

Guide pratique pour l'utilisation de systèmes de préalerte dans le domaine des dangers naturels gravitationnels



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de la protection de la population OFPP



Editeur

WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF
Flüelastrasse 11
7260 Davos Dorf
Tél. 081 417 01 11

Office fédéral de la protection de la population OFPP
Monbijoustrasse 51
3003 Berne
Tél. 058 462 50 11

Auteurs/Direction du projet

Martina Sättele, WSL-SLF
Michael Bründl, WSL-SLF

Groupe d'accompagnement

Estelle Grüter, MétéoSuisse
Lorenz Meier, GEOPRAEVENT AG
Hugo Raetzo, OFEV
Christoph Werner, OFPP
Markus Wüthrich, OFPP

Conseillers

Christoph Graf, WSL
Nils Hählen, canton de Berne
Ruedi Krähenbühl, BauGrundRisk GmbH
Heinz Müller, Marc Hauser, Charles Schmidt, CFF
Christoph Nänni, service des ponts et chaussées Grisons
Urban Rieder, OFROU
Pascal Stoebener, canton du Valais
Jakob Trachsel, commune de Lenk
Giorgio Valenti, canton du Tessin
Willy Werlen, service d'alerte en cas d'avalanches, vallée de Conches
Christian Wilhelm, canton des Grisons

Production

Centre des médias électroniques (CME)
Stauffacherstrasse 65/14, 3003 Berne

Photo de couverture

L. Meier/GEOPRAEVENT AG

Extraits de cartes

Office fédéral de la topographie

Citation

Sättele M., Bründl M. (2015) Guide pratique pour l'utilisation de systèmes de préalerte dans le domaine des dangers naturels gravitationnels, WSL Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, Office fédéral de la protection de la population OFPP, Berne

5 Introduction

6 1. Contexte et but du guide pratique

8 2. Structure du guide pratique et intégration dans d'autres concepts

11 Partie A: Utilisation de systèmes de préalerte en cas de dangers naturels gravitationnels

13 1. Les systèmes de préalerte reposent sur la compréhension de processus

14 2. Les systèmes de préalerte peuvent être répartis par types

14 2.1 Le processus lié aux dangers naturels est constitué de plusieurs phases

14 2.2 Un processus lié aux dangers naturels peut être surveillé

16 2.3 Typologie des systèmes de préalerte pour mouvements de masse gravitationnels

18 3. Unités d'un système de préalerte

18 3.1 Unité principale: Saisie

18 3.2 Unité principale: Interprétation

19 3.3 Unité principale: Transmission de l'information

19 3.4 Alimentation électrique

20 3.5 Dispositif de contrôle

20 3.6 Concept d'exploitation

21 4. Les défauts d'un système de préalerte en déterminent la fiabilité

21 4.1 Fiabilité de la saisie – qualité des données

21 4.2 Fiabilité de l'interprétation – valeur seuil et interprétation humaine

22 4.3 Fiabilité de l'émission – mise en œuvre de la mesure d'intervention

23 4.4 Fiabilité des composants et structure du système – probabilité de défaillance

25 Partie B: Bases de décision pour la pratique

27 1. Un système d'alarme, d'alerte ou combiné est-il une mesure adéquate?

27 1.1 Diagramme de décision pour le choix du type de système de préalerte

29 2. Le système de préalerte proposé est-il fiable?

29 2.1 Liste de contrôle I: évaluation de la fiabilité du système de préalerte

30 2.2 Liste de contrôle II: évaluation de la fiabilité du fournisseur/de l'exploitant du système

31 Partie C: Exemples de systèmes utilisés dans la pratique

33 1. Crue soudaine: système d'alerte sur la Plaine Morte (BE)

38 2. Coulée de boue: système combiné sur l'Illgraben (VS)

42 3. Avalanche: système d'alarme sur le col d'Hägrigen (UR)

45 4. Chute de pierres et de blocs: système d'alarme au Kaschirand (SZ)

48 5. Eboulement: système d'alerte au-dessus de Preonzo (TI)

52 6. Glissement de terrain: système d'alerte sur le glacier de Grindelwald (BE)

57 Glossaire et documents de référence

Introduction

1. Contexte et but du guide pratique

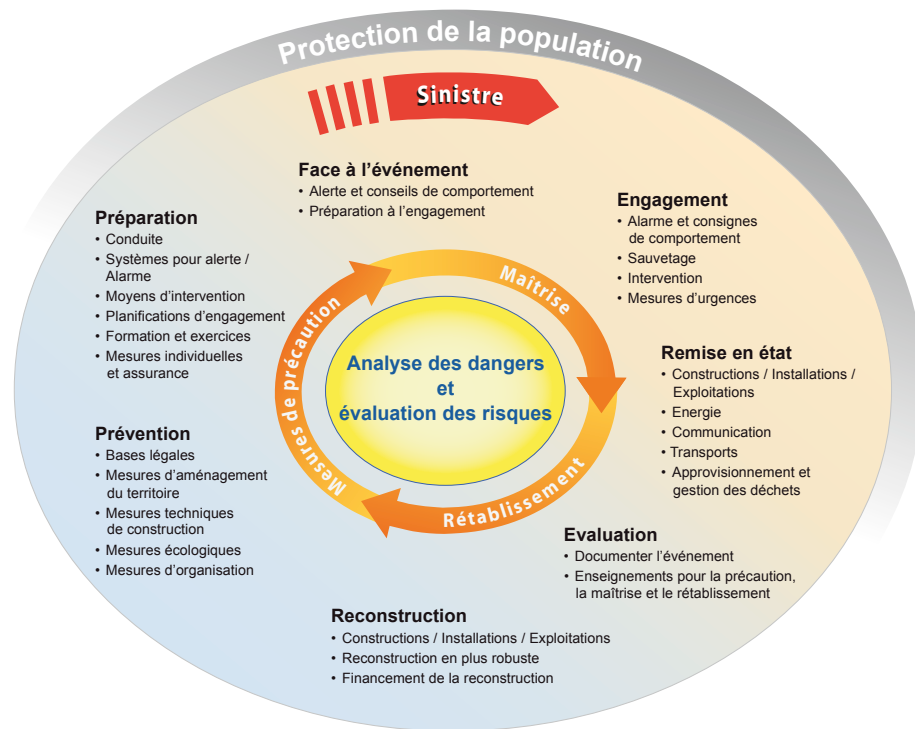


Figure 1: Cycle de la gestion intégrale des risques.

Les dernières décennies ont été marquées par une forte évolution technique des systèmes de préalerte (ci-après : SdP), à tel point qu'ils jouent aujourd'hui un rôle essentiel dans la gestion des dangers naturels. Les SdP sont actuellement utilisés comme prototypes ou comme produits élaborés pour l'alerte et l'alarme dans divers cas de dangers naturels.

Dans le cycle de la gestion intégrale des risques (fig. 1), ils entrent dans la préparation, empêchant que des personnes et des objets mobiles ne soient exposés à un événement dangereux. A l'échelle internationale, la préalerte désigne des dispositifs qui servent à générer et à émettre rapidement des informations significatives afin que les personnes, communes ou organisations menacées puissent se préparer et prendre dans les plus brefs délais les mesures nécessaires pour limiter les dommages »^[1].

Le présent guide porte exclusivement sur des SdP régionaux qui sont utilisés pour alerter les autorités et la population locales dans les cas suivants : crue

soudaine, avalanches, coulées de boue, chute de pierres, éboulement et glissement de terrain.

Le développement, l'installation et l'entretien de ces systèmes sont proposés par des entreprises spécialisées et, dans certains cas, par des institutions de recherche. La décision d'acquiescer un SdP, la coordination de la procédure d'achat puis l'exploitation du système relèvent des organes compétents dans les communes et les cantons. Ceux-ci ont avantage à faire appel à des experts cantonaux dont la tâche est de développer un SdP fiable avec l'aide de géologues ou d'autres spécialistes des dangers naturels, des bureaux d'ingénieurs et des fournisseurs ou exploitants de systèmes.

Lancé en 2011, le projet « ReWarn – Reliability Warning and Alarms » visait à élaborer une méthode pour évaluer la fiabilité d'un SdP. Cette méthode doit permettre d'apprécier l'efficacité et la rentabilité de SdP concurrents et de comparer ceux-ci avec d'autres mesures, telles que des mesures architecturales. Les

résultats scientifiques de ce projet sont consignés dans une thèse en cours de rédaction ^[2] de même que dans le présent document.

Ce guide pratique a pour but de mettre à la disposition des experts en dangers naturels un résumé des conclusions de la thèse précitée et de les soutenir ainsi à mettre en place et exploiter des SdP fiables et efficaces. Il s'adresse aux spécialistes cantonaux des dangers naturels (qui représentent souvent les décideurs dans les communes et cantons), aux bureaux d'ingénieurs ou aux personnes ou services concernés dans les entreprises privées intéressées.

2. Structure du guide pratique et intégration dans d'autres concepts

Le présent guide a été harmonisé sur les plans terminologique et thématique avec l'Aide à l'exécution mouvements de terrain fournie par l'OFEV^[3], laquelle rassemble les étapes pour la planification méthodique de mesures de protection contre les mouvements de masse gravitationnels. Il constitue un support destiné aux experts appelés à planifier et à évaluer des mesures et se révélera utile dans les cas où un SdP représente une mesure de protection potentielle (fig. 2).

Partie A

Utilisation de systèmes de préalerte en cas de dangers naturels gravitationnels

Cette partie permet d'obtenir une compréhension fondamentale des processus en matière de dangers naturels gravitationnels et montre des possibilités de détection précoce. En répartissant les SdP en différents types, il est possible d'en décrire méthodiquement la structure et les composants et d'en évaluer la fiabilité.

Partie B

Bases de décision pour la pratique

Cette partie contient un diagramme de décision et des listes de contrôle qui permettent de mettre en pratique les connaissances acquises. Un tel diagramme soutient les responsables dans le choix d'un type de SdP approprié. Les diverses listes de contrôle regroupent des questions pertinentes grâce auxquelles la fiabilité qualitative d'un SdP proposé et, par là même, celle du fournisseur et exploitant correspondants peuvent être évaluées. A l'aide de ces listes, il est en outre possible de comparer des SdP entre eux et de déterminer la meilleure offre.

Partie C

Exemples de systèmes utilisés dans la pratique

Cette partie rassemble des exemples de SdP éprouvés qui sont actuellement utilisés pour la détection précoce régionale de dangers naturels gravitationnels.

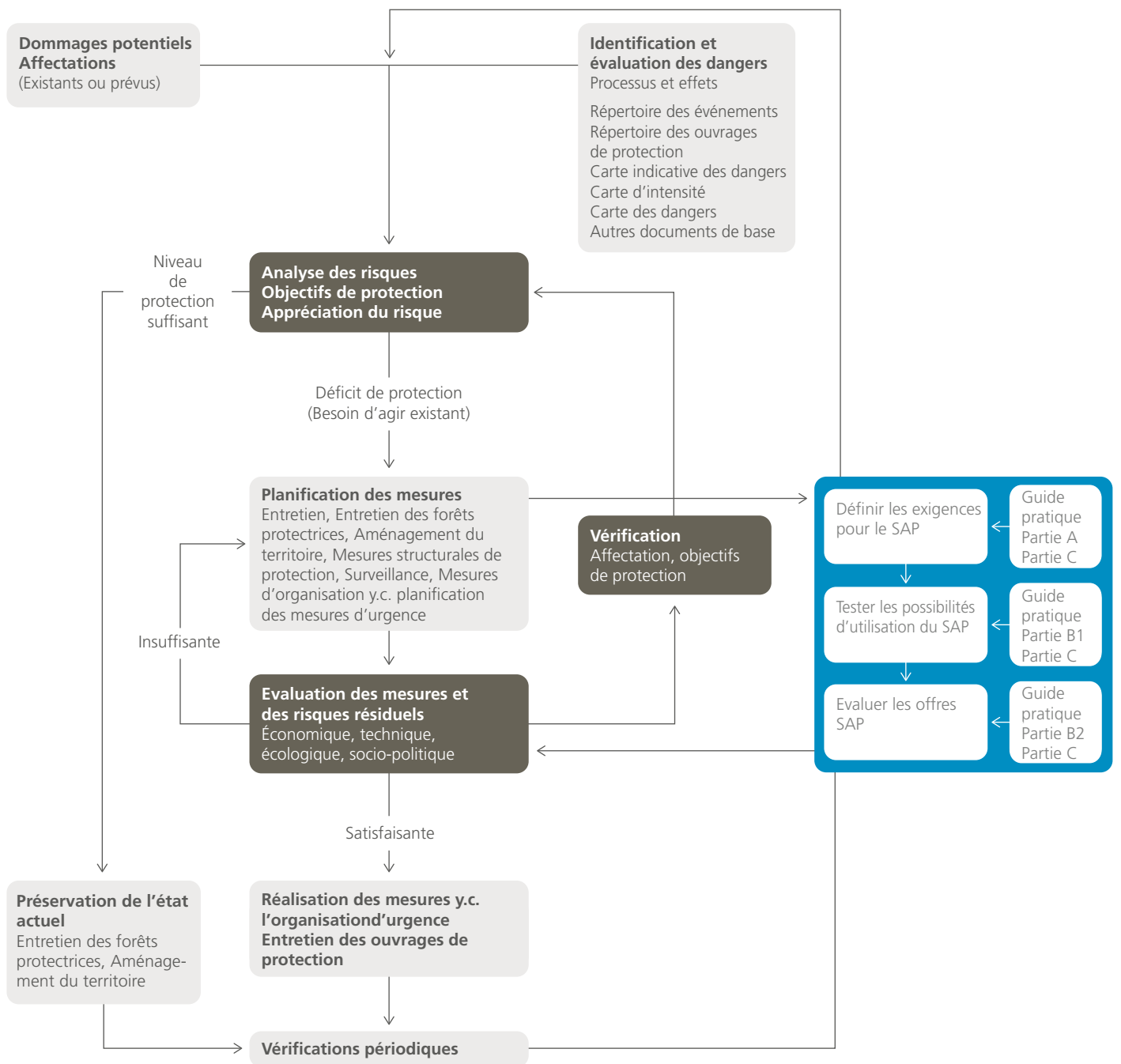


Figure 2: Procédé schématisé pour la planification de mesures (aide à l'exécution mouvements de terrain réalisée par l'OFEV^[3]) et contribution du guide pratique.

Partie A: Utilisation de systèmes de préalerte en cas de dangers naturels gravitationnels

Cette première partie informe fondamentalement sur les dangers naturels gravitationnels et les processus qui en résultent de même que sur les SdP. Ceux-ci sont classés par types et les possibilités et limites de leur utilisation au titre de mesure de protection sont décrites. En outre, on y définit la notion de fiabilité et énumère les facteurs essentiels qui déterminent la fiabilité de SdP.

1. Les systèmes de préalerte reposent sur la compréhension de processus

L'Aide à l'exécution mouvements de terrain^[3] distingue les systèmes de surveillance selon quatre échelons séquentiels. Correspondant aux échelons 3 et 4 (fig. 3), les SdP font partie d'un concept de sécurité car ils sont en mesure d'identifier des situations extraordinaires et d'émettre activement des informations d'alerte ou d'alarme afin de prévenir des dommages.

L'exploitation d'un SdP fiable implique la compréhension de l'ensemble du processus lié aux dangers naturels. Souvent, les systèmes de surveillance des échelons 1 et 2 contribuent à analyser ce processus et à en suivre l'évolution. On a également recours à ces systèmes pour décider de l'éventuelle introduction d'un SdP.

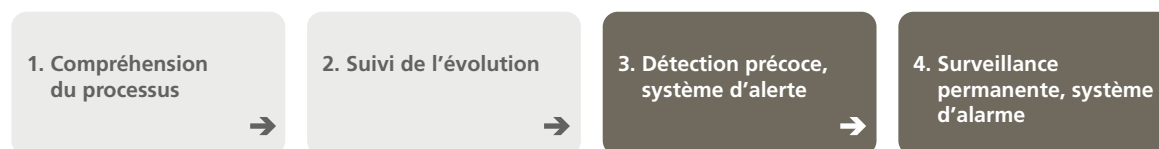


Figure 3: D'une manière générale, les systèmes de monitoring sont caractérisés par quatre échelons séquentiels dont les deux premiers (1 et 2) sont indispensables à un SdP et les deux derniers (3 et 4) composent le SdP proprement dit.

