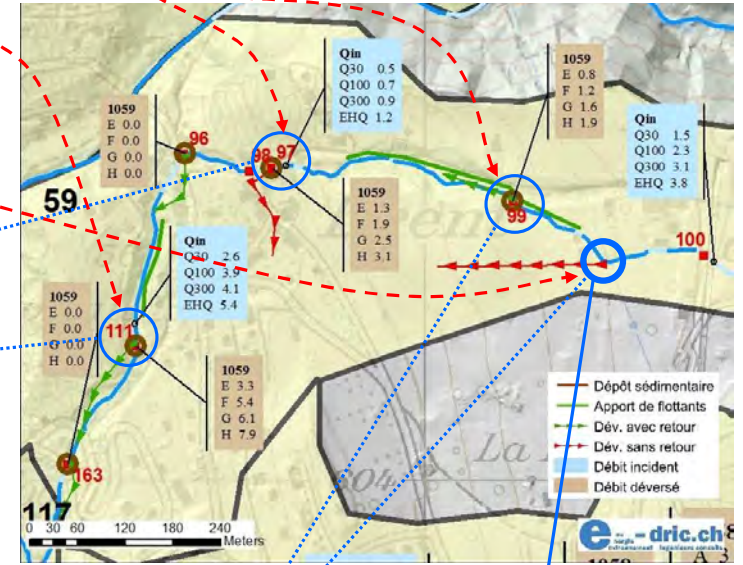
6. Ouvrage 47: débit incident max Q30=1.6+5.4=7.0 m³/s
 Ouvrages 50 et 51: débit incident max=1.6+5.4+0.9=7.9 m³/s

Fiches des scénarios		09-INO-1059	
Localisation de l'alerte			
Périmètre n°	69	Localisation	Cornaux - Brent - Bopau
Commune	Montreux		
Secteur/BV	BV Getseux 988	Tronçon	Ruisseau de Brent
Description			
Maraîchage amont (Chaudin), champ et pâturages, forêt puis village de Brent avant de rejoindre la Baye de Clares			
Enjeux			
Habitations, mini-centrale hydroélectrique			
Références			
neon, dikes			
Evénements recensés			
1	1985 06 19	Eau dans le tunnel CFF de Cornaux (év. 5995-INO-19890619-01)	
2	1993 06 19	Inondations crues (év. 5995-INO-19930619-02)	
3	1979 01 27	Inondations crues (év. 5995-INO-19790127-01)	
Phénomènes et processus			
Phénomènes de base			
B0	G / V eau claire	Q30 / Q100 / Q300 / EHQ	
Processus associés			
A1	V solide	Va30 / Va100 / Va300 / VtEHO	
Remarques			
Phénomènes aggravants			
Obstruction/embâcle		Commentaires	Activité
O1	Etablissement/Occlusion		Indice
O2	Lave torrentielle / Aval		30 100 300 EHQ
O3	Bas fluvial	présence importante de forêt	
O4	Autre	Obstruction profil irrégulier	
Réduction capacité hydraulique			
H1	Ouvrage 100	Cauve	Commentaires
H2	Ouvrage 99		Effet
H3	Ouvrage 97		Indice
H4	Ouvrage 96		30 100 300 EHQ
H5	Ouvrage 96		
H6	Ouvrage 111		
H7	Ouvrage 163		
H8	km 1170		
Appoint/érosion			
E1	Erosion bergée	Erosion latérale concentrée, profil 1000, 150 m3	Indice
E2	Incision/érosion lit	Incision du lit entre les profils 800 à 1030, 400 m3	30 100 300 EHQ
E3	Alluvionnement [m³]		
E4	Déstabilisation ouvrage		
Réduction capacité hydraulique			
D0			
Remarques			
Phénomènes atténuants			
Protection (ouvrage, forêt)		Commentaires	Protection
P1	Dépôtier	Bassin circulaire, profil 1040	Indice
Remarques			



Exemple 3 : tronçon et ouvrages en série avec débordement

Sur carte scénarios: uniquement processus calculés dans CIN. Scénarios non calculés = non représentés ici.



