

R A P P O R T

**du Conseil communal au Conseil général de la Ville et Commune de
Boudry relatif à une demande de crédit d'investissement de
CHF 92'000.00 pour l'étude de l'avant-projet et du dossier de
subventionnement pour des mesures d'assainissement et de
protection du versant Marfaux**

Résumé

Le secteur du versant Marfaux est impacté par des glissements de terrains spontanés et profonds qui pourraient déstabiliser l'ensemble du versant et provoquer des dommages au bâti et mettre en danger la population.

Des variantes de mesures d'assainissement et de protection ont été étudiées et une solution mêlant soutènement et confortation a été retenue, d'entente avec le Canton.

Avant d'élaborer le projet d'ouvrage, de le mettre à l'enquête et de le réaliser, des investigations supplémentaires et l'établissement d'un avant-projet avec des coûts sont nécessaires. Ce sont ces prestations d'études qui sont l'objet du présent rapport.

Rapport n° : CG-7501.100-1

Date : 10.11.2021

Dicastère : Aménagement du territoire

Monsieur le Président du Conseil général,
Mesdames et Messieurs les membres du Conseil général,

Contexte

Le versant Marfaux entre le Pont Jean-Jacques Rousseau et le chemin des Repaires à Boudry est jugé sensible aux instabilités de terrain. Plusieurs signes de mouvements observés sont des signes typiques de glissement de terrain (niches d'arrachement, bourrelets, fissures du bâti, déformations d'aménagements extérieurs notamment).

Historique

En septembre 2014, l'accélération rapide de l'ouverture d'une fissure sur le chemin public à l'angle Nord-Est de la terrasse de la ruelle Marfaux, en rive droite de l'Areuse, a été mise en évidence par la commune. Cette instabilité liée à un corps en glissement a déclenché la réalisation de mesures d'urgence de soutènement durant l'hiver 2014/2015.

Analyse des risques

Au printemps 2021, *CSD Ingénieurs SA* a rendu une analyse des risques (rapport disponible en annexe) mandatée par la commune.

Le secteur est impacté par des glissements de terrains spontanés et profonds qui pourraient déstabiliser l'ensemble du versant, provoquer des dommages au bâti et mettre en danger la population.

L'une des causes principales de la déstabilisation des versants de l'Areuse est la rivière elle-même, car l'érosion qu'elle induit déstabilise le pied des versants, en particulier là où le cours d'eau marque des méandres prononcés.

L'analyse de *CSD Ingénieurs SA* propose trois variantes d'assainissement et de protection :

- La première variante consisterait à se limiter à des remises en état sommaires après d'éventuels événements et la mise en place de mesures de surveillance.
- La deuxième variante propose de renforcer le versant par une paroi ancrée et de prolonger les mesures réalisées en 2014/2015.
- La troisième variante ajouterait à la deuxième variante une consolidation des berges. Cette variante assurerait une stabilisation à long terme et offrirait une protection contre le scénario d'un glissement profond.

Dans tous les cas, le secteur doit être sécurisé à court-moyen terme afin d'éviter qu'un glissement soudain de grande profondeur se produise.

Les risques sont importants pour plusieurs bâtiments, dont la Tour Marfaux, et leurs occupants. Le rapport de *CSD Ingénieurs SA* met en évidence que les coûts des dégâts en cas d'évènements sont compris dans une fourchette allant de 100'000 CHF à 5'000'000 CHF. En outre, le risque individuel est estimé supérieur à 10^{-5} décès/an, ce qui justifie la mise en place de mesures de protection.

Le secteur en rouge sur le plan ci-après est particulièrement vulnérable.