2. Les systèmes de préalerte peuvent être répartis par types

Suivant le processus lié aux dangers naturels ainsi que les exigences régionales et techniques, les SdP se distinguent par leur dimension spatiale et temporelle et comprennent des ressources différentes. Un système destiné à détecter des coulées de boue spontanées pour barrer à temps un tronçon de route menacé aura ainsi d'autres composants qu'un SdP servant à reconnaître l'accélération d'un lent glissement afin de faire évacuer dans les temps les habitants d'une commune des environs. Les SdP pour avalanches sont conçus pour des zones géographiques étendues en interprétant les données de plusieurs stations de mesure automatiques. La structure d'un SdP et le choix d'un type correspondant dépendent des possibilités de surveillance et du temps disponible jusqu'à l'intervention.

2.1 Le processus lié aux dangers naturels est constitué de plusieurs phases

Un processus lié aux dangers naturels peut être divisé en plusieurs phases. Durant la phase initiale, le danger est latent. C'est la phase qui décrit l'état dans lequel un danger naturel est identifié et représente donc une menace potentielle. La deuxième phase est lancée dès que ce danger latent se transforme

en menace concrète, si bien qu'elle décrit le stade où l'événement qui menaçait de survenir a effectivement lieu. La troisième et dernière phase n'intervient que si l'événement concerné a porté atteinte à des personnes ou infrastructures et représente donc l'état d'endommagement. L'illustration suivante porte sur les phases possibles d'un éboulement (fig. 4).

2.2 Un processus lié aux dangers naturels peut être surveillé

Un processus lié aux dangers naturels présente divers paramètres qui peuvent être surveillés afin de prévenir des dommages. Durant la première phase, caractérisée par un danger latent, on observe souvent des changements ponctuels au niveau des prédispositions de même que des événements déclencheurs. La présence des deux paramètres n'entraîne pas nécessairement la survenance d'un événement. Le cas échéant, des paramètres de processus typiques servent à la détection (fig. 5).

Dans la pratique, on dispose des possibilités suivantes pour la détection précoce de différents processus relatifs aux dangers naturels gravitationnels (tableau 1).

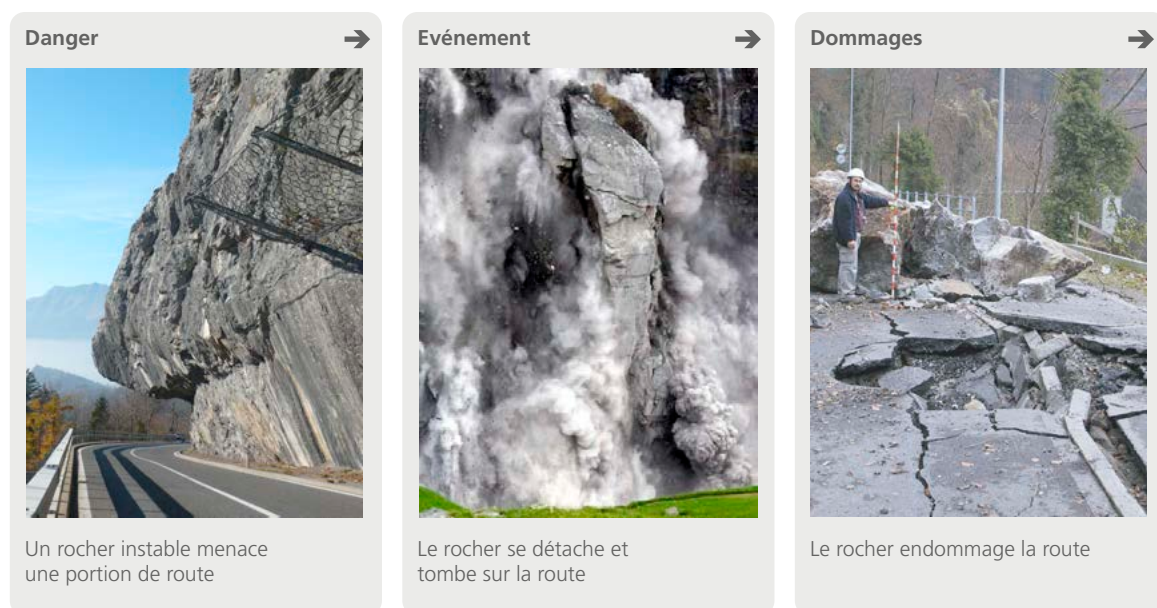


Figure 4: Les trois phases d'un processus lié aux dangers naturels.
Photos: (à gauche) M. Sättele/SLF; (au milieu) B. Petroni/Berner Oberländer; (à droite) W. Gerber/WSL

Processus danger naturel	Événements déclencheurs	Variables de la prédisposition	Paramètres de processus
Crue soudaine	Précipitation, fonte de la neige, processus glaciaires générant l'écoulement d'un lac	Niveau d'eau, niveau de rétention/volume d'eau, matériaux charriés	Vitesse, pression, volume
Avalanche	Précipitation, transport de neige par le vent, charge supplémentaire, température et rayonnement	Stabilité de la couche de neige	Vitesse, pression/puissance, volume, vibration
Coulée de boue	Précipitation, fonte de la neige, glissement, processus de chute ou avancement rapide d'un glacier rocheux	Présence de matériaux, obstruction du lit, fonte du pergélisol, pression de l'eau interstitielle, turbidité	Volume, vibration, pression/puissance
Chute de pierres/blocs	Précipitation, fonte de neige, tremblement de terre, pression des racines, charges sur les arbres dues à l'action du vent	Pression de l'eau interstitielle, fonte du pergélisol, température, altération atmosphérique, végétation	Vibration, pression/force, énergie, distance
Eroulement/Eboulement	Précipitation, fonte de neige, séisme	voir Chute de pierres/blocs, ouverture de diaclase, modifications géométriques	Vitesse, vibration, distance
Chute de glace	Mouvements glaciaires, réchauffement, séisme	Crevasse	Vitesse
Glissement	Précipitation, fonte de la neige, séisme	Pression de l'eau interstitielle, fonte du pergélisol	Vitesse

Tableau 1 : Sélection illustrative de possibilités de surveillance pour la détection précoce de processus relatifs aux dangers naturels gravitationnels.

On distingue deux types de survenance d'un processus lié aux dangers naturels (fig. 6). Ils déterminent directement la valeur informative des paramètres de surveillance.

1. Dans le cas de processus qui se mettent lentement en place et se développent en continu, les modifications de variables de la prédisposition revêtent une valeur informative élevée bien avant l'événement dommageable puisqu'elles sont directement liées à l'événement. Lors d'un éroulement, l'événement est précédé d'une ouverture de diaclase dont la durée s'étend sur plusieurs années ou décennies et qui s'accélère avant la survenance de l'événement (par exemple de manière exponentielle).
2. Lors de processus qui se mettent rapidement en place et se développent spontanément, les variations de la prédisposition sont souvent difficiles à interpréter. En cas de coulée de boues, une disponibilité accrue de matériaux instables par exemple ne doit pas forcément déboucher sur un événement. Celui-ci peut cependant être déclenché lorsque l'accumulation de matériaux instables s'accompagne d'abondantes précipitations et de la fonte de la neige.



Figure 5 : Il existe plusieurs possibilités pour surveiller un processus lié aux dangers naturels (sur le modèle de la figure⁽⁴⁾).

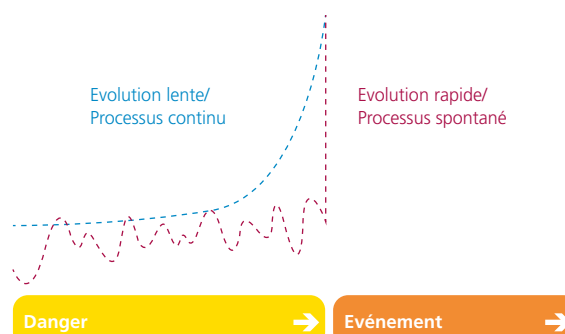


Figure 6 : La manière dont survient un processus lié aux dangers naturels influe sur le choix des paramètres de surveillance dont la valeur informative évolue en effet sur l'axe temporel.

La valeur informative des paramètres de processus spontanés est suffisamment élevée pour qu'ils entrent dans le processus d'alarme.

2.3 Typologie des systèmes de préalerte pour mouvements de masse gravitationnels

Le moment où un événement dommageable peut être détecté de manière fiable est fonction du processus proprement dit et de la manière dont il survient. En principe, il s'agit d'estimer la valeur informative des paramètres surveillés par rapport au temps d'intervention. Compte tenu de ces facteurs, les types de système suivants peuvent être différenciés.

1. Systèmes d'alarme

Dispositifs qui détectent des événements naturels dangereux en vue de déclencher immédiatement des mesures d'intervention automatisées. Au moment de la détection, la situation sur laquelle se fondent les données est univoque, si bien que le temps d'intervention qui en résulte est minimal. L'alarme repose sur une ou plusieurs valeurs seuil qui sont généralement fixées pour les paramètres de processus destinés à la détection d'événements spontanés.

2. Systèmes d'alerte

Dispositifs qui émettent une alerte automatisée en cas d'accroissement du danger potentiel afin que les experts apprécient la situation (p. ex. interprétation de données générées par des stations de mesure automatiques) et puissent mettre en route les mesures d'intervention qui s'imposent. Au moment de l'alerte, la situation sur laquelle se fondent les données est souvent équivoque, raison pour laquelle le temps d'intervention est prolongé. La majorité des systèmes d'alerte comprennent des valeurs seuil prédéfinies pour les variations, de sorte que les événements qui se profilent lentement peuvent être identifiés à temps.

3. Systèmes combinés

Un système combiné remplit aussi bien la fonction d'un système d'alerte que celle d'un système d'alarme. Lorsque le danger potentiel est accru, de tels systèmes émettent des messages d'alerte destinés aux experts et peuvent, en cas d'événement, déclencher des mesures d'intervention automatisées.

Il existe en outre des *systèmes de prévision* qui, n'étant pas spécifiques à une région, n'entrent pas en ligne de compte dans ce contexte. Les divers types de SdP utilisés pour les dangers naturels gravitationnels spécifiques aux régions présentent certaines propriétés (fig. 2).

Dans la pratique, les systèmes d'alarme sont utilisés avant tout en présence de processus qui se mettent en place rapidement et se développent spontanément. Quant aux systèmes d'alerte, ils ont fait leurs preuves dans la détection précoce de processus liés à des dangers naturels gravitationnels qui se développent lentement et en continu. Un système combiné est prévu lorsqu'il s'agit de détecter un processus spontané mais que le temps d'intervention atteint avec un système d'alarme est insuffisant, ou lorsque le risque potentiel est extrêmement élevé (tab. 3).

Type de système	Processus	Paramètre surveillé	Base des données	Temps d'intervention	Degré d'automatisation
Système d'alarme	se met en place rapidement	Paramètre de processus	univoque	bref (quelques secondes à minutes)	Alarme entièrement automatisée
Système d'alerte	se met en place lentement	Prédisposition variable Événements déclencheurs	restreinte	moyen (quelques heures à semaines)	Alerte automatique avec intervention organisée
Système combiné	se met en place rapidement/lentement	Paramètre de processus Prédisposition variable Événements déclencheurs	restreinte à univoque	bref à moyen	Alarme entièrement automatisée Alerte automatique avec intervention organisée

Tableau 2: Propriétés des différents types de SdP spécifiques aux régions pour les dangers naturels gravitationnels.

	Système d'alarme	Système d'alerte	Système combiné
Crue soudaine	X	X	X
Avalanche	X	X	X
Coulée de boues	X	X	X
Chute de pierres/blocs	X		
Eboulement/Ecroulement/Chute de glace	X	X	X
Glissement		X	X

Tableau 3: Aperçu des types de système utilisés selon les processus liés aux dangers naturels.

3. Unités d'un système de préalerte

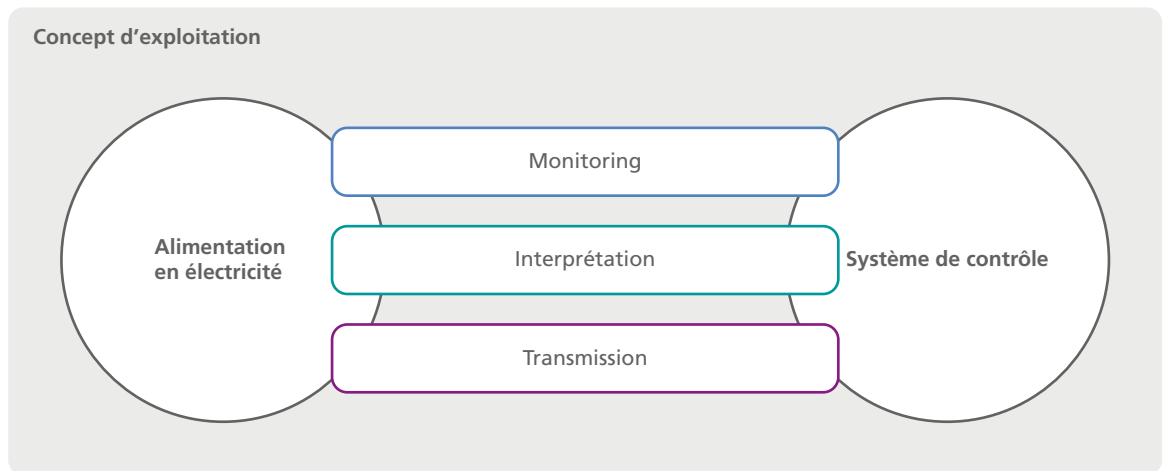


Figure 7: Les systèmes de préalerte sont constitués d'unités.

Les SdP sont des mécanismes électrotechniques complexes qui sont soumis à diverses influences extérieures, techniques et humaines. Si chacun de leurs types se distingue par sa fabrication, tous les SdP se composent cependant des trois unités principales que sont la saisie, l'interprétation et l'émission. Celles-ci exigent une alimentation électrique et sont reliées à un dispositif de contrôle. Un concept d'exploitation décrit les compétences, le fonctionnement, l'entretien et la maintenance pour l'ensemble du SdP en période d'utilisation normale de même que les attributions et les processus en cas d'événement (fig. 7).

Chacune de ces unités englobe plusieurs fonctions qui diffèrent plus ou moins suivant le type de système. Dans la partie C, ces unités, fonctions et composants sont détaillés à l'aide d'exemples de la pratique.

3.1 Unité principale: Saisie

L'unité de saisie sert à recueillir des données sur place, c'est-à-dire dans la zone menacée et ses environs. Pour les trois systèmes décrits au chapitre 2.3, elle se compose des mêmes fonctions, à savoir :



Saisie de données locale: Des détecteurs enregistrent des changements ambiants et convertissent des paramètres physiques en signaux numériques/analogiques.



Communication locale: Dans les zones éloignées, la communication locale entre les détecteurs et l'unité d'évaluation servant à l'interprétation des données s'effectue le plus souvent au moyen de liaisons par câble protégées. Dans quelques cas isolés, on recourt à une liaison radio pour la communication entre les détecteurs et l'unité d'évaluation sur le terrain.

3.2 Unité principale: Interprétation

Les fonctions intégrées à l'unité d'interprétation des données permettent de prendre la décision finale au sujet d'une alerte ou d'une alarme. Les fonctions suivantes sont disponibles indépendamment du type de système :



Analyse de données: Un enregistreur de données local ou un ordinateur local commande les détecteurs, mémorise et analyse les données sur le terrain puis émet des alertes ou des alarmes en cas de dépassement d'une valeur seuil. Lors d'analyses complexes, les données sont évaluées et l'alerte ou l'alarme est déclenchée sur un serveur.