4. Tronçon km 1170, risque obstruction

9. Ouvrage 97: débit déversé max $Q30=1.5+0.5-1.5/2=1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (estimation), car perte au tronçon 1170 et aucune perte à l'ouvrage 99 (déversement avec retour).
 Ouvrage 111: débit déversé max $Q30=1.5+0.5+2.6-1.5/2-1.3/2=3.3$ (estimation, car moitié du débit perdu ouvrage 99 et ouvrage 97)

Voir scénario E

8. Tronçon km 111: débit déversé max $Q30=1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (estimation), pas de box car tronçon et pas ouvrage. Ouvrage 99: débit déversé max $Q30=1.5-1.5/2=0.8$ (estimation, car moitié du débit perdu en amont)

Voir scénario E

5. Tronçon 1170: déversement sans retour (couleur rouge), cause obstruction, et capacité limitée.
 Ouvrage 99: déversement avec retour, cause embâcle et capacité
 Ouvrage 97: déversement sans retour, cause embâcle et capacité.
 Ouvrage 111: déversement avec retour, cause embâcle et capacité.

6. Scénarios calculés dans CIN et considérant les ouvrages 99, 97, 111 et tronçon km 1170

7. Tronçon 1170 et ouvrage 99: débit incident max $Q30=1.5 \text{ m}^3/\text{s}$
 Ouvrage 97: débit incident max $=1.5+0.5=2.0 \text{ m}^3/\text{s}$
 Ouvrage 111: débit incident max $=1.5+0.5+2.6=4.6 \text{ m}^3/\text{s}$

Débit maximal de crue			
Grandeurs déterminantes par occurrence : débit crue [m³/s] - débit déversé avec Vs sans embâcle [m³/s] - débit déversé avec Vs avec embâcle [m³/s]			
Grandeurs / Dimensions	Fréquence élevée / 30 ans	Fréquence moyenne / 100 ans	Evénement extrême / >300 ans
Ruisseau de Brent km 1900 - 0			
Ouvrage 100	1.5 - 0.6 - --	2.3 - 1.3 - --	3.1 - 2.1 - --
km 1170	1.5 - 1.5 - 1.5	2.3 - 2.3 - 2.3	3.1 - 3.1 - 3.1
Ouvrage 99	1.5 - 0.6 - 1.5	2.3 - 1.3 - 2.3	3.1 - 2.1 - 3.1
Ouvrage 97	1.5 - 1.5 - 1.5	2.3 - 2.3 - 2.3	3.1 - 3.1 - 3.1
Ouvrage 96	2.0 - 0.0 - --	3.0 - 0.0 - --	4.0 - 0.0 - --
Ouvrage 96	2.0 - 0.0 - --	3.0 - 0.0 - --	4.0 - 0.0 - --
Ouvrage 111	4.6 - 1.5 - 4.6	6.9 - 3.8 - 6.9	8.1 - 5.0 - 8.1
Ouvrage 163	4.6 - 0.0 - --	6.9 - 0.0 - --	8.1 - 0.0 - --

Scénarios					
N°	Description des scénarios	Commentaire	Occ.	Code scénario	CIN
A	B0_30_A1_30	Ouvrage 100, capacité limitée de la conduite souterraine	30	09-INO-1059_A	
B	B0_100_A1_100	Ouvrage 100, capacité limitée de la conduite souterraine	100	09-INO-1059_B	
C	B0_300_A1_300	Ouvrage 100, capacité limitée de la conduite souterraine	300	09-INO-1059_C	
D	B0_EHQ_A1_EHQ	Ouvrage 100, capacité limitée de la conduite souterraine	EHQ	09-INO-1059_D	
E	B0_EHQ_A1_30_H2_H3_H6_H8	km 1170 obstrué, ouvrages 99, 97 et 111 obstrués par embâcle (effet renforcé par sédiments), débordement à l'ouvrage 96 sans embâcle	30	09-INO-1059_E	✓
F	B0_100_A1_100_H2_H3_H6_H8	km 1170 obstrué, ouvrages 99, 97 et 111 obstrués par embâcle (effet renforcé par sédiments), débordement à l'ouvrage 96 sans embâcle	100	09-INO-1059_F	✓
G	B0_300_A1_300_H2_H3_H6_H8	km 1170 obstrué, ouvrages 99, 97 et 111 obstrués par embâcle (effet renforcé par sédiments), débordement à l'ouvrage 96 sans embâcle	300	09-INO-1059_G	✓
H	B0_EHQ_A1_EHQ_H2_H3_H6_H8	km 1170 obstrué, ouvrages 99, 97 et 111 obstrués par embâcle (effet renforcé par sédiments), débordement aux ouvrages 96 et 163 sans embâcle	EHQ	09-INO-1059_H	✓