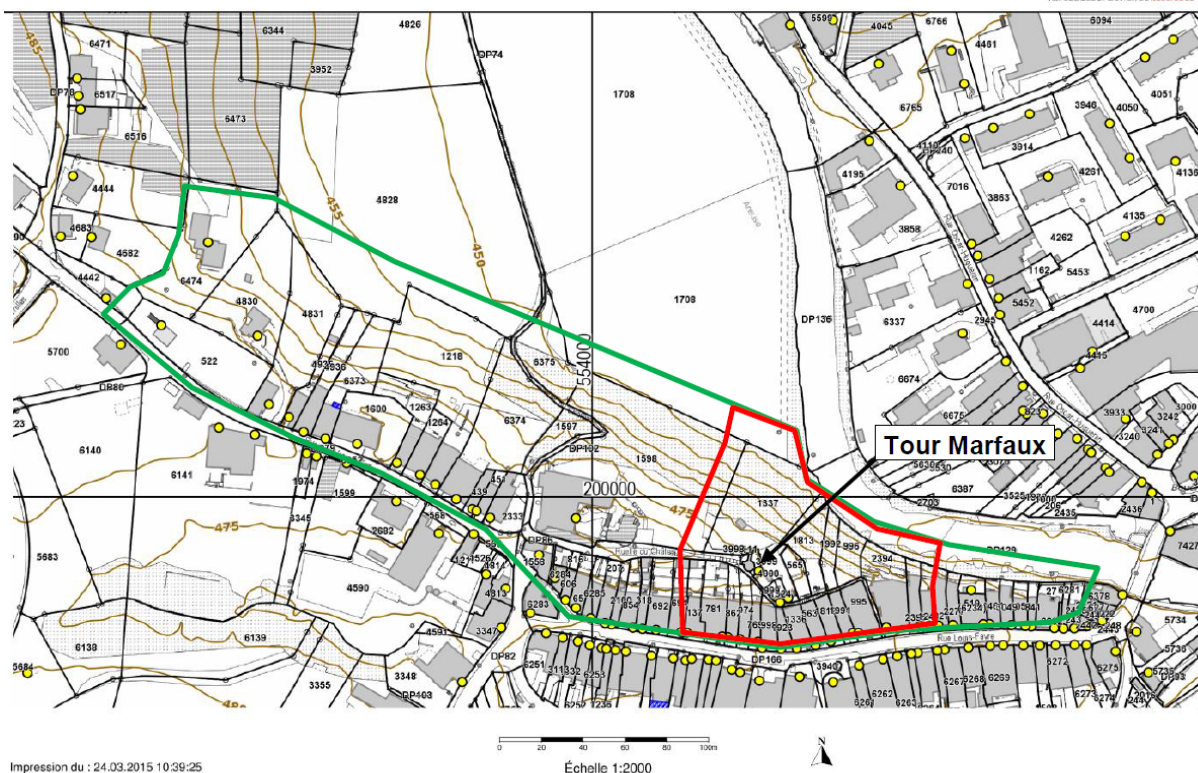


Figure 1 : plan de situation de la zone de l'étude CSD (en vert) et zone la plus sensible (en rouge) (Source : rapport CSD, 2021)

Variante retenue

Sur la base de l'analyse de *CSD Ingénieurs SA*, et en coordination avec le canton, la commune a retenu la variante mêlant soutènement et confortation (variante 3).

Celle-ci comprend la réalisation de deux solutions de stabilisation :

- Ouvrage de soutènement du versant : réalisation d'une paroi gunitée-clouée contre le mur en pierre maçonnée existante ;
- Ouvrage visant à limiter l'érosion des berges : pose d'une dizaine d'épis dans l'Areuse.

Le montant de ces travaux est actuellement devisé à environ CHF 1'000'000.00.

Subventionnement

D'après *CSD Ingénieurs SA*, le projet d'exécution devrait pouvoir être subventionné par la confédération et le canton, jusqu'à hauteur de 35% chacun (art. 58 LCAT, s'agissant d'un projet d'intérêt général). Les 30% restants incombent à la commune.

Le Canton a d'ores et déjà prévu ces investissements pour ce projet en 2022-2023 (décret sur crédit d'engagement de mars 2020), selon la variante retenue.

Suite de la démarche

Pour aller de l'avant sur ce dossier, des investigations pour définir la qualité des matériaux, l'importance du glissement et la profondeur du rocher sur lequel les mesures prendront place doivent être engagées. Des forages doivent être entrepris notamment.

Ces investigations permettront d'élaborer un avant-projet des mesures à prendre et d'évaluer plus précisément leurs coûts. Un dossier préliminaire de subventionnement pourra être élaboré en parallèle, à soumettre aux autorités cantonales et fédérales.

Le phasage général est le suivant :

- étape 1 : étude d'avant-projet (associant des ingénieurs civils dans le mandat qui appuieront les géologues sur l'exécution et les coûts). Au terme de l'avant-projet la solution définitive sera choisie et les coûts des travaux précisés à +/- 20% - **étape faisant l'objet du présent rapport**
- étape 2 : projet d'ouvrage, procédure, établissement du dossier de mise à l'enquête et de subventionnement (distinguant notamment les éléments subventionnables de ceux qui ne le sont pas). Le projet retenu est développé, les coûts précisés à +/- 10% et le dossier est présenté pour subventionnement et mise à l'enquête.
- étape 3 : appel d'offres et exécution.

Demande d'offres

Trois offres ont été demandées à des bureaux spécialisés pour la réalisation des prestations de l'étape 1 décrites ci-dessus.

Le tableau ci-après présente l'analyse des offres.

	Bureau 1 - 1 ^{er} rang	Bureau 2 - 2 ^{ème} rang	Bureau 3 - 3 ^{ème} rang
Prix	++	+	-
Méthodologie	++	+	+
Compréhension du mandat	++	++	+
CV	++	++	+

Conclusion et proposition

La présente demande de crédit s'élève à CHF 92'000.00. Ce montant permettra de mandater un bureau d'ingénieurs afin :

- de réaliser les investigations supplémentaires ;
- d'élaborer un avant-projet (y.c. précision des coûts à +/- 20%) ;
- d'établir un dossier préliminaire de subventionnement.

Le montant comprend :

- | | |
|--|---------------|
| • les prestations d'un bureau d'ingénieurs | CHF 60'000.00 |
| • la réalisation de trois forages (estimation) | CHF 27'000.00 |
| • un montant « divers et imprévus » | CHF 5'000.00 |

Pour rappel, les travaux envisagés pourront être subventionnés par la Confédération et le Canton.

Compte tenu des éléments qui viennent d'être exposés et du risque encouru pour la population et le patrimoine bâti de la commune, nous vous recommandons, Monsieur le Président du Conseil général, Mesdames et Messieurs les Conseillers généraux, d'accepter l'arrêté proposé ci-après.