Transmission de données: Lorsque l'unité d'évaluation et le serveur central sont très éloignés l'un de l'autre, les données sont généralement transmises par radio, par téléphonie mobile, par téléphone fixe, Internet ou satellite et, dans de rares cas, par câble.



Gestion de données: Les données collectées par les détecteurs sont mémorisées puis traitées sur un serveur central ou, plus précisément, sur des serveurs redondants. La sauvegarde et l'archivage des données ont lieu sur un serveur de secours.

Toutes les autres fonctions de l'unité d'interprétation des données dépendent du type de système. Il faut distinguer l'interprétation basée sur des valeurs seuil de l'interprétation humaine. Dans le cas du *système d'alarme*, le temps d'intervention est très bref, alors que la valeur informative des données est maximale. Ici, l'alarme est déclenchée sur la base des seules valeurs seuil prédéfinies qui sont mémorisées dans l'enregistreur de données ou sur le serveur central. Dans le *système d'alerte*, le temps d'intervention est plus long puisque la situation sur laquelle se fondent les données est équivoque. En l'occurrence, le résultat basé sur les valeurs seuil est suivi d'une interprétation humaine des données. Celle-ci requiert des fonctions supplémentaires, à savoir :



Analyse de données: Pour prendre une décision, les données sont modélisées puis visualisées en conséquence.



Information complémentaire: Souvent, on a en plus recours à des modèles météorologiques, des diagnostics en matière d'écoulement et de fonte de la neige et à des images de webcams, ainsi qu'à des estimations d'observateurs.



Décision d'expert: La décision finale concernant les mesures d'intervention est prise par des experts et des décideurs (p. ex. appréciation de chutes multiples d'avalanches).

Les systèmes combinés incluent aussi bien des valeurs seuil d'alarme que des valeurs seuil d'alerte.

3.3 Unité principale: Transmission de l'information

Cette unité émet une information destinée aux personnes menacées. Le mode de transmission diffère fondamentalement selon qu'il s'agit d'un système d'alerte ou d'alarme. Là aussi, les temps d'intervention à durée

variable et la valeur informative également variable des données des capteurs sont déterminants. Selon le type de système, on distingue entre l'intervention automatisée et l'intervention organisée. Les systèmes d'alarme possèdent de brefs temps d'intervention, si bien qu'il convient de prévoir des mesures pouvant être déclenchées rapidement et automatiquement :



Intervention automatisée: Pour limiter la présence probable de personnes et d'objets mobiles menacés, on se sert de signaux optiques ou acoustiques, de barrières et, dans le trafic ferroviaire, de coupures de l'alimentation de la ligne de contact. De plus, les responsables de la sécurité sont informés de l'alarme par sms, téléphone ou courriel.

Les systèmes d'alerte prévoyant des temps d'intervention prolongés, diverses mesures peuvent être déclenchées manuellement :



Intervention organisée: Les forces d'intervention (barrage/évacuation), la sirène, la radio, le sms, la TV, le courriel, l'internet, etc. peuvent être utilisés pour informer et protéger les personnes concernées.

Le système combiné est capable de déclencher des mesures automatisées tout en permettant des mesures organisées.

3.4 Alimentation électrique

L'alimentation électrique d'un SdP diffère en fonction de l'emplacement des composants :



Alimentation autonome: Dans les zones reculées, les composants d'un SdP sont alimentés à l'aide d'une batterie, d'une cellule solaire, d'une pile à combustible, d'une éolienne ou par un groupe hydroélectrique.



Alimentation par le réseau: Dans les zones moins éloignées, on a recours au réseau électrique et à des groupes électrogènes de secours pour pallier à des défaillances du réseau.

3.5 Dispositif de contrôle

Les SdP sont équipés de dispositifs de contrôle pour détecter des dérangements et des défaillances.



Dispositif de contrôle: Avec un logiciel ou un serveur de contrôle, il est possible d'identifier une basse tension de la batterie, des défaillances de capteurs, de moyens de transmission ou d'alarme. En outre, un tel instrument permet de vérifier la plausibilité des données et de constater d'éventuelles modifications inopinées des valeurs seuil. Idéalement, il doit être exploité indépendamment du SdP.

3.6 Concept d'exploitation

Un concept d'exploitation garantit un fonctionnement fiable du SdP 24 heures sur 24. Il décrit les processus et responsabilités nécessaires à cet effet.



Plan de maintenance: contient les processus précis et les responsabilités en matière d'entretien et d'exploitation normale du SdP.



Plan d'intervention: décrit les mesures à prendre et les processus à mettre en œuvre en cas d'événement ou de dépassement des valeurs seuil. On y définit également les critères pour l'annulation des mesures d'intervention.

4. Les défauts d'un système de préalerte en déterminent la fiabilité

Un SdP fonctionne de manière fiable s'il détecte les événements dangereux, transmet les informations en temps utile et peut ainsi prévenir des dommages. Plus un SdP est fiable, moins il est probable que des personnes et des objets mobiles soient exposés à un événement. La fiabilité d'un tel système a donc un effet direct sur la réduction du risque global, autrement dit sur son efficacité. Outre les coûts, celle-ci constitue le facteur déterminant dans l'analyse comparative du rapport coût-utilité d'un SdP par rapport à d'autres mesures.

Dans la plupart des cas, c'est le maillon le plus faible d'une chaîne qui est à l'origine d'une rupture de celle-ci. Cette règle s'applique aussi à la fiabilité d'un SdP. Théoriquement, chaque SdP peut être développé de telle manière que les faiblesses sont éliminées par des redondances ; cette possibilité représente une question purement financière. Dans la pratique, il s'agit de soupeser les coûts et l'utilité afin de définir les attentes en termes de fiabilité. Il est essentiel que les risques résiduels soient clairement mis en évidence et connus de toutes les parties. La fiabilité d'un SdP peut être appréciée sous les angles suivants :

1. Saisie – qualité des données
2. Interprétation – valeur seuil et interprétation humaine
3. Transmission de l'information – mise en œuvre de l'information
4. Composants et structure du système – probabilité de défaillance

4.1 Fiabilité de la saisie – qualité des données

Le contenu informatif des données de mesure détermine la qualité de la base de données qui influe considérablement sur la fiabilité d'un SdP. La qualité des données atteinte est directement liée aux paramètres suivants :

- capacité des experts de comprendre le processus et les possibilités de surveillance,
- complexité du processus de base et possibilité de l'interpréter,
- principe de mesure (mesure ponctuelle/en surface, etc.),
- choix des paramètres de surveillance,

- nombre de capteurs,
- emplacement des capteurs sur le terrain,
- intervalles de mesure,
- précision/résolution, etc.

Une étude de cas qui visait à analyser en détail la fiabilité d'un système d'alarme pour coulées de boue a révélé la relation significative entre la position des capteurs sur le terrain, d'une part, et la fiabilité du système, de l'autre (fig. 8). Installés à différents endroits, des capteurs de type similaire peuvent présenter d'importants écarts quant à la fiabilité^[4].

4.2 Fiabilité de l'interprétation – valeur seuil et interprétation humaine

Une base de données de haute qualité est primordiale pour une interprétation fiable. Une alerte ou une alarme peut être déclenchée uniquement sur la base de valeurs seuil prédéfinies ou suite à une décision des responsables de la sécurité.

Qualité de la valeur seuil d'alerte/d'alarme en tant que base interprétable

La qualité de la décision d'alarme ou d'alerte automatisée dépend directement de la valeur seuil. Dans le cas des systèmes d'alarme, la valeur seuil est l'unique critère de décision ; dans celui des systèmes d'alerte, elle est utilisée par l'homme comme base d'interprétation. Cette valeur est déterminante pour détecter des événements ou prévenir des fausses alarmes.

Selon une étude de cas, la valeur seuil entre pour beaucoup dans la décision d'alarme et la fiabilité du système d'alarme^[5]. La fiabilité résulte des probabilités d'un événement détecté et de l'émission d'une fausse alarme. Ces probabilités ont été calculées pour différentes valeurs seuil (fig. 8). Avec une valeur seuil définie de manière optimale, le capteur 1 est en mesure de détecter près de 100% des événements sans émettre la moindre fausse alerte. Lorsque les valeurs seuil sont très élevées, la fiabilité du même capteur est quasi nulle puisqu'il ne détecte plus guère d'événements. Le capteur 2 correspond au même type de fabrication mais est installé en bordure de la zone de danger, si bien que sa performance sera nettement plus mauvaise. Si la valeur seuil fixée est basse, le capteur détectera certes tous

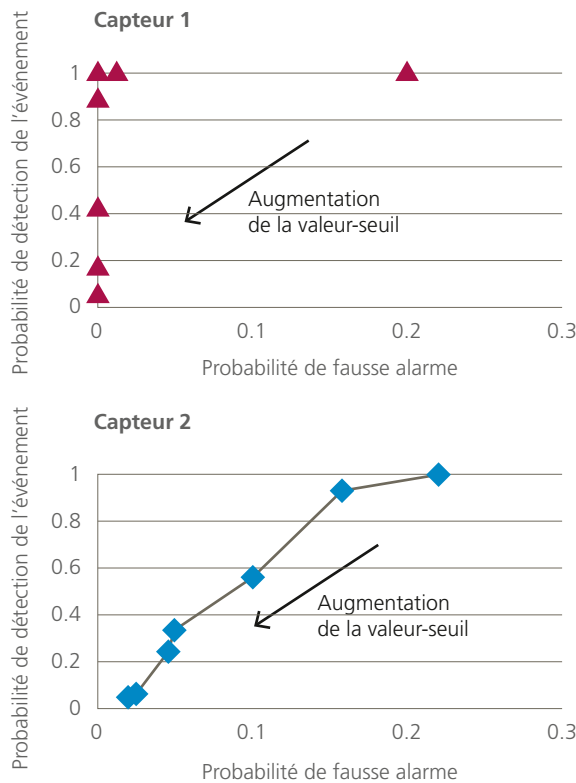


Figure 8: Performance de deux capteurs installés à des endroits distincts et pour lesquels des valeurs seuil différentes ont été choisies. Le capteur 2 présente une performance nettement inférieure à celle du capteur 1.

les événements mais émettra des fausses alertes. En revanche, une valeur seuil élevée permettra de réduire le nombre de fausses alertes mais empêchera la détection fiable d'événements dangereux.

La qualité de la décision d'alarme peut être sensiblement améliorée en combinant de manière ponctuelle les valeurs seuil d'alarme (il faut par exemple que deux capteurs détectent simultanément un événement pour qu'une alarme puisse être émise). De même, la programmation de durées minimales pour le dépassement des valeurs seuil (p. ex. une valeur seuil doit être dépassée pendant au moins 5 secondes dans un capteur) peut entraîner une diminution notable des fausses alarmes. Dans la pratique, la définition des valeurs seuil est exigeante et requiert l'expérience du fournisseur ou de l'exploitant du système. Il n'est pas rare qu'une phase pilote prolongée soit nécessaire avant qu'un

système d'alarme ne fonctionne de manière fiable. Avant d'atteindre un niveau optimal, la valeur seuil doit être adaptée en permanence. Dans ce contexte, les variations diurnes (p. ex. lors de mesures dans le rocher, le réchauffement diurne génère un mouvement périodique qui n'a aucun rapport avec le processus d'éboulement) et les perturbations régulières (causées par des animaux, le bruit de la circulation routière, les chutes de pierres) ne doivent pas générer d'alarme.

Qualité de l'interprétation effectuée par l'équipe d'experts

En ce qui concerne les systèmes d'alerte, la décision finale ne dépend de la valeur seuil que jusqu'à un certain point. Les éléments déterminants pour ce type de système sont l'aptitude de l'équipe d'experts à évaluer la situation et l'usage que les décideurs font des résultats de cette évaluation. Celle-ci est complexe et liée aux critères suivants :

- base et disponibilité des données,
- expérience des experts,
- propension à prendre des risques/capacité de rendement, condition physique et intellectuelle des responsables de la sécurité sur le moment,
- effectifs disponibles/suppléance
- esprit d'équipe/aptitude à collaborer,
- qualité des modèles et temps d'interprétation requis,
- complexité du processus lié aux dangers naturels/différents processus simultanés ou processus successifs, etc.

4.3 Fiabilité de l'émission – mise en œuvre de la mesure d'intervention

La fiabilité de l'émission de l'information détermine la mise en œuvre des mesures d'intervention et donc la prévention des dommages. Aussi bien pour les systèmes d'alarme que pour les systèmes d'alerte, la fiabilité des mesures d'intervention dépend des facteurs suivants :

- possibilité d'ignorer la méthode et marge d'interprétation concernant l'information,
- nombre de fausses alarmes,
- durée de l'intervention,
- formation/exercices et sensibilisation aux dangers/conséquences,
- échange/interfaces, etc.

4.4 Fiabilité des composants et structure du système – probabilité de défaillance

La fiabilité du SdP est fonction de la probabilité de défaillance de composants isolés et par conséquent de celle de sous-systèmes ou du système intégral.

Fiabilité de composants isolés

La fiabilité de composants isolés peut être quantifiée au moyen de probabilités de défaillance. La probabilité de défaillance globale d'un composant comprend différents éléments possibles :

- défaillance technique, p. ex. due au vieillissement, à un court-circuit, une coupure de courant, etc. ;
- défaillance causée par d'autres dangers naturels, tels que chutes de pierres, avalanches, éboulements, chutes de glace, inondations, pression de la neige, foudre, tempête, grêle ;
- défaillance résultant d'influences extérieures, telles que températures extrêmes, gel, humidité, poussière, brouillard ;
- défaillance due à l'action d'animaux, de vandales, à des interférences, vibrations (route, rail), etc.

Pour quantifier ces probabilités de défaillance, on peut se fonder sur des spécifications, des valeurs empiriques et des estimations d'experts. En outre, il faut tenir compte des durées nécessaires pour détecter la défaillance d'un composant et pour y remédier^[5].

Fiabilité de l'ensemble du système

La fiabilité du système dans son ensemble dépend de la probabilité de défaillance des composants isolés mais également de leur configuration (fig. 9). Pour déterminer la probabilité de défaillance du système, il faut prendre en considération les facteurs suivants^[6]:

- Nombre des composants installés en série : plus il est élevé, plus la probabilité de défaillance du système est grande et plus sa fiabilité est faible (fig. 9a).
- Redondances : plus le nombre de composants montés en parallèle dans le système est élevé, plus la fiabilité est grande. Il en va ainsi notamment pour les composants autonomes (fig. 9b).
- Dépendances : les composants sont souvent interdépendants, ce qui diminue la fiabilité d'un système redondant (fig. 9c).

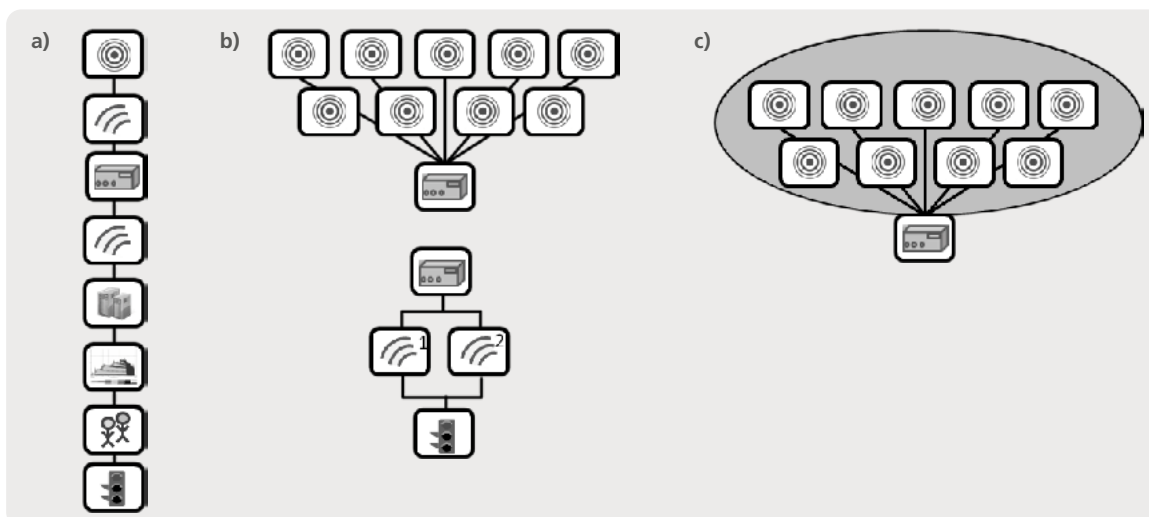


Figure 9: Configurations de système: a) système en série b) redondance de composants du même type (en haut) et de types différents (en bas) c) dépendance.