Fiches des scénarios		09-INO-1083
Localisation de l'aide		
Périmètre n°	03	Localisation: Chardonne - Corseaux
Commune	Chardonne et Corseaux	
Secteur/BV	BV GESREAU 546	R. des Curnilles, de Roseville, des Gonelles, du Chêne, de Chéneau, du Bugnon, et de Priolaz
Description	Ruisseau largement enterré avec des réalignements répartis dans le cadre de vignes qui descendent jusqu'à la rive du Léman. Cette fiche traite les périmètres 83 et 84	
Enjeux	Habitations, route du Lac, voirie CFF	
Références	rapport, photos	
Événements recensés		
1	1977 07 13	Inondations crues (év. 5882-INO-19770713-01)
1	1977 07 13	Inondations crues (év. 5883-INO-19770713-01)
1	1977 08 05	Inondations crues (év. 5883-INO-19770805-01)
1	1976 07 19	Inondations crues (év. 5883-INO-19760719-01)
Phénomènes et processus		
Phénomènes de base		
B0	Q / V eau claire	Q30 / Q100 / Q300 / EHQ
Processus associés		
A1	V solides	Vs30 / Vs100 / Vs300 / VsEHQ
Remarques		



Exemple 4 : probabilité $0 < p < 1$, occurrence du scenario

1. Périmètre 83

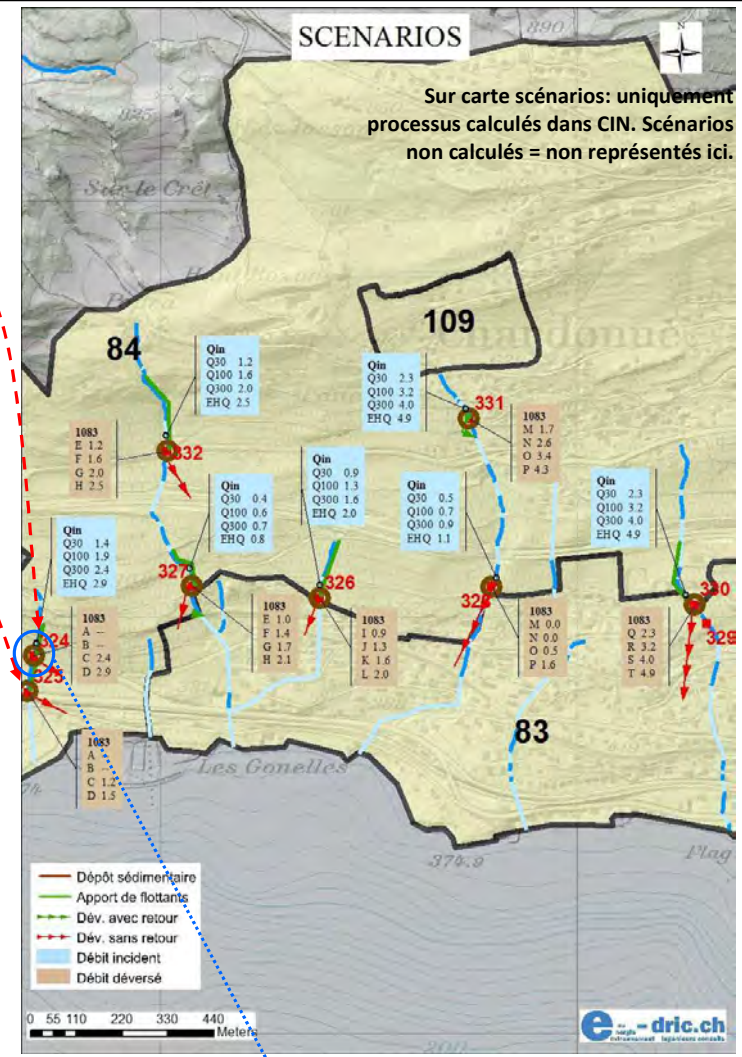
2. Ouvrages 324, 325

3. Ouvrages 324, 325: risque d'embâcle pour Q30 probabilité d'occurrence 0.5
Q100 probabilité d'occurrence 0.8
Q300 probabilité d'occurrence 1.0
EHQ probabilité d'occurrence 1.0

4. Ouvrage 324: déversement sans retour (couleur rouge), cause embâcle (Q30, Q100, Q300 et EHQ).

5. Ouvrage 325: déversement sans retour (couleur rouge), cause embâcle (Q30, Q100, Q300 et EHQ).

6. Scénarios calculés dans CIN: C et D.
Scénario A (30 ans)
 $p = 30/0.5/0.5 = 120$ équivaut 300
Scénario B (100 ans)