LE CONSEIL GENERAL DE LA VILLE DE BOUDRY

Vu la loi sur les communes du 21 décembre 1964,
Vu la loi sur les finances de l'Etat et des communes (LFinEC) du 24 juin 2014,
Vu le règlement général de Commune du 23 mai 2016,
Vu le règlement communal sur les finances (RCF) du 29 juin 2015,
Vu le budget des investissements 2022,
Entendu la commission de gestion et des finances,
Sur la proposition du Conseil communal,

arrête

- Article premier :** Un crédit d'engagement de CHF 92'000.00 est mis à disposition du Conseil communal pour l'étude d'avant-projet et le dossier de subventionnement pour des mesures d'assainissement et de protection du versant Marfaux.
- Article 2 :** La dépense est comptabilisée au compte des investissements n° 20211201 et amortie au taux de 20% l'an.
- Article 3 :** Le Conseil communal est autorisé à conclure l'emprunt nécessaire à financer tout ou partie dudit crédit, dans le respect des normes du frein à l'endettement selon la LFinEC.
- Article 4 :** Le Conseil communal est chargé de l'exécution du présent arrêté, à l'expiration du délai référendaire.

Boudry, le 10 novembre 2021

AU NOM DU CONSEIL COMMUNAL


Le président

Le secrétaire

Jean-Michel Buschini

Gilles de Reynier

Annexe : rapport CSD



RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL
VERSANT MARFAUX À BOUDRY - ANALYSE
DES RISQUES LIÉS AUX DANGERS NATURELS

Lausanne, le 27. Mai 2021
VD06276.600

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

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	7
1.1 Généralités	7
1.2 Périmètre d'étude	7
1.3 Cadre et objectifs de l'analyse des risques	8
1.4 Documents consultés	8
1.5 Prestations réalisées / Livrables	9
2. CONTEXTE DE DANGERS DE GLISSEMENT DU VERSANT MARFAUX	9
2.1 Situation	9
2.2 Contexte géologique	9
2.3 Historique des glissements et des interventions de sécurisation	10
2.4 Résumé de l'analyse de détail des dangers naturels (résultats CSD 2016)	11
2.4.1 Description des aléas et scénarios considérés (résultats CSD 2016)	11
2.4.2 Glissements superficiels spontanés (GSS)	11
2.4.3 Glissements profonds permanents (GPP)	11
2.5 Activité et probabilité d'occurrence	12
3. MÉTHODOLOGIE	13
3.1 Scénarios de risques et biens affectés	13
3.1.1 Scénarios de risques associés aux GSS	13
3.1.2 Scénarios de risques associés aux GPP	13
3.2 Valeur des biens à protéger	14
3.3 Temps de retour	14
3.4 Dégâts (dommages potentiels)	14
3.5 Vulnérabilité des biens	15
3.6 Risques	15
3.6.1 Objectifs de protection et recommandation de l'Office fédéral du développement territorial (ARE)	15
3.6.2 Déficients de protection	16
3.6.3 Nécessité d'intervenir	16
4. PROPOSITION DE MESURES DE PROTECTION ET ESTIMATION DES PRIX	16
4.1 Variante 1 – Surveillance : Station d'auscultation	16
4.2 Variante 2 – Soutènement : Extension de la paroi gunitée-clouée	17
4.3 Variante 3 – Soutènement et confortation : Réalisation d'une paroi gunitée-clouée contre le mur en pierre maçonnée existant	17
5. ANALYSE QUANTITATIVE – RAPPORT « BÉNÉFICES / COÛTS » DES MESURES DE PROTECTION	18

5.1	Paramètres de calcul (EconoMe 4.0) et détermination du rapport « bénéfiques / coûts »	18
5.2	Résultats « bénéfiques / coûts » des variantes de sécurisation / surveillance	18
5.3	Tableau récapitulatif multi-scénarios	19
6.	CRITÈRES NON ÉVALUÉS DANS ECONOME	19
6.1	Évacuation et logement des personnes	19
6.2	Patrimoine historique – ISOS	19
6.3	Tourisme	20
6.4	Perte de biodiversité	20
6.5	Trafic routier	20
6.6	Assainissement de la zone	20
7.	MESURES DE PROTECTION FAVORISÉES	20
8.	INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES	21
8.1	Maître d'ouvrage proposé	21
8.2	Principaux bénéficiaires des mesures de protections	21
8.3	Condition d'utilisation et d'entretien des mesures de protection	21
8.4	Possibilité de subventionnement des mesures de protections	21
8.5	Description préliminaire des conflits et solutions possibles	21
8.5.1	Travaux le long des berges en rive droite de l'Areuse	21
8.5.2	Impact visuel des ouvrages	21
8.5.3	Impact environnemental	21
9.	PROPOSITION D'ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES	21
10.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	: Chronologie des événements et des interventions sur les versants de l'Areuse	10
Tableau 2	: Temps de retour pour les scénarios GSS	12
Tableau 3	: Temps de retour pour les scénarios GPP	12
Tableau 4	: Estimation de la valeur des bâtiments calculé à partir du prix au m ³ . Une comparaison avec le prix au m ² a été effectuée afin de consolider les valeurs obtenues. Pour les parcelles n° 563, 1812 la valeur ECAP nous a été transmise par la Commune de Boudry (M. Guillaume Gentil, urbaniste à la Ville et Commune de Boudry), tandis que la valeur de la parcelle n° 4111 nous a été fournie par le Canton de Neuchâtel (M. Alain Widmer, chef du domaine entretient au Service des bâtiments de l'État de Neuchâtel).	14
Tableau 5	: Estimation financière des dégâts pour le danger GPP avec degré moyen, faible et résiduel en fonction de son activité.	15