Partie B: **Bases de décision** **pour la pratique**

Le présent guide complète l'Aide à l'exécution mouvements de terrain^[3] et fournit deux bases de décision pour planifier et évaluer des SdP servant à la protection contre les processus liés aux dangers naturels gravitationnels. Pour utiliser un SdP de manière rentable, on déterminera préalablement :

1. dans le cadre de la planification des mesures, quel type de système (système d'alerte/d'alarme/combiné) est approprié face au problème donné ;
2. dans le cadre de l'évaluation des mesures, si un SdP proposé est fiable.

Seul un système fiable peut obtenir un degré d'efficacité élevé et permet une réduction des risques financièrement supportable. Si le risque n'est pas acceptable, d'autres genres de mesure sont examinés (notamment des mesures portant sur la conception ou la construction). Les SdP sont utilisés seuls ou en combinaison avec d'autres mesures.

1. Un système d'alarme, d'alerte ou combiné est-il une mesure adéquate ?

Les filets protecteurs contre les chutes de pierres, les digues et les galeries représentent des mesures coûteuses ayant un impact important et permanent sur l'environnement. En comparaison, les SdP ne représentent qu'une intervention minimale dans l'environnement naturel et sont relativement peu coûteux. Néanmoins, ils ne sont pas toujours appropriés, si bien qu'il convient selon le cas de décider quel type de SdP peut être recommandé.

1.1 Diagramme de décision pour le choix du type de système de préalerte

Le diagramme suivant permet d'évaluer sommairement le contexte favorable aux différents systèmes (fig. 10). Il porte sur les deux domaines de l'évaluation et de l'analyse des risques, dont chacun englobe des appréciations qui contribuent à la décision finale et qui doivent être effectuées pas à pas.

L'évaluation des risques permet à l'utilisateur d'éta-

blir les risques existants et de savoir s'ils sont acceptables ou pas.

1a Danger existant?

Analyse des dangers: y a-t-il un danger et sur quelle probabilité d'occurrence (fréquence) et intensité doit-on tabler ?

1b Objet menacé?

Analyse d'exposition: quel sont les dommages potentiels ? Quels objets et personnes sont menacés et quelle est leur probabilité de présence ?

1c Risque acceptable?

Analyse des risques: estimation du dommage et du risque en établissant un lien entre l'analyse des dangers (fréquence et intensité) et l'analyse d'exposition au risque. Sur la base de l'appréciation et de l'évaluation du risque, il est possible de savoir si celui-ci est supportable (violation des objectifs de protection) ou si des mesures sont requises.

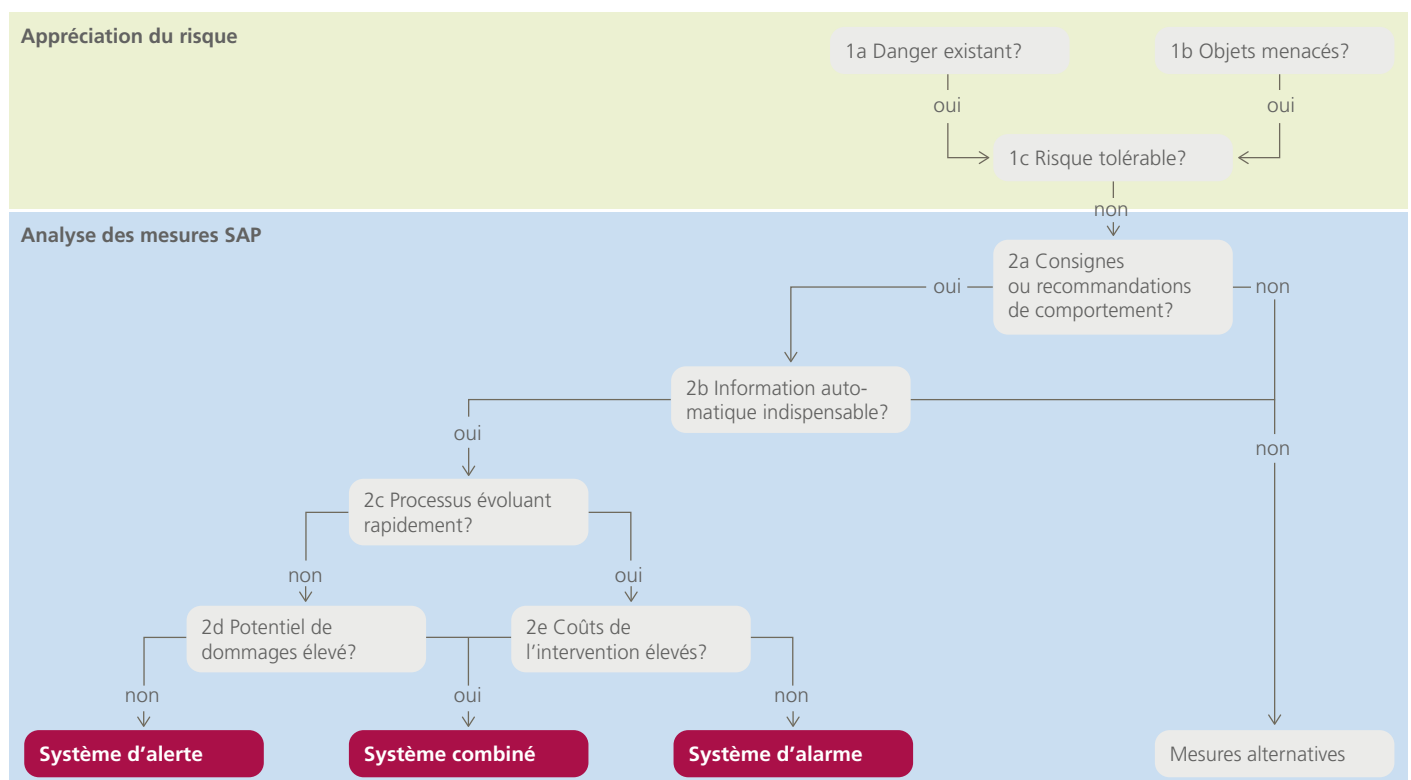


Figure 10: Le diagramme de décision pour le choix du type de SdP comprend deux parties: l'appréciation du risque (en haut) et l'analyse des mesures (en bas).

L'analyse des mesures sert à déterminer l'aptitude des différentes mesures afin de savoir si le recours à un SdP peut être recommandé et, le cas échéant, quel type.

2a Instructions/Recommandations de comportement possibles/utiles?

Est-il possible, dans des situations critiques, de barrer les voies de communication ou de faire évacuer des bâtiments ou d'en restreindre l'utilisation? Quelles sont les conséquences d'un barrage ou d'une évacuation et ces mesures sont-elles réalisables ou supportables? Critères supplémentaires: étendue de la réduction du risque, proportionnalité, temps de réalisation.

2b Information automatique nécessaire?

Est-il possible d'apprécier la situation en s'appuyant sur des expériences, prévisions météo, bulletins, etc. ou a-t-on besoin pour cela d'informations générées automatiquement (p. ex. sms ou courriel)? Les systèmes d'alerte ou d'alarme spécifiques aux régions génèrent de telles informations et contribuent ainsi à

identifier à temps des situations critiques et des événements dangereux.

2c L'événement naturel survient-il inopinément?

S'agit-il d'un événement survenant spontanément et en très peu de temps ou est-il précédé de changements ambiants continuels qui laissent présager l'événement?

2d Importants dommages potentiels?

L'événement menace-t-il des vies humaines ou des infrastructures de valeur? Faut-il, en présence de modifications critiques, émettre une alerte et, en cas de détection d'un événement en cours, déclencher des interventions automatisées?

2e Intervention complexe?

Quel est le temps d'intervention requis? Le temps disponible est-il suffisant pour mettre en route des mesures automatisées (feu rouge, barrage, interruption de la ligne de contact) ou ne suffit-il pas? Est-il nécessaire de procéder à des évacuations et barrages complexes?

2. Le système de préalerte proposé est-il fiable ?

Chaque SdP doit être développé individuellement et en tenant compte des exigences régionales dans le cadre d'une collaboration entre les experts en dangers naturels, les fournisseurs/exploitants de système et les utilisateurs. Évaluer, comparer et choisir des SdP constitue un véritable défi. Il est néanmoins possible de réunir des critères de base dont il faut tenir compte lors du développement et de l'exploitation d'un SdP fiable. La liste de contrôle I comprend des questions pertinentes pour évaluer la fiabilité du SdP concerné. La liste de contrôle II englobe des questions à se poser lors de l'évaluation des fournisseurs/exploitants de système et de leurs prestations.

2.1 Liste de contrôle I: évaluation de la fiabilité du système de préalerte

Fiabilité de la saisie

- A-t-on compris le processus lié aux dangers naturels (expertise, etc.) ?
- Le choix des paramètres de surveillance se fait-il avec l'aide d'un géologue ou d'un autre expert en danger naturel ?
- Surveille-t-on des paramètres déterminants pour la détection du danger naturel ?
- Des paramètres différents sont-ils surveillés ?
- La méthode de mesure (ponctuelle, en surface, etc.) est-elle adaptée à la situation ?
- Surveille-t-on des paramètres différents avec des méthodes de mesure différentes ?
- L'emplacement des capteurs est-il choisi de telle sorte qu'ils permettent de détecter des changements déterminants et qu'ils sont à l'abri d'influences extérieures ?
- La précision de mesure est-elle suffisante ?
- La résolution temporelle de la mesure (intervalle de mesure) est-elle suffisante ?
- Les paramètres de mesure peuvent-ils être facilement étalonnés (à distance) ?
- Peut-on envisager un fonctionnement du système en mode veille entre les mesures afin de réduire la consommation électrique ?
- La communication locale entre capteurs et unité d'évaluation est-elle aussi garantie lorsque les conditions extérieures sont difficiles (p. ex. neige lors de la communication radio) ?

Fiabilité de l'interprétation

- Les valeurs seuil sont-elles définies de manière à ce que des événements dangereux puissent être détectés et de fausses alarmes évitées ?
- Des mesures sont-elles prises pour prévenir de fausses alarmes (p. ex. combinaison de valeurs seuil, algorithme d'analyse adapté à la situation) ?
- Est-il possible d'adapter les valeurs seuil et, le cas échéant, cette modification est-elle consignée ?
- L'unité d'évaluation locale dispose-t-elle d'un espace mémoire suffisant (enregistreur) ?
- Les données sont-elles transmises en temps réel ?
- Les normes industrielles en matière de logiciel sont-elles respectées (p. ex. système de gestion des versions) ?
- Si la transmission de données a lieu sur le réseau de téléphonie mobile: a-t-on installé plusieurs émetteurs dans la région pour assurer une disponibilité élevée du réseau ?

Pour les systèmes d'alerte :

- L'équipe d'experts est-elle composée selon les besoins (p. ex. nombre, compétences) et sa disponibilité est-elle garantie ?
- Les modèles et méthodes choisis pour l'analyse des données sont-ils adaptés à la situation et peuvent-ils être correctement utilisés ?

Fiabilité de l'émission

- Les mesures d'intervention sont-elles suffisantes ?
- Le temps d'intervention disponible est-il suffisant ?
- Les alarmes urgentes sont-elles transmises par la voie directe ou la plus rapide ?
- Est-il possible d'identifier rapidement les fausses alarmes et, le cas échéant, de lever les mesures d'intervention ?
- A-t-on fixé des critères clairs pour le déclenchement et la levée d'une mesure d'intervention ?
- Les fausses alarmes et les événements sont-ils consignés dans un journal ?
- Le risque résiduel est-il acceptable ?

Pour les systèmes d'alerte :

- Les processus et les responsabilités dans l'équipe d'experts sont-ils définis avec précision ?
- La population reçoit-elle des instructions et est-elle formée aux évacuations ?

Fiabilité des composants et de la structure du système

- Les composants sont-ils compatibles entre eux ?
- Les composants ont-ils été testés dans des conditions extrêmes (températures ou changement de température, humidité, vent, etc.) ?
- Un dispositif parafoudre suffisant est-il intégré ?
 - mise à la terre,
 - parasurtension,
 - récepteur parafoudre, au besoin.
- Tous les composants sont-ils bien fixés et, au besoin, protégés par des filets ou des clôtures contre l'accès par des personnes ou des animaux ?
- Le nombre de composants raccordés en série est-il réduit au strict nécessaire ?
- Les diverses fonctions sont-elles mises en place de manière redondante ?
- Certaines dépendances (p. ex. aucune mesure en cas de brouillard) suppriment-elles la fiabilité accrue par des redondances ?
- Où se situe le maillon le plus faible du système et sa probabilité de défaillance est-elle acceptable ?
- La qualité/plausibilité des données peut-elle être contrôlée ?
- La disponibilité des composants peut-elle être vérifiée ?
- Des mesures sont-elles prévues pour identifier les éventuelles modifications apportées au système par erreur (p. ex. valeur seuil) ?
- Une alimentation électrique constante est-elle garantie (groupe électrogène) ?
- Une exploitation saisonnière de l'installation est-elle suffisante ?
- A-t-on prévu un plan d'entretien ?
- Les pièces de rechange sont-elles en stock ou livrables à court terme ?
- Le fournisseur/L'exploitant propose-t-il un service de réparation ?
- Le fournisseur/L'exploitant dispose-t-il de son propre atelier et de personnel qualifié ?
- Le fournisseur/L'exploitant est-il certifié ISO ou les processus sont-ils définis dans un autre cadre et propose-t-il une gestion de projets par des professionnels ?
- La gestion de données fait-elle l'objet d'un système redondant et les données sont-elles sauvegardées régulièrement ?
- Le fournisseur a-t-il communiqué ouvertement et à un stade précoce (offre) les faiblesses et les risques résiduels du système ?
- Les responsabilités sont-elles clairement réglées et le fournisseur/l'exploitant propose-t-il une couverture d'assurance suffisante ?
- Les utilisateurs (en l'occurrence, responsables de la sécurité) bénéficient-ils de possibilités de formation ?
- Les données sont-elles accessibles sur internet au moyen d'un mot de passe et leur portail est-il régulièrement actualisé ?
- Un service de piquet est-il mis à disposition et le fournisseur/l'exploitant est-il prêt à intervenir à tout moment en cas de problèmes techniques ?
- Des ressources humaines suffisantes peuvent-elles être fournies en cas d'urgence ?
- Est-on favorable à l'élaboration d'un concept d'exploitation dans lequel les responsabilités et les processus sont réglés avec précision ?
- Le fournisseur/L'exploitant dispose-t-il d'un dispositif de contrôle autonome ?
- Le fournisseur/L'exploitant met-il à disposition des groupes électrogènes de secours ?

2.2 Liste de contrôle II: évaluation de la fiabilité du fournisseur/de l'exploitant du système

- Le fournisseur/L'exploitant du système est-il expérimenté dans les domaines suivants :
 - dangers naturels ?
 - gestion de données/logiciels spécialisés ?
 - capteurs ?
- Un géologue ou un autre expert en dangers naturels est-il associé au projet ?

Partie C: Exemples de systèmes utilisés dans la pratique

En Suisse, de nombreux SdP servant à la protection contre les dangers naturels gravitationnels sont en service. Ci-après, six systèmes éprouvés sont décrits en détail.