 $p = 100/0.8/0.8 = 156$ équivaut 300
Les scénarios A et B sans processus aggravants ne conduisent pas à des débordements → non calculés



Sur carte scénarios: uniquement processus calculés dans CIN. Scénarios non calculés = non représentés ici.

Phénomènes aggravants	Activité	Probabilité d'occurrence / Volumes / Hauteurs
Obstruction/embâcle	Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
O1 Eboulement/Glisement		
O2 Lave torrentielle / Aval		
O3 Bois flottant	Présence de vigne et de sarments coupés	AG avéré 1 1 1 1
O4 Autre		
Réduction capacité hydraulique	Cause Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
H1 Ouvrage 324	Diamètre 0.5 m, km 225	AG n-avéré 0.5 0.8 1 1
H2 Ouvrage 325	H 1.0 m / L 1.0 m, km 170	AG n-avéré 0.5 0.8 1 1
H3 Ouvrage 332	Diamètre 0.4 m, km 785	AG n-avéré 1 1 1 1
H4 Ouvrage 327	H 1.0 m / L 0.7 m, km 410	AG n-avéré 1 1 1 1
H5 Ouvrage 326	H 0.5 m / L 0.45 m, km 415	AG n-avéré 1 1 1 1
H6 Ouvrage 331	Diamètre 0.4 m, km 1010	AG n-avéré 0 0 0 0
H7 Ouvrage 328	H 1.2 m / L 0.6 m, km 585	AG n-avéré 0 0 0 0
H8 Ouvrage 330	H 0.7 m / L 0.7 m, km 575	AG n-avéré 1 1 1 1
H9 Ouvrage 329	H 1.0 m / L 0.9 m, km 520 (protégé par le 330)	AG n-avéré 0 0 0 0
Apport/érosion	Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
E1 Erosion berges		
E2 Incision/érosion lit		
E3 Alluvionnement [m ²]		
E4 Déstabilisation ouvrage		
Réduction capacité hydraulique	Cause Commentaire	Effet Indice 30 100 300 EHQ
D0		
Remarques		
Phénomènes atténuants	Protection	Probabilité d'occurrence
Protection (ouvrage, forêt)	Commentaires	Effet Indice 30 100 300 EHQ
P1		
Remarques		