Tableau 6 : Estimation des coûts de la variante 1	16
Tableau 7 : Estimation des coûts de la variante 2	17
Tableau 8 : Estimation des coûts de la variante 3	17
Tableau 9 : Synthèse des rapports bénéfiques / coûts des différentes variantes proposées	19
Tableau 10 : Rapport « bénéfiques / coûts » des mesures de protection selon le niveau de risque et les formules d'EconoMe.	22

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan de situation qui montre la zone d'étude proposée pour l'analyse des risques (même emprise que la carte détaillée des dangers naturels réalisée en 2016, en vert) et la zone la plus sensible (en rouge). Source : © SITN.	7
Figure 2 : Carte géologique qui montre la zone d'étude proposée pour l'analyse des risques (même emprise que la carte détaillée des dangers naturels réalisée en 2016, en vert) et la zone la plus sensible (en rouge). Source : © SITN.	10
Figure 3 : Tour Marfaux (© OFC, Bern).	20
Figure 4 : Bourg, rue Louis-Favre (© OFC, Bern).	20

ANNEXES

Annexe A	CARTE SCÉNARIO GSS	25
Annexe B	CARTE SCÉNARIO GPP	26
Annexe C	COUPE SCÉNARIO GSS ET COUPE SCÉNARIO GPP	27
Annexe D	TABLEAU RECAPITULATIF MULTI-SCENARIO	28
Annexe E	Matrice des objectifs de protection destinée à la prévention par la gestion du territoire (ARE et al., 2005)	29

PRÉAMBULE

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

CSD se fonde sur les prémisses que :

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

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

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

1. Introduction

1.1 Généralités

Mandant : Administration communale de Boudry
Route des Addoz 68
2017 Boudry

Mandat : Instabilité du versant Marfaux à Boudry - Analyse des risques et proposition de mesures de protection.

Sur la base de l'offre du 25 août 2016, CSD Ingénieurs SA a été mandaté pour réaliser une analyse des risques et une proposition de mesures de protection.

1.2 Périmètre d'étude

L'analyse des risques porte sur l'entier du secteur couvert par la carte détaillée des dangers que nous avons réalisée en 2016 (Figure 1, emprise verte). Sur la base des conclusions de notre rapport technique de 2016, une attention particulière a été portée à la zone jugée la plus sensible, entre la Tour Marfaux et la parcelle n° 2277 (Figure 1, emprise rouge).

Géoportail du système d'Information du Territoire Neuchâtelois

ine.ch
HELVETIA, LE CANTON DE NEUCHÂTEL

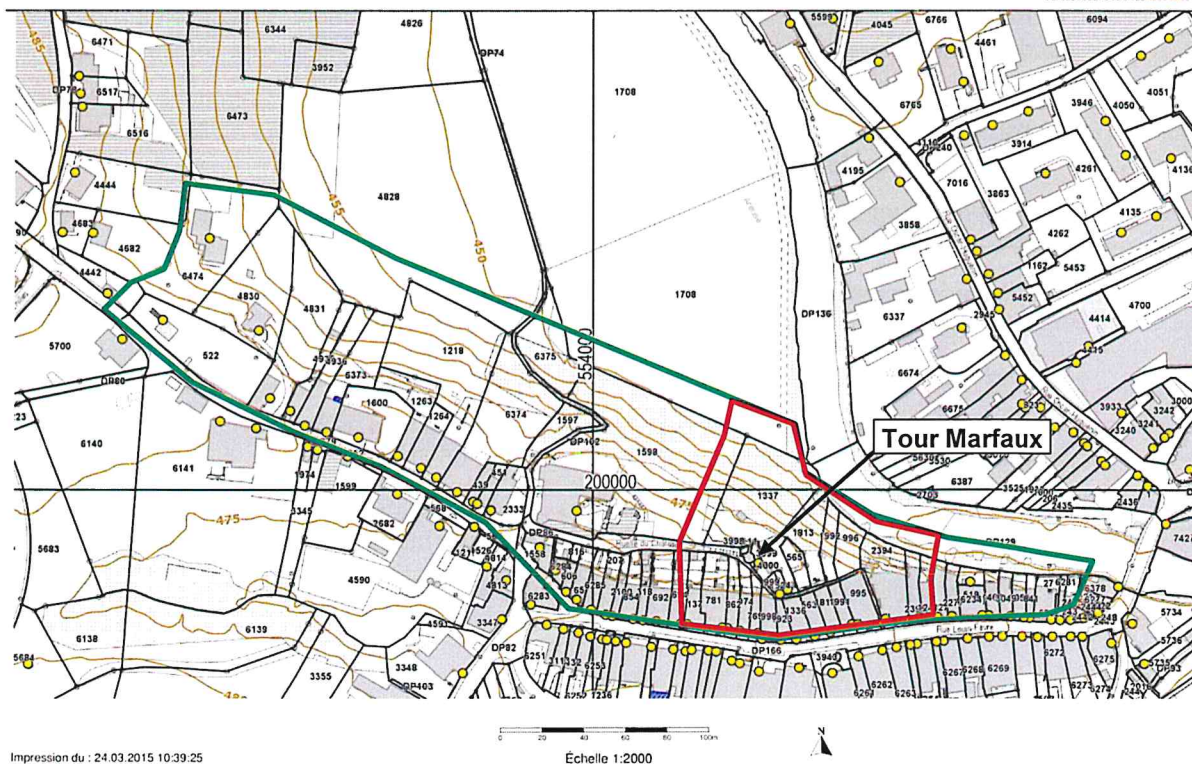


Figure 1 : Plan de situation qui montre la zone d'étude proposée pour l'analyse des risques (même emprise que la carte détaillée des dangers naturels réalisée en 2016, en vert) et la zone la plus sensible (en rouge). Source : © SITN.