1. Crue soudaine: système d'alerte sur la Plaine Morte (BE)

Danger naturel

- *Processus*: au-dessus de la commune bernoise de Lenk, on trouve trois lacs glaciaires qui, en été, présentent le risque de se vider spontanément et ainsi de provoquer des crues soudaines dans la vallée.
- *Fréquence*: des crues soudaines se produisent pratiquement chaque année durant les mois d'été.
- *Dommages potentiels*: les crues soudaines présentent un danger pour les résidents et les habitations, un hôtel, un camping, des sentiers de randonnée et un alpage situés en contrebas des trois lacs.
- *Temps d'intervention disponible*: dès que les lacs commencent à se vider, il reste encore plusieurs heures, voire plusieurs jours pour intervenir; ce temps se réduit à quelques heures dès le début de la montée du niveau d'eau du torrent glaciaire. Le temps d'écoulement de l'eau entre le capteur installé dans le ruisseau glaciaire et les objets menacés est inférieur à 30 minutes.



Figure 11: Lac glaciaire sur la Plaine Morte.
Photo: L. Meier/GEOPRAEVENT AG

Système d'alerte

- *Mise en service*: le système d'alerte est exploité depuis 2012.
- *Motif*: la zone concernée est étendue, si bien qu'il est difficile de joindre les personnes au moyen d'une intervention automatisée. En outre, il y a lieu d'émettre en fonction de la situation des instructions concernant le comportement à adopter.
- *Informations; fiabilité/expériences*: en 2012 et 2013, à la faveur de la mesure de leur niveau d'eau, la vidange des lacs a pu être détectée deux ou trois jours à l'avance.
- *Coûts*: l'installation initiale coûte quelque 110 000 fr., alors que les frais de fonctionnement varient entre 20 000 et 40 000 fr./an (incluant le montage au printemps, le démontage en automne et l'exploitation en été mais excluant les charges occasionnées par les responsables de la sécurité sur place).
- *Interlocuteur*: service des constructions de la commune de Lenk.

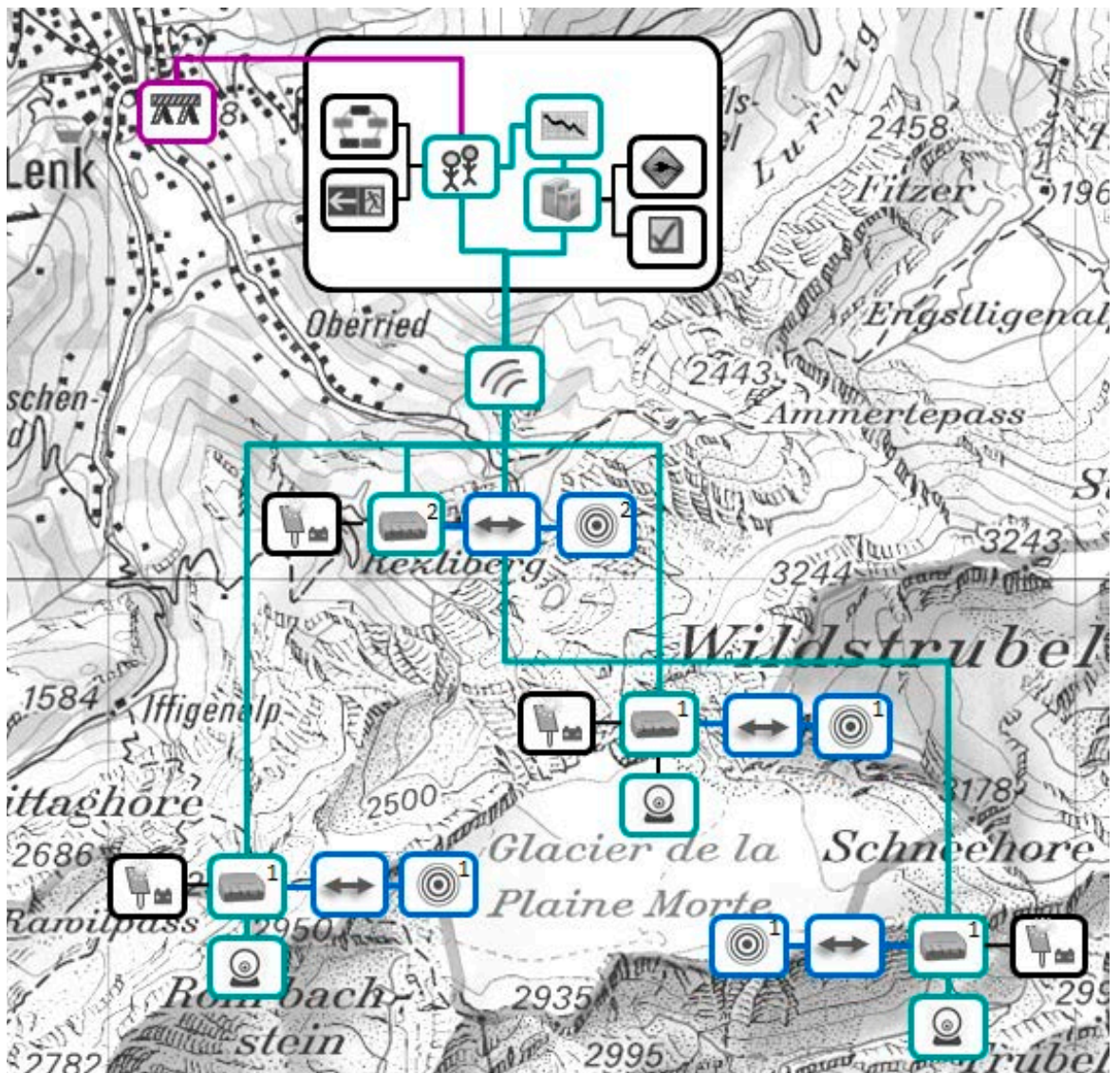


Figure 12: Composants et flux d'information du système d'alerte sur la Plaine Morte.

Saisie



Saisie de données locale 1
Trois sondes manométriques installées dans les lacs glaciaires servent à surveiller l'abaissement/la vidange des eaux.



Saisie de données locale 2
Une sonde radar de niveau détecte les crues soudaines dans le secteur inférieur du ruisseau glaciaire



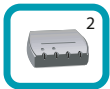
Communication locale
La communication entre les capteurs et l'unité d'évaluation sur le terrain est établie au moyen de liaisons par câble protégées.

Interprétation



Evaluation de données 1
Trois enregistreurs de données commandent les sondes manométriques

et comprennent les valeurs seuil. En 2013, la valeur seuil d'alerte dépassait de 14 cm la valeur moyenne mesurée durant l'heure précédente; quant à la valeur seuil d'alarme programmée dans cette sonde, elle dépassait de 20 cm la valeur moyenne mesurée durant l'heure précédente.



Evaluation de données 2

Un enregistreur de données commande la sonde radar de niveau et comprend des valeurs seuil. Celles-ci étaient de 1 m pour une alerte et de 1,5 m pour une alarme.



Transmission de données

Les données sont transmises de l'unité d'évaluation au serveur central et aux responsables via e-Alarm (sms traités en priorité par Swisscom).



Gestion de données

Les données de mesure saisies sont collectées sur des serveurs redondants de l'entreprise GEOPRAEVENT. La sauvegarde des données se fait sur un serveur de secours.



Analyse de données

Les données de mesure sont analysées, présentées sous forme de graphiques et mises à disposition sur internet où elles sont accessibles par mot de passe.



Information complémentaire

Une webcam diffusant des images en temps réel est installée à proximité de chacun des trois lacs.



Décision d'expert

La décision d'une intervention éventuelle se prend en équipe, à savoir par les responsables de la sécurité de la commune, qui font également appel au personnel compétent de l'organe cantonal spécialisé.

Transmission de l'information



Intervention organisée

L'intervention revêt la forme d'un barrage/d'une évacuation ponctuelle par les sapeurs-pompiers dans la zone inondable touchée. Les tronçons de route critiques sont fermés à la circulation.

Alimentation électrique



Alimentation autonome

Dans les zones reculées, les capteurs, webcams et les unités d'analyse fonctionnent à l'aide de panneaux solaires ou de batteries.



Alimentation par le réseau

Les composants nécessaires à la gestion et à l'analyse des données sont raccordés au réseau d'électricité public.

Dispositif de contrôle



Dispositif de contrôle

Fonction de contrôle: un serveur autonome vérifie toutes les 15 minutes la disponibilité des composants et la tension des batteries. En outre, il permet de détecter des modifications spontanées des valeurs seuil et des changements intervenus dans la version du logiciel.

Concept d'exploitation



Plan de maintenance et de déroulement

L'installation est démontée en automne et entreposée dans les locaux de GEOPRAEVENT. Au cours des mois d'hiver, le fonctionnement des composants est contrôlé, les modules défectueux sont remplacés, le logiciel éventuellement adapté et des mises à jour mineures, effectuées.



Plan d'intervention^[7]

On y décrit les processus et responsabilités détaillées pour les différents échelons.

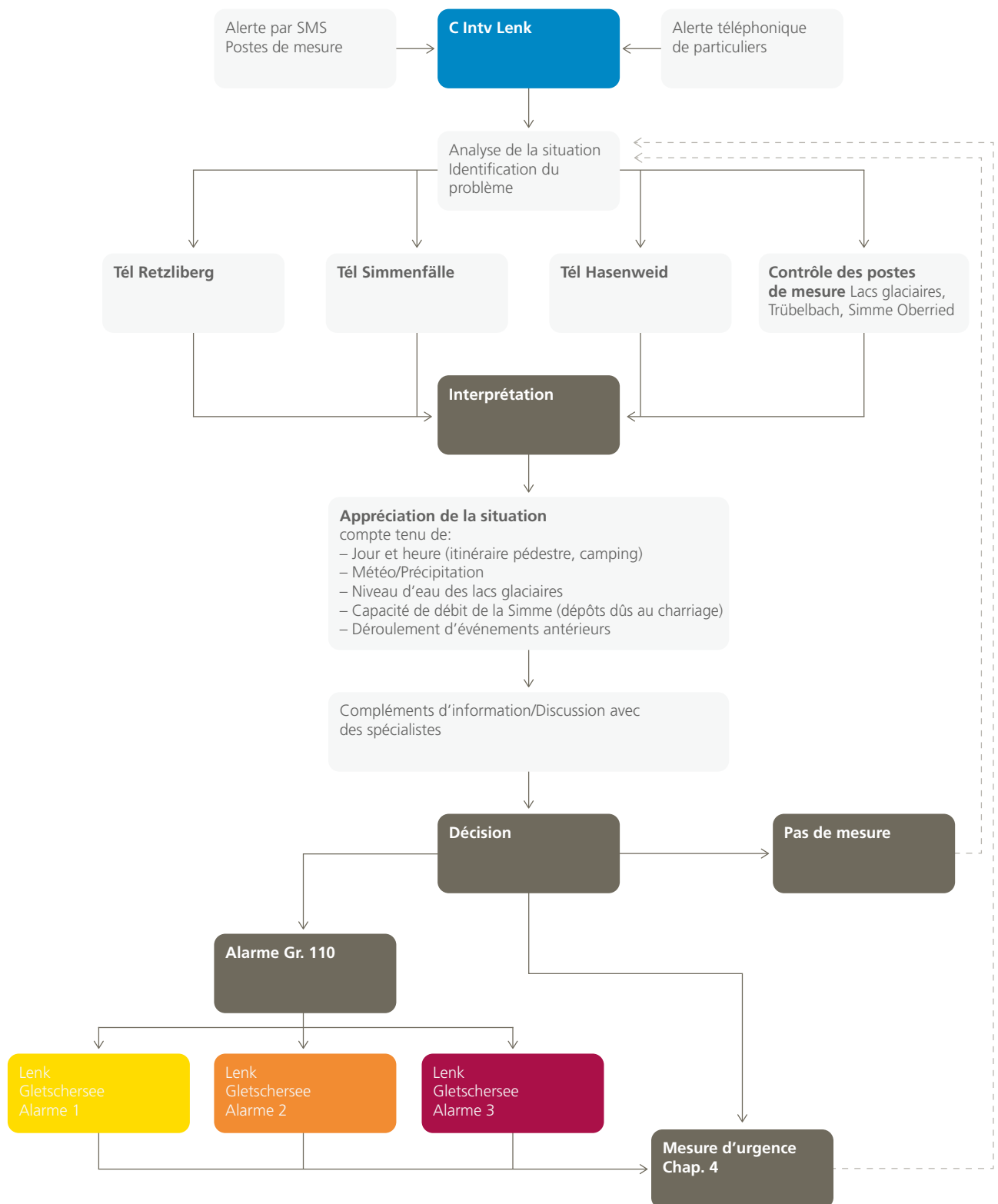


Figure 13: Extrait du plan d'intervention inhérent au système d'alerte Plaine Morte [7].

	Sapeurs-pompiers	Commune	EM Cond communal
Tâche de base	– Info	– Surveillance (lacs, Trüebbach, météo) – Etat des cours d'eau	– Système de surveillance – Surveillance (lacs, Trüebbach, météo) – Etat des cours d'eau – Communication, médias – Information
Alerte 1	– Evtl garde-eau	– Evaluation niveau/météo	– Interdiction sentiers et ponts – Signalisation – Evaluation niveau/météo, évtl avec avis OIK
Alerte 2	– Barrage de sentiers (Retzliberg, Val Simmendamm) – Evtl garde-eau	– Evaluation niveau/météo – Info selon liste tél 1 – Demander listes des résidents camping et hôtel Simmenfälle	– Interdiction sentiers et ponts – Signalisation – Evaluation niveau/météo, évtl avec avis OIK
Alarme	– Evacuation camping – Barrage de sentiers (Retzliberg, Val Simmendamm) – Barrage route d'Oberried, garde-eau	– Evaluation niveau/météo – Alarme tél selon liste 2 – Consignes de comportement à l'hôtel Simmenfälle – Exiger les listes des résidents camping et hôtel Simmenfälle	– Interdiction sentiers et ponts – Signalisation – Evaluation niveau/météo, évtl avec avis OIK – Info/Comm/Médias – Org liste abris d'urgence
Evénement	– Evacuation camping – Barrage de sentiers (Retzliberg, Val Simmendamm) – Barrage route d'Oberried, garde-eau	– Evaluation niveau/météo – Alerte tél selon liste 3 y.c. consignes de comportement – Exiger les listes des résidents camping et hôtel Simmenfälle – Info aux personnes en aval	– Interdiction sentiers et ponts – Signalisation – Evaluation niveau/météo, évtl avec avis OIK – Info/Comm/Médias – Org liste abris d'urgence

Tableau 4: Explications de la figure 13.

2. Coulée de boue: système combiné sur l'Illgraben (VS)

Danger naturel

- *Processus*: le lit d'un cours d'eau dans les hauteurs de la commune de Lenk donne naissance à une lave torrentielle déployant une activité supérieure à la moyenne.
- *Fréquence*: plusieurs coulées de boue faibles/moyennes se produisent chaque année durant la période d'été. Le dernier événement de grande ampleur (500 000 m³) a eu lieu en 1961.
- *Dommages potentiels*: les coulées de boue plutôt faibles/moyennes qui surviennent régulièrement présentent un danger pour les randonneurs qui traversent le lit du cours d'eau à des endroits précis; lors de coulées de boue importantes, les zones habitées et les voies de communication sont menacées.
- *Temps d'intervention disponible*: selon la vitesse d'écoulement, on dispose de 5 à 15 minutes pour intervenir dès la survenance de la coulée de boue.

Système combiné

- *Mise en service*: le système combiné est en fonction depuis 2006.
- *Motif*: un système combiné a été réalisé du fait que lors d'un événement majeur, le temps d'intervention disponible que permettrait un simple système d'alarme ne suffirait pas pour évacuer à temps les zones habitées. Ce système détecte les laves torrentielles faibles/moyennes et surveille en outre les changements importants (fortes pluies et présence de matériaux) qui annoncent un événement majeur.
- *Informations; fiabilité/expériences*: depuis 2006, le système d'alarme intégré a permis de détecter de manière fiable plus de 30 événements confinés dans le lit du cours d'eau; dans ce contexte, une fausse alarme a été déclenchée en 2007. Au début, la durée fixée pour la transmission de l'alarme était trop courte, de sorte que l'alarme était déjà terminée lorsque les laves torrentielles atteignaient le passage concerné. Ce défaut a été corrigé entre-temps.
- *Coût*: l'installation initiale coûte quelque 150 000 fr., alors que les frais de fonctionnement varient entre 20 000 et 30 000 fr./an (incluant le montage au printemps, le démontage en automne et l'exploitation en été mais excluant les charges occasionnées par les observateurs).
- *Interlocuteur*: police municipale de Susten.