Grandes Dimensions	Événement extrême > 300 ans			
	Fréquence élevée 30 ans	Fréquence moyenne 100 ans	Fréquence rare 300 ans	Événement extrême > 300 ans
Ruisseau des Curnilles				
Ouvrage 324	1.4 - 0.0 - 1.4	1.9 - 0.0 - 1.9	2.4 - 0.3 - 2.4	2.9 - 0.8 - 2.9
Ouvrage 325	1.4 - 0.0 - 1.4	1.9 - 0.0 - 1.9	2.4 - 0.0 - 2.4	2.9 - 0.0 - 2.9
Ruisseau des Gonelles				
Ouvrage 332	1.2 - 0.3 - 1.2	1.6 - 0.3 - 1.6	2.0 - 1.2 - 2.0	2.5 - 1.6 - 2.5
Ouvrage 327	1.6 - 0.0 - 1.6	2.2 - 0.0 - 2.2	2.7 - 0.0 - 2.7	3.3 - 0.4 - 3.3
Ruisseau de Chêne				
Ouvrage 326	0.9 - 0.0 - 0.9	1.3 - 0.4 - 1.3	1.6 - 0.7 - 1.6	2.0 - 1.1 - 2.0
Ruisseau de Chéneau				
Ouvrage 331	2.3 - 1.7 - --	3.2 - 2.6 - --	4.0 - 3.4 - --	4.9 - 4.3 - --
Ouvrage 328	2.8 - 0.0 - --	3.9 - 0.0 - --	4.9 - 0.5 - --	6.0 - 1.6 - --
Ruisseau de Priolaz				
Ouvrage 330	2.3 - 0.6 - 2.3	3.2 - 1.6 - 3.2	4.0 - 2.3 - 4.0	4.9 - 3.1 - 4.9
Ouvrage 329	2.3 - 0.0 - --	3.2 - 0.0 - --	4.0 - 0.0 - --	4.9 - 0.0 - --

N°	Description des scénarios	Commentaire	Occ	Code scénario	CIN
A	B0_30 A1_30 H1 H2	Ouvrages 324 et 325 obstrués par embâcle	120 > 300	09-INO-1083_A	<input type="checkbox"/>
B	B0_100 A1_100 H1 H2	Ouvrages 324 et 325 obstrués par embâcle	156 > 300	09-INO-1083_B	<input type="checkbox"/>
C	B0_300 A1_300 H1 H2	Ouvrages 324 et 325 obstrués par embâcle	300	09-INO-1083_C	<input checked="" type="checkbox"/>
D	B0_EHQ A1_EHQ H1 H2	Ouvrages 324 et 325 obstrués par embâcle	EHQ	09-INO-1083_D	<input checked="" type="checkbox"/>
E	B0_30 A1_30 H3 H4	Ouvrages 332 et 327 obstrués par embâcle	30	09-INO-1083_E	<input checked="" type="checkbox"/>
F	B0_100 A1_100 H3 H4	Ouvrages 332 et 327 obstrués par embâcle	100	09-INO-1083_F	<input checked="" type="checkbox"/>
G	B0_300 A1_300 H3 H4	Ouvrages 332 et 327 obstrués par embâcle	300	09-INO-1083_G	<input checked="" type="checkbox"/>
H	B0_EHQ A1_EHQ H3 H4	Ouvrages 332 et 327 obstrués par embâcle	EHQ	09-INO-1083_H	<input checked="" type="checkbox"/>
I	B0_30 A1_30 H5	Ouvrage 326 obstrué par embâcle	30	09-INO-1083_I	<input checked="" type="checkbox"/>
J	B0_100 A1_100 H5	Ouvrage 326 obstrué par embâcle	100	09-INO-1083_J	<input checked="" type="checkbox"/>
K	B0_300 A1_300 H5	Ouvrage 326 obstrué par embâcle	300	09-INO-1083_K	<input checked="" type="checkbox"/>
L	B0_EHQ A1_EHQ H5	Ouvrage 326 obstrué par embâcle	EHQ	09-INO-1083_L	<input checked="" type="checkbox"/>
M	B0_30 A1_30 H7	Ouvrages 328 et 331 limités par leur capacité	30	09-INO-1083_M	<input checked="" type="checkbox"/>
N	B0_100 A1_100 H7	Ouvrages 328 et 331 limités par leur capacité	100	09-INO-1083_N	<input checked="" type="checkbox"/>
O	B0_300 A1_300 H7	Ouvrages 328 et 331 limités par leur capacité	300	09-INO-1083_O	<input checked="" type="checkbox"/>
P	B0_EHQ A1_EHQ H7	Ouvrages 328 et 331 limités par leur capacité	EHQ	09-INO-1083_P	<input checked="" type="checkbox"/>
Q	B0_30 A1_30 H8	Ouvrage 330 obstrué par embâcle	30	09-INO-1083_Q	<input checked="" type="checkbox"/>
R	B0_100 A1_100 H8	Ouvrage 330 obstrué par embâcle	100	09-INO-1083_R	<input checked="" type="checkbox"/>
S	B0_300 A1_300 H8	Ouvrage 330 obstrué par embâcle	300	09-INO-1083_S	<input checked="" type="checkbox"/>
T	B0_EHQ A1_EHQ H8	Ouvrage 330 obstrué par embâcle	EHQ	09-INO-1083_T	<input checked="" type="checkbox"/>