1.3 Cadre et objectifs de l'analyse des risques

La présente étude établit une analyse des risques avec proposition et justification de mesures d'assainissement et de protection, et priorisation des mesures. Elle est conforme à la Directive fédérale « Protection contre les dangers dus aux mouvements de terrain » (OFEV, 2016). Elle a été menée par la commune et réalisée en coordination avec le Géologue cantonal du canton de Neuchâtel.

Les objectifs de la présente analyse des risques sont les suivants :

- Déterminer les risques et la vulnérabilité des biens à protéger sur la base du degré de danger et du potentiel de dommage ;
- Reconnaître les enjeux, préciser les conflits et les déficits de protection, préalablement identifiés de manière générale sur la carte détaillée des dangers naturels géologiques ;
- Définir les objectifs et concepts de protection et prioriser la réalisation des mesures en différentes étapes, en fonction du déficit de protection ;
- Contribuer, avec l'étude générale du rapport CSD 2016, à l'établissement d'un dossier de demande de subventionnement « dangers naturels ».

1.4 Documents consultés

Les documents recueillis et utilisés pour établir ce rapport sont listés ci-dessous :

- Directive fédérale « Protection contre les dangers dus aux mouvements de terrain » (OFEV, 2016) ;
- République et Canton de Neuchâtel. Versant Marfaux à Boudry. Établissement de la carte détaillée des dangers naturels géologiques. Rapport technique. CSD Ingénieurs SA, 20.01.2016.
- Rapport du Conseil communal au Conseil général de la Ville et Commune de Boudry relatif à une demande de crédit d'urgence pour les travaux de soutènement de la ruelle Marfaux suite à l'instabilité de terrain. Ville de Boudry, 06.10.2014 ;
- Mesures d'urgence à l'angle nord-est de la ruelle Marfaux à Boudry. Note explicative, CSD Ingénieurs SA, VD6276.200, 06.10.2014 ;
- Plusieurs rapports du bureau YBR Géologues SA concernant l'instabilité de cette zone et les mesures de surveillance géométrique en cours par le bureau MAP Géomatique SA.
- Anciens rapports YBR Géologues SA et de la commune concernant la zone éboulée en 2003.
- Etablissement des cartes des dangers pour les communes de Boudry et du Locle. Dangers liés à l'eau. Stucky Ingénieurs-conseils SA et Geo Reponses, 05.2002.
- L'ensemble des données de bases telles que fonds de plan topographique et cadastral avec limites parcellaires. Cadastre géologique du Système d'Information du Territoire Neuchâtelois (© SITN) ;
- Atlas géologique de la suisse au 1:25'000 (feuille n° 1164, Neuchâtel) ;

1.5 Prestations réalisées / Livrables

Les documents et prestations réalisés dans le cadre de cette étude sont les suivants :

- Périmètre du projet, avec affectation des zones ;
- Analyse des dommages potentiels et des objectifs de protection selon les standards de la Confédération ;
- Étude de variantes de mesures de protections et proposition de la variante favorisée
- Rapport de synthèse avec évaluation des mesures, justification d'un point de vue « coût-utilité » et recommandations générales.

2. Contexte de dangers de glissement du versant Marfaux

2.1 Situation

Le versant Marfaux, situé entre le Pont Louis-Favre et le chemin des Repaires à Boudry, est jugé sensible aux instabilités de terrain. Plusieurs signes de mouvements ont déjà été identifiés dans le cadre d'études préalables, lors desquelles des morphologies typiques de glissement, telles que des niches d'arrachement et des bourrelets, ont été mises en évidence. Des fissures du bâti ainsi que des déformations d'aménagements extérieurs ont également été observées.

2.2 Contexte géologique

Le versant Marfaux forme une pente raide, d'une inclinaison d'environ 30 à 45°. Sa hauteur culmine à 30 m au-dessus de l'Areuse, au droit de la Tour Marfaux, et diminue progressivement vers l'est.

Le versant est constitué majoritairement de grès-marneux en alternance avec des marnes appartenant à la Molasse Aquitannique (Figure 2). Des bancs de grès et de calcaires lacustres sont également présents. Le pendage des couches est d'environ 0 à 20° en direction du sud-est. Un réseau de diaclases et de fractures subverticales, d'orientation N 120° et N 200°, découpe le rocher molassique.

Le substratum rocheux molassique montre en général une frange d'altération superficielle, caractérisée par une perte de résistance et de cohésion des matériaux, d'une épaisseur variable de l'ordre de 2 à 5 m.

Selon l'Atlas géologique de la Suisse, un placage morainique est présent au droit de la Tour Marfaux et s'étend sur la partie nord-ouest du versant. Des limons de pentes, argiles des versants avec graviers ou éboulis morainiques ainsi que des alluvions récentes sont présents dans la plaine alluviale où se développe le lit de la rivière.

Dans le secteur étudié, des glissements de terrain peu à moyennement profonds, sont présents dans les versants entaillés par l'Areuse, principalement dans les couches morainiques et le rocher molassique altéré. Localement, des glissements plus profonds, affectant des bancs rocheux de la molasse, peuvent également se produire, du fait de la fracturation du massif rocheux et de l'érosion de la rivière.