Figure 14: Poste de détection Illgraben.
Photo: C. Graf/WSL

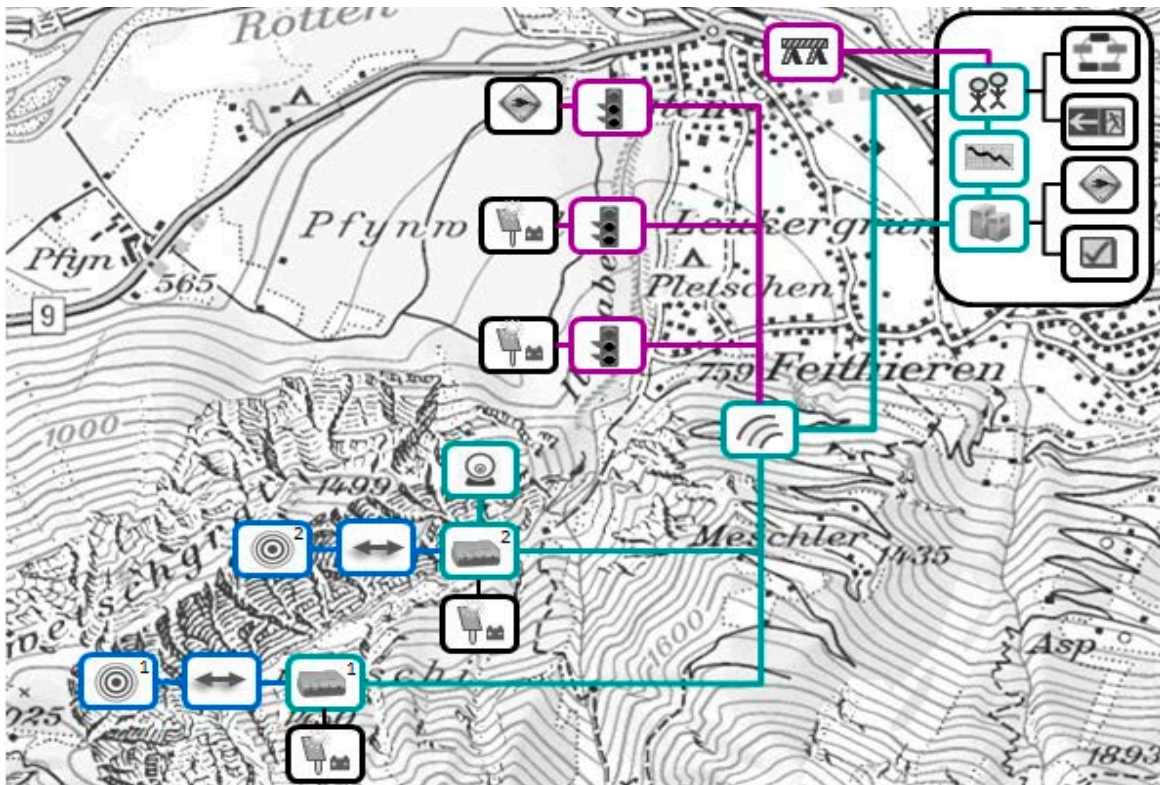


Figure 15: Composants et flux d'information du système combiné sur l'Illgraben.

Saisie



Saisie de données locale 1

Un géophone est installé dans la partie supérieure du lit du cours d'eau afin d'enregistrer les éventuelles vibrations.



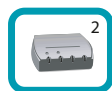
Saisie de données locale 2

Deux géophones et deux appareils radar placés à un niveau un peu plus bas du lit du cours d'eau détectent les vibrations et le volume d'une coulée.



Communication locale

La communication entre les capteurs et l'unité d'évaluation sur le terrain est établie au moyen de liaisons par câble protégées.



Evaluation des données 2

L'enregistreur de données situé en aval commande les deux géophones et les appareils radar et inclut des valeurs seuil combinées. L'alarme n'est déclenchée que si les valeurs seuil définies sont dépassées aussi bien dans un radar que dans un géophone. Pour le radar, cette valeur est de 30 ou 50 cm/20 secondes et pour les deux géophones, de 20 impulsions/5 secondes

Interprétation



Evaluation des données 1

Un enregistreur de données logé dans la partie supérieure du lit du cours



Transmission de données

Les données analysées par les unités distantes sont transmises au moyen d'un modem, d'un récepteur et d'un commutateur d'appels via GSM. Ces

derniers se situent dans la maison communale et réémettent les alarmes, également par GSM, aux stations réceptrices.



Gestion de données

Les données de mesure sont collectées sur un serveur central et sauvegardées sur un serveur de secours.



Analyse de données

Les données de mesure sont analysées, converties en graphiques et mises à disposition sur internet.



Information complémentaire

Des pluviomètres, une webcam et des observateurs spécialement formés saisissent périodiquement les changements ambiants importants et permettent ainsi d'identifier à temps les situations ou manifestations inhabituelles (accumulation de matériel meuble, activité de chute, obstructions du lit, etc.).



Décision d'expert

Une éventuelle intervention organisée est décidée en équipe (commission de sécurité communale) et après consultation d'un expert externe.

Transmission de l'information



Intervention automatisée

Trois stations d'alarme équipées chacune d'un modem, d'un récepteur d'appels, d'une sirène et d'un feu rouge mettent en garde les randonneurs à proximité des passages concernés. En outre, les responsables de la sécurité en sont informés. Le temps d'écoulement de l'alarme est de 10 minutes et commence à courir à partir du moment où des valeurs seuil contrôlées toutes les 5 ou 6 minutes ne sont plus dépassées.



Intervention organisée

L'intervention revêt la forme d'un barrage/d'une évacuation ponctuelle par les forces d'intervention (police, sapeurs-pompiers, etc.).

Alimentation électrique



Alimentation autonome

Dans les zones reculées, les capteurs, les unités d'analyse et deux stations d'alarme fonctionnent à l'aide de panneaux solaires ou de batteries.



Alimentation par le réseau

Les composants nécessaires à la gestion des données et une station d'alarme sont raccordés au réseau d'électricité public.

Dispositif de contrôle



Contrôle

Un système vérifie la tension des batteries, la plausibilité des données et la disponibilité du GSM et de tous les capteurs.

Concept d'exploitation



Plan de maintenance et de déroulement

Deux fois par an, la commission de sécurité de l'Illgraben, assistée par un conseiller externe (géologue), procède à une inspection des lieux. Il existe un contrat de maintenance avec le WSL (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage) qui prévoit un plafond de dépenses. De plus, le WSL peut être contacté pour obtenir des compléments d'information spécifiques sur les processus (coaching) et les événements en matière de coulées de boue qui sont également enregistrés par la station de recherche automatique.



Plan d'intervention^[8]

On y décrit les processus et responsabilités détaillées pour les différents échelons.

Quoi	Niveau cantonal	Niveau communal		
	Déclenché par	Reçu par	Transmis à	Personnes
Alerte «Aqua»	Centrale	Cdt sapeurs-pompiers	Président de commune Chef EM Chef situation	3
Alerte «Tempo»		Cdt sapeurs-pompiers	Président de commune Chef EM Chef situation	3
Alarme «Alto»		Cdt sapeurs-pompiers Président de commune Chef EM	Tout l'EM communal	3

Quand	Quoi	Qui	Remarque
Alerte «Aqua»	Rapport de situation Préparer mesures d'urgence Mise en place PC	Chef EM	Vérification et adaptation de la planification
H	Décision évacuation	Commune/Chef EM	Coordination chef op
H + 10'	Convocation des formations d'intervention	Chef op	SP x pers PCi x pers Sama x pers Police x pers S tech x pers
H + 40'	Rapport de coordination	Chef EM/Chef op	EM conduite communal
H + 60'	Information aux secteurs concernés par l'évacuation	Chef info	Selon planification
H + 90'	Annoncer l'avancement chaque 30'	Tous	
H + 90'	Routes d'accès barrées et gardées	Chef EM/Chef séc	
H + 90'	Contrôle des personnes évacuées/contrôle d'accès	PCi/SP	
H + 90'	Organisation des trsp	Chef log	
H + 90'	Contact avec hébergement	Chef log	
H + 90'	Org moyens auxiliaires pour l'évacuation	Chef op	
H + 90'	Garantir le flux info	Chef info	
H + 120'	Contrôle secteur évacué	Chef op/PCi	
H + 140'	Fin de l'évacuation	Chef op/PCi	

H = décision d'une évacuation préventive

Figure 16: Extrait du plan d'intervention inhérent au système combiné utilisé sur l'Illgraben [8].

3. Avalanche: système d'alarme sur le col d'Hägrigen (UR)

Danger naturel

- *Processus*: un tronçon de voie de chemin de fer enjambant un pont près de Wassen est exposé au risque d'avalanche.
- *Fréquence*: la périodicité d'occurrence est de 30 ans pour une avalanche sur le pont.
- *Dommages potentiels*: trafic et infrastructure ferroviaires des CFF.
- *Temps d'intervention disponible*: quelques secondes entre le moment d'un événement survénant sur le chemin de fer et l'arrivée d'un train à cet endroit-là.

Système d'alerte

- *Mise en service*: le système d'alarme est en service depuis 2012.
- *Motif*: des avalanches successives peuvent entraîner un engorgement du passage sous le pont et impliquent donc le risque que la masse neigeuse se dépose sur la voie ferrée située au-dessus. S'il n'est pas éliminé par un tel système, le risque qu'un train heurte une masse de neige déposée par une avalanche sur la voie ferrée peut néanmoins être réduit. Afin d'empêcher des fermetures de tronçon et des suppressions de train occasionnées par des fausses alarmes, chaque alarme est vérifiée au poste de garde-barrière le plus proche.
- *Informations; fiabilité/expériences*: le système fonctionne de manière simple et fiable et la décision prise par les experts a déjà permis de prévenir des retards dus à des fausses alarmes. Depuis l'introduction de ce dispositif, aucun événement à détecter n'est encore survenu.
- *Coûts*: l'installation initiale coûte quelque 15 000 fr., alors que les frais de fonctionnement se chiffrent à environ 5000 fr./an (incluant le montage en automne, le démontage au printemps et l'exploitation en hiver mais excluant les charges occasionnées par les responsables de la sécurité sur place).
- *Interlocuteur*: Division Nature et risques naturels CFF.



Figure 17: Cordes de décrochage sous le pont.
Photo: L. Meier/GEOPRAEVENT

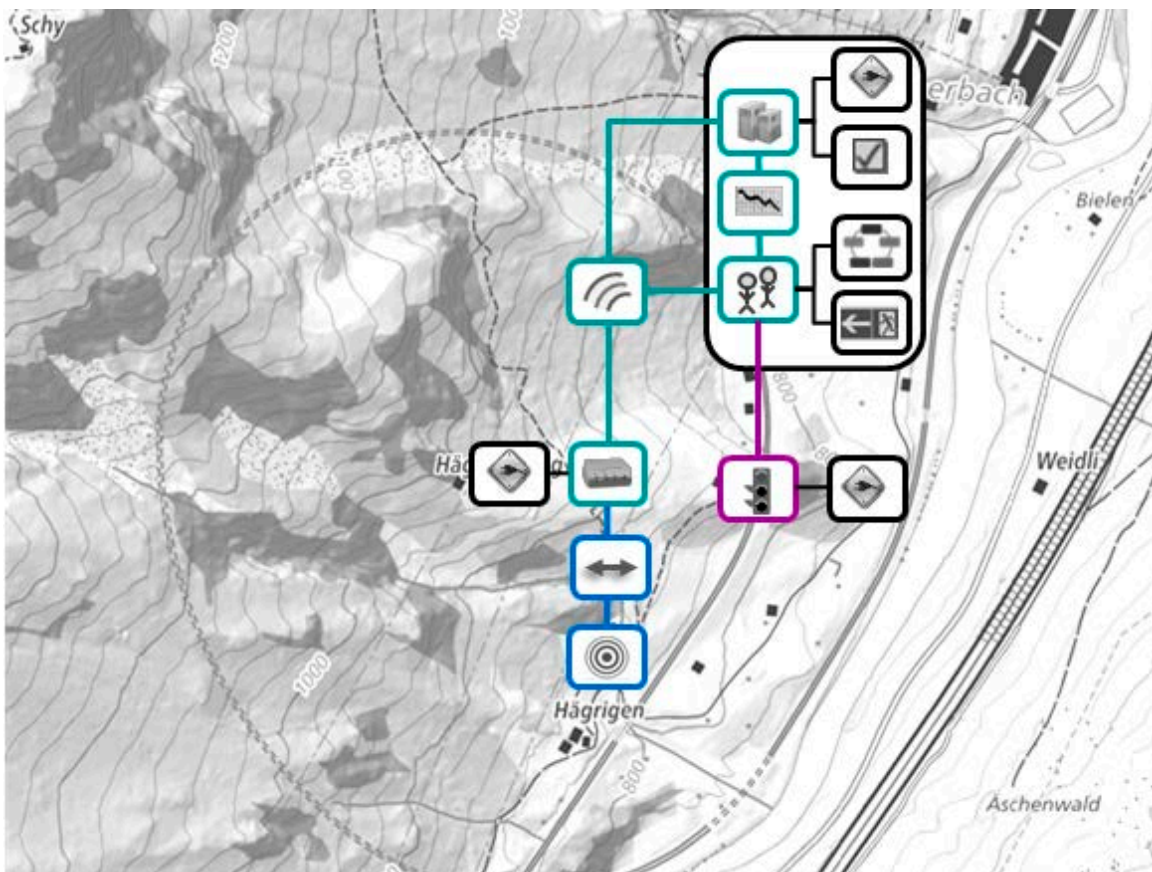


Figure 18: Composants et flux d'information du système d'alarme sur le col d'Hägrigen.

Saisie



Saisie de données locale

Deux cordes de décrochage montées dans l'arche du pont à des hauteurs différentes.



Communication locale

La communication entre les capteurs et l'unité d'évaluation sur le terrain est établie au moyen de liaisons par câble protégées.



Transmission de données

Les données sont transmises de l'enregistreur au poste de garde-barrière via une connexion par câble et, aux CFF et à GEOPRAEVENT, moyennant GSM/e-Alarm (sms traités en priorité par Swisscom).

Interprétation



Analyse de données

Enregistreur de données qui surveille l'état des deux cordes de décrochage et déclenche une alarme dès que la corde inférieure lâche ou, si elle a déjà



Gestion de données

Assurée sur des serveurs redondants de l'entreprise GEOPRAEVENT. Les données sont sauvegardées sur un serveur de secours.



Analyse de données

Conversion de toutes les données de mesure en graphiques qui sont accessibles sur internet au moyen d'un mot de passe.



Décision d'expert

Lorsque la situation est critique en matière d'avalanches, le poste de garde-barrière le plus proche est occupé en permanence. Dès le moment où une alarme est déclenchée par l'unité d'évaluation, des moyens d'alarme acoustiques et visuels sont activés au poste de garde-barrière, lequel décide en quelques secondes s'il veut ou non transmettre l'alarme. En outre, les responsables des CFF sont informés au moyen de sms traités en priorité par Swisscom.

Transmission de l'information



Intervention automatisée

Le contrôleur d'exploitation peut ordonner un arrêt du train.

Alimentation électrique



Alimentation par le réseau

Le système d'alarme est raccordé au réseau électrique des CFF.

Dispositif de contrôle



Dispositif de contrôle

Un serveur autonome vérifie toutes les 15 minutes la disponibilité des composants et la tension des batteries. En outre, il permet de surveiller les modifications des valeurs seuil et les changements intervenus dans la version du logiciel.

Concept d'exploitation



Plan de maintenance et de déroulement

Les cordes de décrochage sont retirées en été par les CFF qui les réinstallent en hiver. L'entretien annuel de l'installation incombe à GEO-PRAEVENT.