6. Ouvrage 324: débit incident max Q30=1.4 m³/s
Débit déversé max:
30 ans → non considéré
100 ans → non considéré
300 ans → 2.4 m³/s
EHQ → 2.9 m³/s

Tableau de correspondance des PDN INO / PSE - lot Haute Broye

PDN INO	PSE
8001	1001
8002	1002
8003	1003
8008	-
8009	1009
8010	1010
8011	1011
8012	1012
8013	1013
8014	1014
8018	1018
8021	1021
8024	1024
8025	1025
8026	1025
8028	1028
8030	1030
8031	1031
8032	1031
8033	1033
8034	1034
8040	-
8042	1042
8046	1046
8047	1301-1302
8051	-
8053	-
8055	1055
8056	1303-1057- 1058-1082- 1204
8057	1057
8058	1058
8069	1059
8070	-
8071	1071
8072	1058
8074	-
8076	1303
8078	1078
8079	1301
8081	1301
8082	1082
8088	1088
8135	1205
8201	1201

8202	1024
8203	1203
8204	1204
8205	1024
8248	1248
8301	-
8302	-
8308	1308
8335	1335
8369	1369
8375	1375
8377	1377
8378	1378
24009	4009

Tableau de contrôle des cartes indicatives de dangers (TCID) - lot Haute-Broye

Ce tableau recense les principaux désaccords entre la Carte Indicative des Dangers (CID) et la Carte des dangers (CDN) sur les périmètres étudiés du lot 8.

Commune	Cours d'eau	Description	Remarque (Périmètre)
Forel (Lavaux)	Sans nom	Ruisseau enterré au lieu-dit "La Chercotte"	8001
Forel (Lavaux)	Affluent RD Retornet	Drainage agricole non étudié dans l'établissement des CDN	8002
Forel (Lavaux)	Affluent RD Mortigue	Drainage agricole non étudié dans l'établissement des CDN	8002
Oron (Les Tavernes)	Haut Crêt	Pas de ruisseau à ciel ouvert observé sur le terrain. Propagation depuis le ruisseau de Haut Crêt impossible	8010
Oron (Bussigny-sur-Oron)	Sans nom	Ruisseau fortement encaissé, pas de CDN	8018
Servion	Géseau Flon, Pralet	Géseau et Flon de Carrouge fortement encaissés à l'amont du périmètre. Ruisseau de Pralet enteré en amont de la Rte. des Cullayes	8009
Montpreveyres	Sans nom	Ruisseau non cadastré rajouté en amont de la Rte. Clos-Devant	8030
Jorat-Menthue	Lavaboïu / Les Gaudines	Les 2 ruisseaux sont fortement encaissés, pas de CDN	
Moudon	Sans nom	Ruisseau sans nom rajouté car non cadastré dans Gesreau	8248
Montanaire (Dénézy)	Sans nom	Ruisseau sans nom rajouté car non cadastré dans Gesreau	8375