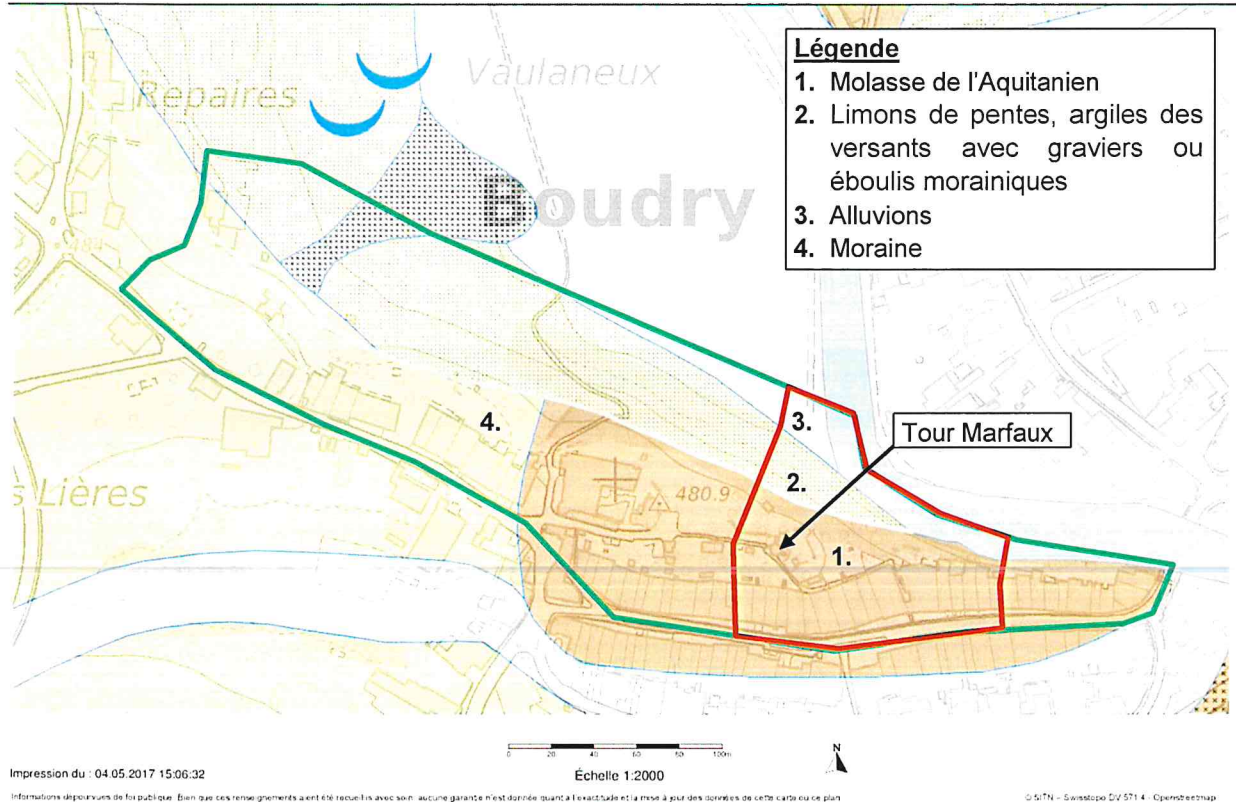


Figure 2 : Carte géologique qui montre la zone d'étude proposée pour l'analyse des risques (même emprise que la carte détaillée des dangers naturels réalisée en 2016, en vert) et la zone la plus sensible (en rouge). Source : © SITN.

2.3 Historique des glissements et des interventions de sécurisation

Au cours des deux dernières décennies, plusieurs événements se sont produits sur les versants de l'Areuse dans la commune de Boudry ; le tableau ci-dessous décrit les événements les plus importants et les interventions de sécurisation mises en place :

Période et description	Intervention de sécurisation
<p>Janvier 1994 : glissement / éboulement rocheux des « Cèdres-Bataillard » d'environ 10'000 m³, consécutifs à de fortes intempéries et un niveau élevé de l'Areuse. Obstruction partielle de la rivière et barrage avec une quinzaine d'arbres. (Préalablement effondrement des berges de l'Areuse, les 13 octobre et 3 décembre 1993).</p>	Enrochement en bordure de rivière.
<p>Janvier 2003 : glissement de terrain superficiel d'un volume d'environ 600 à 1'000 m³ survenu sur la parcelle n° 1813 suite à des intempéries. La niche se situait au sommet du versant. La masse glissée a atteint la rivière.</p>	Reprofilage et purge locale.
<p>Octobre 2012 - Septembre 2014 : déformations progressives à l'angle nord-est de la ruelle Marfaux, ouverture d'une fissure sur la chaussée, déformation d'anciens murs et glissements localisés (mouvements précurseurs dès 2012).</p>	Soutien des murs au moyen de tirants d'ancrage passif permanents (Hiver 2014-15).
<p>Juin 2015 : tassements à la limite entre les parcelles n° 1813 et 1992 avec déformation d'un muret en tête de versant. Ces mouvements sont en lien avec un glissement permanent.</p>	Pas de mesure.
<p>Janvier – Février 2018 : glissement superficiel spontané survenu le 24 janvier sur la parcelle n° 1992 après un épisode de fortes pluies</p>	Pas de mesures

Tableau 1 : Chronologie des événements et des interventions sur les versants de l'Areuse