Plan d'intervention ^[9]

L'intervention est décrite dans un règlement interne des CFF.

4. Chute de pierres et de blocs : système d'alarme au Kaschirand (SZ)

Danger naturel

- *Processus*: un tronçon de chemin de fer à proximité d'Arth-Goldau (Kaschirand) est exposé au risque de chute de pierres et de blocs.
- *Fréquence*: la périodicité d'occurrence est de 30 ans pour une chute de pierres et de 100 ans pour une chute de blocs. Le dernier événement – une chute de blocs – remonte à 2009.
- *Dommages potentiels*: un événement menace le trafic et l'infrastructure ferroviaires des CFF.
- *Temps d'intervention disponible*: souvent, seules quelques secondes peuvent s'écouler entre le moment d'un événement survenant sur les rails et l'arrivée d'un train à cet endroit-là.



Figure 19: Filets de protection munis de capteurs.
Photo: T. Meisel/IPS - INGLAS

Système d'alarme

- *Mise en service*: le système d'alarme est en service depuis 2010.
- *Motif*: des ouvrages de protection sous-dimensionnés dans les zones de chute potentielles ont été équipés après coup d'un système d'alarme servant à détecter immédiatement tout événement de surcharge sur la voie ferrée. Ce système est programmé de telle sorte qu'il permet d'empêcher les fermetures de tronçon et les suppressions de train dues à des fausses alarmes. En plus, chaque alarme est examinée par un expert au centre de contrôle (Operatin Center Infrastructure OCI).
- *Informations; fiabilité/expériences*: cette configuration du système et les décisions des experts ont déjà permis de prévenir des retards dus à des fausses alarmes. Depuis l'introduction de ce dispositif, aucun événement à détecter n'est encore survenu.
- *Coûts*: aucune indication disponible.
- *Interlocuteur*: Division Nature et risques naturels CFF.

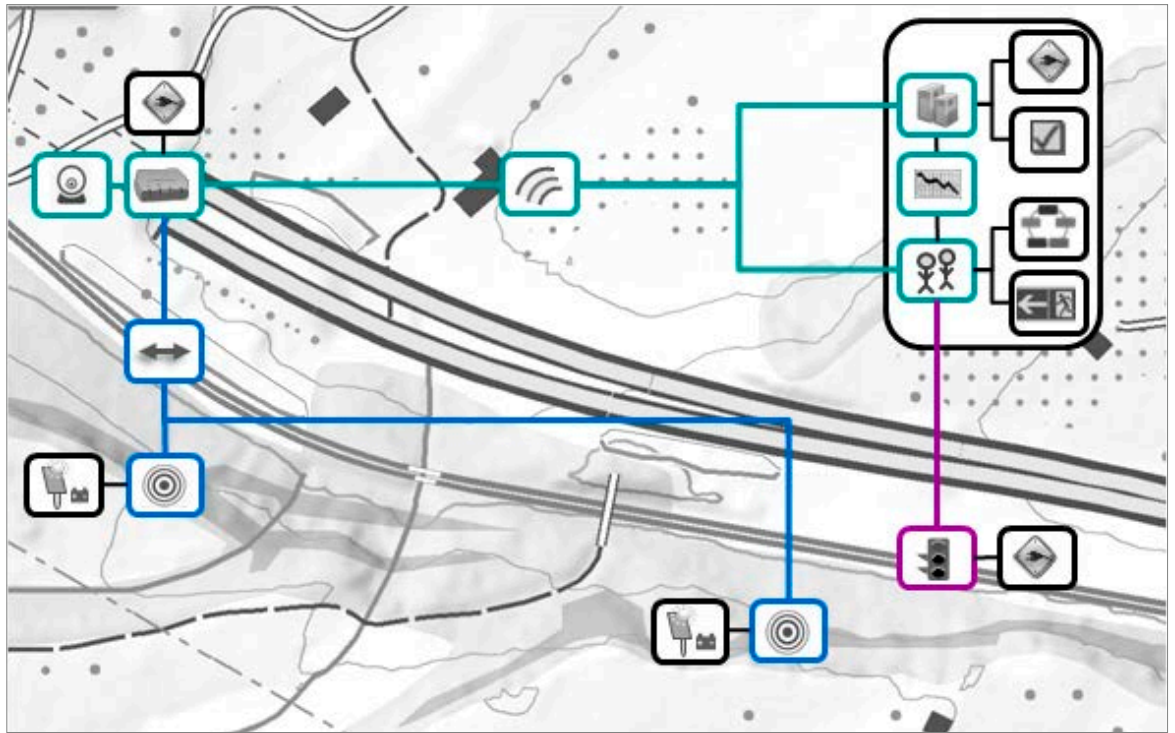


Figure 20: Composants et flux d'information du système d'alarme au Kaschirand.

Saisie



Saisie des données

Deux filets de protection contre les chutes de pierres, pourvus chacun de 21 capteurs, sont fixés le long des voies. Les géophones enregistrent les vibrations, alors que les forces agissant sur les filets sont enregistrées par les cordes de décrochage. A la survenance d'un événement, ces cordes lâchent.



Communication locale

Les connexions entre les capteurs et l'unité d'évaluation sur le terrain sont établies par radio (868 MHz). Deux répéteurs élargissent la portée de la liaison radio sur place.

Interprétation



Evaluation des données

L'unité d'évaluation se compose d'un récepteur et d'un enregistreur de données. Elle transmet l'alarme en cas de dépassement d'une valeur seuil. Si plusieurs cordes de décrochage sont endommagées, une « alarme majeure » est émise. Une corde endommagée et des vibrations enregistrées par plusieurs capteurs entraînent une « alarme mineure ». Lorsque seules des vibrations sont enregistrées, une information ayant valeur d'indicateur de tendance est émise.



Transmission de données

Les données traitées dans l'unité d'évaluation sont transmises au centre de contrôle (OCI) et au chef-circulation de manière redondante via le réseau fixe et via GSM-R.



Gestion de données

Les données de mesure saisies sont collectées sur des serveurs redondants (CFF Lucerne/Zurich). La sauvegarde des données s'effectue sur un serveur de secours.



Analyse de données

Les données de mesure sont analysées et l'état de tous les réseaux et capteurs est visualisé au centre de contrôle (OCI).



Décision d'expert

Un expert affecté au centre de contrôle (OCI) doit vérifier l'alarme en l'espace de 90 secondes afin, le cas échéant, de libérer à nouveau le tronçon ou de mettre en route les mesures qui s'imposent. Ce procédé est possible du fait que le centre de contrôle (OCI) est desservi en continu (24 heures sur 24/7 jours/semaine/365 jours/an).



Information complémentaire

Tout type d'alarme exige la présence sur place des responsables afin d'apprécier la situation. Ceux-ci pourront obtenir les premières informations à partir des images d'une webcam sur les lieux.

Transmission de l'information



Intervention automatisée

Une « alarme lourde » est transmise d'une part au chef-circulation, qui fermera le tronçon touché, et d'autre part au centre de contrôle (OCI) où un expert confirmera ou annulera l'alarme dans les 90 secondes. Une autre option est la marche à vue.

Alimentation électrique



Alimentation autonome

Dans les zones reculées, les capteurs et les répéteurs fonctionnent à l'aide de panneaux solaires ou de batteries, de même qu'au moyen d'un piézo-générateur intégré.



Alimentation par le réseau

Les unités d'évaluation et le centre de contrôle (OCI) sont raccordés au réseau d'électricité public.

Dispositif de contrôle



Dispositif de contrôle

Le fonctionnement des capteurs, des unités d'évaluation et des réseaux de données fait l'objet d'une surveillance en ligne redondante dans deux centres des CFF (Lucerne et Zurich).

Concept d'exploitation



Plan de maintenance et de déroulement

Sujets à l'encrassement, les capteurs doivent être nettoyés à intervalles réguliers.



Plan d'intervention ^[9]

L'intervention est conduite par le centre de contrôle et décrite dans une régulation interne des CFF.

5. Eboulement: système d'alerte au-dessus de Preonzo (TI)

Danger naturel

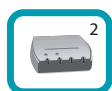
- *Processus*: une masse rocheuse instable peut à tout moment se détacher et tomber dans la vallée.
- *Fréquence*: des volumes de 150 000 m³ et 300 000 m³ respectivement se sont détachés durant les années 2002 et 2012.
- *Dommages potentiels*: la masse rocheuse instable constitue un danger pour la zone industrielle située dans la vallée, une route cantonale et un tronçon autoroutier.
- *Temps d'intervention disponible*: le mouvement du rocher augmente sensiblement pendant quelques jours/semaines avant un événement.

Système d'alerte

- *Mise en service*: sous sa forme actuelle, le système d'alerte est exploité depuis 2010.
- *Motif*: le mouvement de rocher est un processus continu qui s'accélère avant un événement mais laisse suffisamment de temps pour évacuer l'usine et barrer les routes menacées.
- *Informations; fiabilité/expériences*: la rupture d'un bloc volumineux (env. 300 000 m³) a pu être prédite en mai 2012. Peu de temps avant et pendant l'événement, la plupart des capteurs installés dans la zone en question ont été endommagés. Notamment à l'aide d'un radar interférométrique, il a été possible de fixer indépendamment des conditions météorologiques le moment où les mesures d'intervention pouvaient être levées.
- *Coûts*: l'installation initiale du système d'alerte proprement dit coûte quelque 250 000 fr., alors que les frais de fonctionnement avoisinent les 10 000 fr./an (sans compter les charges occasionnées par les responsables de la sécurité sur place). Quant aux frais d'installation initiale et d'exploitation des sirènes, ils se chiffrent à 110 000 fr. pour les premiers et à environ 5 000 fr./an pour les seconds.
- *Interlocuteur*: Sezione Forestale del Cantone del Ticino (service des forêts et du paysage du canton du Tessin)



Figure 21: Preonzo après l'éboulement de 2012.
Photo: G. Valenti/canton du Tessin



Analyse de données 2

La station totale est commandée à partir d'un ordinateur équipé d'un logiciel spécial installé dans la vallée. Celui-ci contient des valeurs-seuil qui déclenchent une alerte dès que la vitesse de déplacement augmente au-delà de 50 mm/jour.



Transmission de données 1

Les données sont transmises de l'unité d'évaluation distante des extensomètres au serveur central et aux responsables via GSM.



Transmission de données 2

L'information parvient aux responsables de la sécurité par le réseau GSM, alors que les données que l'ordinateur de la station totale transmet au serveur central le sont via internet ADSL.



Gestion de données

Les données de mesure saisies sont collectées sur un serveur central du canton du Tessin. La sauvegarde des données est garantie à l'aide d'un serveur de secours.



Analyse de données

Les données de mesure sont analysées, converties en graphiques et sont librement accessibles sur internet. Pour prédire le moment de l'éboulement, on se fonde sur la valeur inverse du taux de mouvement ($1/v$).



Information complémentaire

Une webcam près de la station totale et les pluviomètres installés à proximité des fissures fournissent des précisions importantes.



Décision d'expert

Une éventuelle intervention est décidée en équipe, c'est-à-dire d'un commun

accord par les responsables cantonaux des dangers naturels et les représentants compétents de la commune.

Transmission de l'information



Intervention organisée

Le signal d'évacuation des bâtiments d'usine concernés peut être donné manuellement ou par sirènes. La fermeture de la route est effectuée par les forces d'intervention (police, etc.). La décision concernant le déclenchement ou la levée des mesures est prise d'entente avec le groupe d'experts.

Alimentation électrique



Alimentation autonome

Dans les zones reculées, les extensomètres et l'unité d'évaluation fonctionnent à l'aide de panneaux solaires ou de batteries.



Alimentation par le réseau

La station totale incluant l'ordinateur et les composants de la gestion des données sont raccordés au réseau d'électricité public.

Dispositif de contrôle



Dispositif de contrôle

Les experts sont informés lorsque les composants du système d'alerte ne sont plus disponibles. En plus, cette fonction permet de vérifier la qualité du signal sur le réseau GSM et la tension des batteries.

Concept d'exploitation



Plan de maintenance et de déroulement

Le géologue cantonal procède à une inspection trois ou quatre fois par an.



Plan d'intervention ^[10]

Il détaille les processus et responsabilités pour les différents échelons.

	Préalerte	Alerte	Alarme
	Mesures d'intervention		
1	Analyse des mesures toutes les 4 heures Team d'experts de piquet Un employé communal de piquet	Analyse des mesures chaque heure	Analyse continue des mesures
2	Mise en place d'un service d'urgence pour le contrôle visuel, si la situation ne s'améliore pas dans les 2 jours	Activation téléphone de crise	Evacuation Liaison avec les fournisseurs d'électricité
3	Informers la police cantonale Informers l'office cantonal des routes Informers les communes concernées	Informers les entreprises et les habitants de la zone dangereuse Liaison avec les services concernés	Ouverture d'une centrale de transmissions Barrage de la route cantonale Préparer le barrage de l'autoroute
4		Préparer le barrage de la route cantonale Préparer le barrage de l'autoroute	Informations au Conseil d'Etat
	Responsables		
1	Groupe d'experts Commune	Groupe d'experts Commune	Groupe d'experts Commune
2	Groupe d'experts Commune	Commune	Etat-major de crise Police cantonale
3	Commune	Etat-major de crise	Police cantonale
4		Police cantonale	Etat-major de crise

Figure 23: Extrait du plan d'intervention inhérent au système d'alerte au-dessus de Preonzo [10].

6. Glissement de terrain: système d'alerte sur le glacier de Grindelwald (BE)

Danger naturel

- *Processus*: la moraine formée au-dessus du lac glaciaire sur la partie inférieure du glacier de Grindelwald se désagrège lentement. En 2009, elle a menacé de tomber dans le lac glaciaire, ce qui aurait pu générer une crue soudaine.
- *Fréquence*: événement unique au printemps 2009.
- *Dommages potentiels*: un événement majeur aurait mis en danger les zones habitées et les voies de communication entre Grindelwald et Interlaken, de même que les chemins de randonnée pédestre, les terrains de camping et la passerelle du ravin glaciaire.
- *Temps d'intervention disponible*: seules quelques heures auraient été à disposition entre une nette accélération du glissement et l'arrivée de la crue soudaine dans la zone menacée.



Figure 24: Rupture de moraine glaciaire.
Photo: N. Hählen/cantonde Berne

Système d'alerte

- *Mise en service*: le système d'alerte a été exploité en 2009.
- *Motif*: le système d'alerte surveille les mouvements morainiques afin que les responsables soient avertis à temps de ruptures dangereuses et puissent ainsi mettre en route les interventions qui s'imposent.
- *Informations; fiabilité/expériences*: l'événement a pu être prédit.
- *Coûts*: l'installation initiale a coûté quelque 23 000 fr. (location de l'infrastructure [forfait de base]), alors que les frais de fonctionnement se sont montés à environ 300 fr./jour.
- *Interlocuteur*: chef de la Division des dangers naturels auprès de l'Office des forêts du canton de Berne.

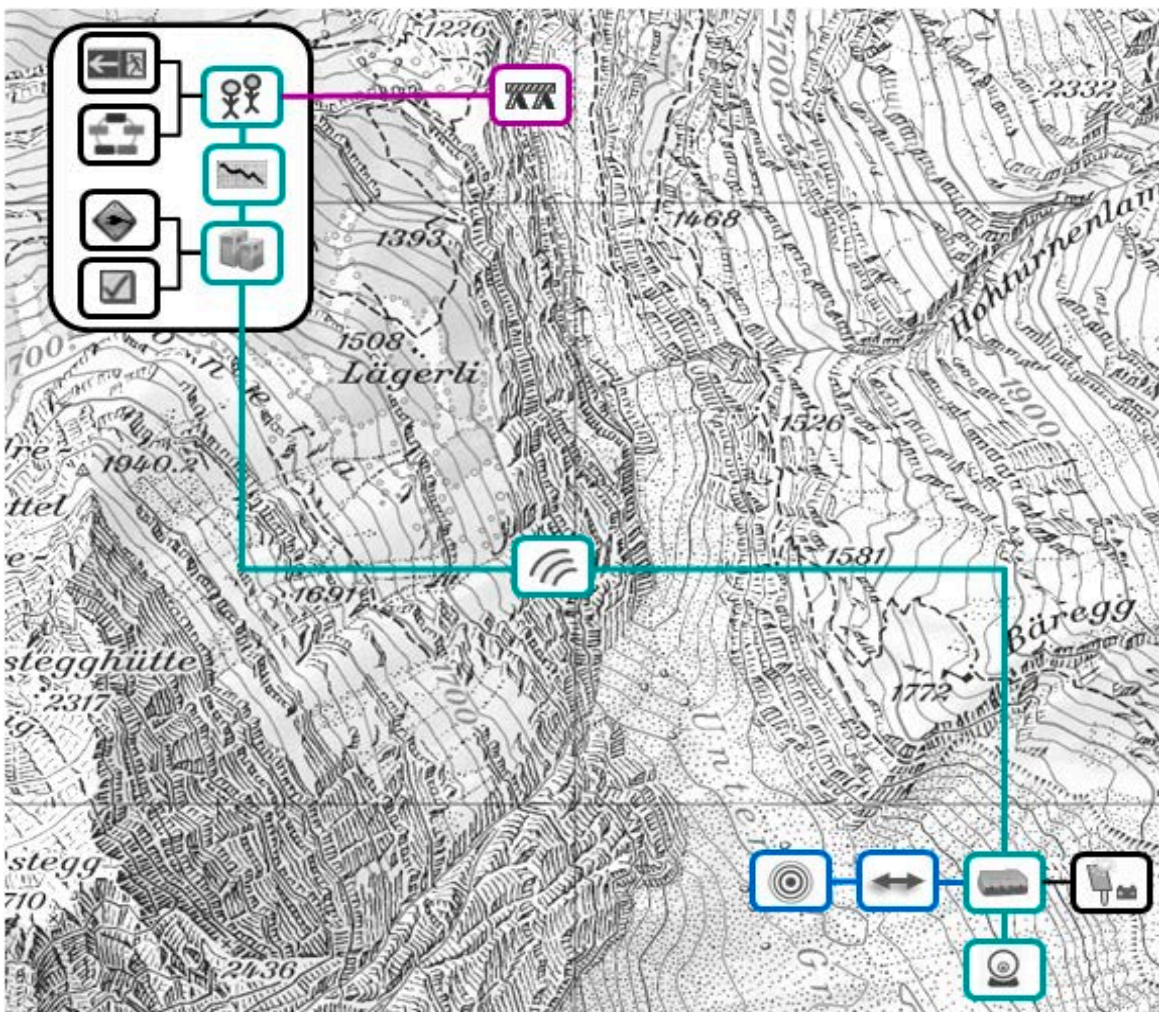


Figure 25: Composants et flux d'information du système d'alerte sur le glacier de Grindelwald.

Saisie



Saisie des données

Quatre miroirs relevés à intervalles réguliers (toutes les 15 minutes) au moyen d'un tachymètre ont été installés sur la masse en mouvement.



Communication locale

Il s'agit d'une mesure par infrarouge.

Interprétation



Analyse de données

Un programme de traitement intégré au tachymètre commande les mesures. Un enregistreur de données consigne les valeurs de mesure et émet des alertes en cas de dépassement des valeurs seuil.



Transmission de données

Les données sont transmises de l'unité d'évaluation au serveur central par l'intermédiaire du réseau de téléphonie mobile.



Gestion de données

Les données de mesure saisies sont collectées sur un serveur central. Leur sauvegarde est assurée sur un serveur de secours.



Analyse de données

La valeur inverse (1/v) sert à pronostiquer le moment de la chute du glacier.



Information complémentaire

Une webcam établit trois fois par jour une prise de vue de la moraine et du lac glaciaires.



Décision d'expert

Une éventuelle intervention est décidée en équipe, c'est-à-dire d'un commun accord par les responsables cantonaux des dangers naturels, les représentants compétents de la commune et un bureau de géologues privé.

Transmission de l'information



Intervention organisée

L'évacuation et le barrage des zones menacées sont effectués par les forces d'intervention (police, etc.), alors que la mise en place de mesures de protection en cas de crue incombe aux sapeurs-pompiers.

Alimentation électrique



Alimentation autonome

Une petite turbine installée dans la cabane du Bäregg est utilisée pour approvisionner le tachymètre en énergie.



Alimentation par le réseau

Le serveur central est raccordé au réseau d'électricité public.

Dispositif de contrôle



Fonction de contrôle

Le gardien de la cabane du Bäregg et les responsables de la sécurité de la commune et du service cantonal spécialisé ont procédé périodiquement à des contrôles visuels sur la moraine.

Concept d'exploitation



Plan de maintenance et de déroulement

Il n'existait aucun plan de maintenance puisque le système n'a été utilisé que pendant une phase aiguë relativement brève.



Plan d'intervention^[11]

Il décrivait en détail les processus et les responsabilités pour les divers échelons.

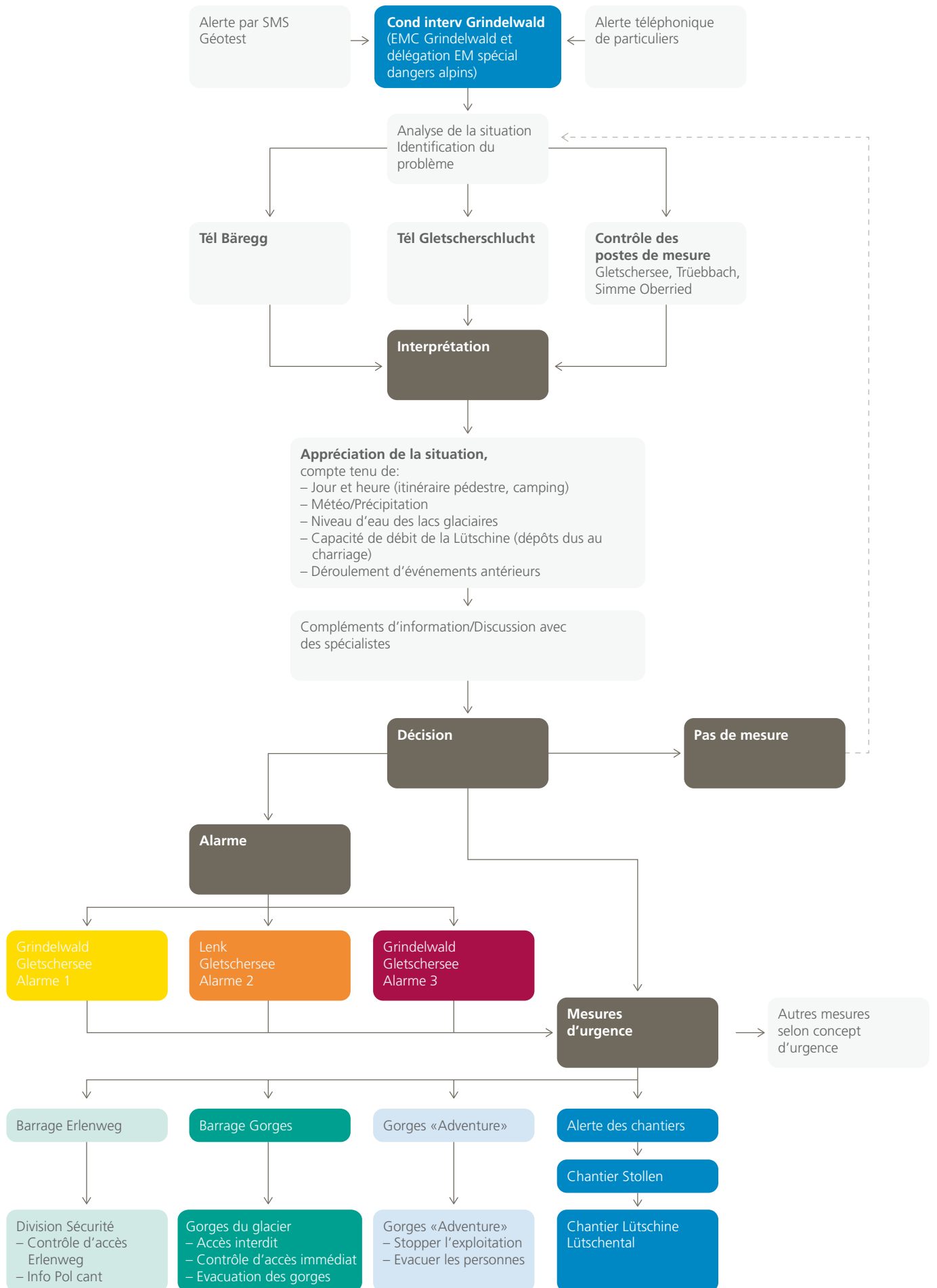


Figure 26: Extrait du plan d'intervention inhérent au système d'alerte sur le glacier de Grindelwald^[11].

Glossaire et documents de référence

Glossaire

Avalanche

Processus au cours duquel de la neige ou de la glace détachée soudainement dans une zone de rupture dévale rapidement le long d'une trajectoire sous la forme d'une masse en glissement (avalanche coulante) ou d'un mélange tourbillonnant de neige et d'air (avalanche poudreuse), puis s'arrête dans une zone dite de dépôt.^[3]

Chute de glace

Rupture de blocs de glace d'un volume total supérieur à 100 m³ provenant de parois rocheuses ou de glaciers (séracs).^[12]

Chute de pierres/blocs

Eboulement, saut et roulement de pierres ($\varnothing < 50$ cm) et blocs isolés ($\varnothing > 50$ cm).^[3]

Coulée de boue (aussi appelée lave torrentielle)

Avalanche de boue composée d'un mélange d'eau, de débris de roche et parfois de troncs d'arbre. Les coulées de boue se déclenchent dans la partie supérieure, raide, du lit d'un torrent et peuvent atteindre des vitesses très élevées.^[3]

Crue

Désigne l'état d'un cours d'eau dans lequel le niveau d'eau ou l'écoulement atteint ou a dépassé une valeur (seuil) déterminée.^[13]

Dangers naturels

Tous les phénomènes observés dans la nature qui peuvent être nuisibles pour l'homme, l'environnement et les biens matériels. Le présent guide pratique est limité aux dangers naturels gravitationnels, à savoir^[3]:

- dangers relatifs à l'eau (inondation, débordement de lave torrentielle, érosion des rives, ruissellement superficiel, hausse du niveau de la nappe phréatique, reflux de canalisation)
- glissement (permanent et spontané, coulée de boue)
- chutes (chutes de pierres et de blocs, éboulement et écroulement, chute de glace, effondrement, affaissement)
- avalanche (avalanches coulante ou poudreuse, coulée de glissement)

Eboulement

Chute d'une masse rocheuse qui, en cours de mouvement ou lors du choc, est fractionnée en d'innombrables blocs et pierres, l'interaction des composants n'influant pas dans une mesure déterminante sur la dynamique de l'événement.^[3]

Ecroulement

Glissement très rapide d'une énorme masse rocheuse plus ou moins cohérente dans sa formation originale, le mouvement étant caractérisé par une forte interaction des composants (« coulée torrentielle »).^[3]

Efficacité

Degré qui réduit le risque par une mesure (en l'occurrence : un système de préalerte). Les systèmes de préalerte empêchent de manière prépondérante que des personnes et objets mobiles soient exposés à un événement dangereux.

Fiabilité

Un système de préalerte remplit la fonction qui lui est attribuée et il est fiable s'il est capable de détecter en temps opportun des événements dangereux et ainsi de prévenir des dommages.

Gestion intégrale des risques

Processus visant à gérer les risques en tenant compte de tous les types de mesures, en associant tous les responsables à la planification des mesures et à leur mise en œuvre et en aspirant à une durabilité écologique, économique et sociale (sur le modèle décrit dans ^[3]).

Glissement

Mouvements vers le bas survenant dans des zones rocheuses ou des roches non consolidées en pente sur une surface glissante (ou le long d'une zone de cisaillement).^[3]

Intervention

Engagement automatisé ou organisé de mesures en vue de réduire les dommages potentiels.

Possibilités de surveillance

Paramètres surveillés par des capteurs (événements déclencheurs, variables de la prédisposition et paramètres du processus) et servant à détecter rapidement un événement d'origine naturelle.

Probabilité de défaillance

Valeur complémentaire à la fiabilité. Peut être calculée à travers le taux de défaillance.^[6]

Redondance

Présence multiple de composants ou fonctions d'un même système pour en garantir l'exploitation et en augmenter la fiabilité.

Risque

Ampleur et probabilité de dommages possibles.^[3]

Système combiné

Assure aussi bien la fonction d'un système d'alerte que celle d'un système d'alarme

Système d'alarme

Équipement servant à détecter des événements naturels dangereux en vue de déclencher immédiatement une alarme automatisée. Au moment de la détection, la valeur informative des données est maximale, alors que le temps d'intervention qui en résulte est minimal. L'alarme est transmise sur la base d'une ou de plusieurs valeurs seuil qui sont généralement fixées comme paramètres de processus à des fins de détection d'événements spontanés

Système de préalerte

Système servant à générer et à émettre en temps voulu des informations significatives afin que les personnes, communes ou organisations menacées puissent se préparer à la survenance de l'événement et prendre à temps les mesures nécessaires pour en réduire les dommages.^[1]

Systèmes d'alerte

Dispositifs permettant d'émettre une alerte automatisée en cas d'augmentation du danger potentiel afin que les experts puissent apprécier la situation et prendre des mesures d'intervention adaptées à celle-ci. Si la valeur informative des données est relativement faible au moment de l'alerte, le temps d'intervention est d'autant plus long. La plupart des systèmes d'alerte comprennent des valeurs seuil prédéfinies pour les changements, si bien que les événements qui se profilent lentement sont identifiés à temps.

Temps d'intervention disponible

Temps s'écoulant entre le moment de l'alerte ou de l'alarme et la survenance de l'événement dommageable

Valeur seuil

Valeur fixée à l'avance pour déclencher une alerte ou une alarme.

Documents de référence

- [1] UNISDR. Terminology. Geneva: The United Nations Office for Disaster Risk Reduction; 2007. <http://www.unisdr.org/we/inform/terminology>. (dernier accès en date: 19 juin 2014).
- [2] Sättele M. (2015). Quantifying the Reliability and Effectiveness of Early Warning Systems for Natural Hazards. Thèse de doctorat, TU München.
- [3] OFEV (2015). Aide à l'exécution mouvements de terrain.
- [4] Zimmermann M. (Ed.). (1997). Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz. vdf Hochschulverlag AG.
- [5] Sättele M., Bründl M., Straub D. (2013): Bayesian networks to quantify the reliability of a debris flow alarm system. Proc. 11th International Conference on Structural Safety & Reliability ICOSAR 2013, Columbia University, New York.
- [6] Straub D. (2011). Vorlesungsunterlagen: Zuverlässigkeit und Lastannahmen. Fachgebiet Risikoanalyse und Zuverlässigkeit, TU München.
- [7] Gemeinde Lenk 2012: Pflichtenheft Einsatzleitung Gletscherseen Plaine Morte Lenk, 27 mars 2012.
- [8] Risikoplanung – Gemeinde Leuk Illgraben. Dossier 1, établi en mai 2010.
- [9] CFF: D I-B 09/11 (2015).
- [10] Commune di Preonzo: Frana di Roscioro – Piano di sicurezza. Aggiornamento Marzo 2011, Allegato 9.1.
- [11] Gemeinde Grindelwald 2009: Pflichtenheft Einsatzleitung Gletschersee Grindelwald, édition 2009, 1 – 24 mars 2009.
- [12] Canton de Saint-Gall (2003): Wegleitung zur Naturgefahrenanalyse. Kapitel 2: Begriff und Grundlagen. Baudepartement/Volkswirtschaftsdepartement St. Gallen. <http://www.tiefbau.sg.ch> (dernier accès en date: 16 juin 2014).
- [13] PLANAT (1997). Bon à savoir – Inondation. Plate-forme nationale «Dangers naturels». <http://www.planat.ch/de/wissen/ueberschwemmung/hochwasser/> (dernier accès en date: 19 juin 2014).