2.4 Résumé de l'analyse de détail des dangers naturels (résultats CSD 2016)

2.4.1 Description des aléas et scénarios considérés (résultats CSD 2016)

Dans le cadre de cette étude nous avons retenu les aléas concernant les glissements superficiels spontanés (GSS) et les glissements permanents profonds (GPP) (Annexe A et Annexe B) :

- **GSS** : classe de danger élevé (rouge) : affecte le versant boisé ; l'épaisseur de la couche mobilisable a été estimée à 0.5-2.0 m ;
- **GPP** :
 - Classe de danger moyen (bleu) : affecte principalement le versant forestier, mais plusieurs fissures de traction ont été constatées ; le plan de glissement est localisé entre 2 et 10 m de profondeur et la vitesse est moyenne (2-10 cm/an) ;
 - Classe de danger faible (jaune) : affecte principalement le versant forestier ; le plan de glissement est localisé entre 2 et 10 m de profondeur et la vitesse est faible (< 2 cm/an) ;
 - Classe de danger résiduel (jaune hachuré).

2.4.2 Glissements superficiels spontanés (GSS)

D'une manière générale, l'ensemble du versant Marfaux est sujet au déclenchement de glissements superficiels spontanés. Plusieurs bordures de jardins et aménagements extérieurs, situés en tête de versant, s'affaissent en direction de l'Areuse. Ces déformations témoignent de l'instabilité des terrains superficiels.

La zone la plus pentue, située entre les parcelles n° 1337 (à la hauteur de la Tour Marfaux) et n° 2277, est la plus active. Plus à l'est (à partir de la parcelle n° 2277), les glissements superficiels se limitent aux instabilités des berges de la rivière. À l'ouest de la Tour Marfaux, la prédisposition au glissement superficiel diminue proportionnellement à la pente du versant.

Analyse multi-scénarios et facteurs aggravants pour les GSS

Les glissements superficiels sont susceptibles d'atteindre la rivière, toutefois dans des volumes insuffisants pour obstruer son lit.

Les conduites d'évacuations d'eaux claires observées localement dans le versant constituent des éléments aggravants. Ils engendrent une concentration locale des eaux et une saturation du terrain, favorisant le déclenchement de glissements spontanés.

2.4.3 Glissements profonds permanents (GPP)

Le principal corps de glissement du versant se situe sous la Tour Marfaux. Plusieurs signes d'activité sont observables (p. ex. des fissures le long des contreforts).

Des indicateurs mettent en évidence une instabilité générale du reste du versant abrupt, situé à l'est de la Tour Marfaux jusqu'à la parcelle n° 2277 (arbres inclinés, déformations d'aménagements extérieurs, d'escaliers et de murs, etc.).

Sur le replat situé au sommet du versant, entre les parcelles n° 1337 et 996, plusieurs signes de tassements ont déjà été constatés dans les jardins et les aménagements extérieurs et le glissement borde les bâtiments situés entre les parcelles n° 996 et 2277.

Ces phénomènes peuvent être interprétés comme les prémices d'un glissement de plus grande ampleur avec un plan de glissement situé dans le rocher à une profondeur de l'ordre de 5 à 15 m, auquel cas, les bâtiments situés entre les parcelles n° 1812 et 2277 pourraient être impactés dans une plus grande proportion par l'instabilité.

En direction de l'ouest, le versant sous le Château de Boudry montre également quelques signes de glissement permanent (arbres inclinés, déformation d'un chemin, conduites et murs déformés, etc.).

Analyse multi scénario et facteurs aggravants pour les GPP :

Le déclenchement brutal d'un glissement de plus grande ampleur pourrait engendrer des dégâts considérables et obstruer localement le lit de la rivière.

La rivière constitue également un facteur aggravant par érosion régressive. Ce phénomène est observable à la base du glissement sous la Tour Marfaux, où l'Areuse sape progressivement le pied du glissement.

2.5 Activité et probabilité d'occurrence

Dans le cadre de cette analyse, l'activité des GPP a été classée en deux groupes :

- Nulle – Lente : inactivité ou activité lente ;
- Rapide : déclenchement soudain.

Cette distinction n'a pas été appliquée aux GSS, car leur activité est rapide par définition.

En ce qui concerne la probabilité d'occurrence, elle a été déterminée sur la base d'observations qualitatives. Un temps de retour (années) a été attribué en fonction de l'activité, pour chaque scénario défini dans le chapitre 2.4.1 :

Glissements superficiels spontanés (GSS)		
Classe de danger	Temps de retour [a]	Description selon fiche scénario
Elevé	10	Versant boisé affecté par un glissement permanent lent, comprenant plusieurs traces de glissements spontanés récents ou végétalisés.

Tableau 2 : Temps de retour pour les scénarios GSS

Glissements profonds permanents (GPP)			
Classe de danger	Activité	Temps de retour [a]	Description selon fiche scénario
Moyen	Lente	1	Versant forestier affecté par un GPP actif, moyennement profond, plusieurs fissures de traction et un cabanon fortement endommagé.
	Rapide	10	Description non renseignée dans la fiche scénario ¹ .
Faible	Lente	10	Versant forestier affecté par un GPP peu actif, moyennement profond.
	Rapide	300	Description non renseignée dans la fiche scénario ¹ .
Résiduel	Lente	500	Compte tenu du contexte géologique défavorable, il existe une possibilité de réactivation du GPP avec une évolution d'une activité nulle à une activité lente.
	Rapide	1000	Description non renseignée dans la fiche scénario ¹ .

Tableau 3 : Temps de retour pour les scénarios GPP

¹ Il s'agit d'un scénario combiné avec un effet aggravant sur la stabilité du versant lié à une éventuelle crue de l'Areuse.

3. Méthodologie

3.1 Scénarios de risques et biens affectés

Les Fiches scénarios (CSD, 2016) reportent les classes de danger retenues dans cette analyse.

3.1.1 Scénarios de risques associés aux GSS

Le périmètre de danger faible de GSS ne concerne qu'un seul bâtiment situé sur la parcelle n° 4830. Compte tenu de l'absence de glissement spontané recensé à proximité de cette parcelle, les processus sont vraisemblablement limités à des déformations locales ou superficielles, surtout dans les jardins, les prairies et les versants boisés.

Les périmètres des dangers moyen et élevé n'incluent aucun bâtiment.

Pour les raisons susmentionnées, **le danger lié aux GSS n'a pas été retenu dans le cadre de cette analyse.**

3.1.2 Scénarios de risques associés aux GPP

- Danger résiduel :

Le périmètre du danger résiduel de GPP inclut le sommet du versant Marfaux, la Tour Marfaux ainsi que 9 bâtiments situés sur les parcelles n° 563, 827, 995, 1242, 1812, 1991, 2277, 2394 et 2395.

En cas d'événement, les aménagements extérieurs seraient détruits et les murs des bâtiments donnant sur l'Areuse pourraient subir des dégâts ou s'effondrer. Plusieurs bâtiments seraient détruits et/ou déstabilisés. La Tour Marfaux serait détruite.

- Danger faible :

Le périmètre du danger faible de GPP inclut le sommet du versant Marfaux, la Tour Marfaux et 8 bâtiments de la Ruelle Marfaux localisés sur les parcelles n° 827, 995, 1242, 1812, 1991, 2277, 2394 et 2395.

En cas d'événement, les aménagements extérieurs seraient détruits et les murs des bâtiments donnant sur l'Areuse pourraient se déformer ou s'effondrer. Plusieurs bâtiments pourraient être déstabilisés et certains détruits. Une grande partie de La Tour Marfaux serait détruite.

Les bâtiments situés sur les parcelles 6474, 4830 ainsi que 4936 se trouvent également partiellement voire entièrement dans le périmètre de danger faible. Ceux-ci sont situés sur un replat, à une distance assez importante de l'Areuse. Historiquement il n'y pas eu beaucoup d'activité observée sur ces parcelles-ci. Pour ces raisons, les parcelles 6474, 4830 et 4936 ne sont pas retenues dans le cadre de cette analyse.

- Danger moyen :

Le périmètre du danger moyen de GPP inclut 3 bâtiments de la Ruelle Marfaux situés sur les parcelles n° 827, 2277 et 2395 qui sont menacés.

En cas d'événement, les aménagements extérieurs seraient détruits. Quelques bâtiments pourraient être déstabilisés. La Tour Marfaux serait déstabilisée.

3.2 Valeur des biens à protéger

La valeur des biens a été calculée pour les bâtiments situés sur les zones de danger définies sur la « Carte scénario GPP et GSS ». Les biens concernés ont été reportés dans la première colonne du Tableau 4.

La valeur assurée selon l'Etablissement Cantonal d'Assurance et de Prévention (ECAP) des bâtiments propriété de la Commune et du Canton a été reportée dans la deuxième colonne du Tableau 4.

Sur la base de la valeur assurée, nous avons estimé un prix moyen par m³. Celui-ci a été intégré dans la formule suivante afin d'aboutir à une valeur normalisée pour tous les bâtiments. Le résultat de la formule a été reporté dans la troisième colonne du Tableau 4.

$$V = C * S * H * E$$

V : Valeur du bâtiment [CHF]

C : Valeur du m³ [CHF / m³] ; arrondis à 800 CHF/m³ (moyenne de la valeur assuré ECAP).

S : Surface bâtiment [m²] ; mesurée (SITN).

H : Hauteur des pièces [m] ; estimée à 3.25 m.

E : Nombre d'étages ; estimé visuellement sur terrain.

Afin de consolider notre analyse, un prix moyen au m² pour une habitation dans le Canton de Neuchâtel (7'400 CHF/m²) a été utilisée (source : <http://www.prix-immobilier.ch/prix-immobilier-neuchatel-ne/>, consulté le 26.05.21) et reportée dans la quatrième colonne du Tableau 4.

Parcelles et bâtiments concernés [n°] (selon SITN)	Valeur assurée [CHF] (selon ECAP)	Valeur calculée [CHF] avec la formule $V = C * S * H * E$	Valeur du bâtiment [CHF], calculé avec 7'400 CHF m ² (selon prix immobilier moyen)
Pc1le 563, bât. 837	1'444'653	1'601'600	1'139'600
Pc1le 827, bât. 844		1'292'200	1'050'800
Pc1le 995, bât. 840		2'880'800	2'049'800
Pc1le 1242, bât. 843		1'060'800	754'800
Pc1le 1812, bât. 838	1'826'454	1'410'500	1'147'000
Pc1le 1991, bât. 839		1'219'400	991'600
Pc1le 2277, bât. 845		959'400	910'200
Pc1le 2394, bât. 841		3'484'000	2'479'000
Pc1le 2395, bât. 842		1'310'400	1'065'600
Pc1le 4111, bât. 1089	629'333	322'400	229'400

Tableau 4 : Estimation de la valeur des bâtiments calculé à partir du prix au m³. Une comparaison avec le prix au m² a été effectuée afin de consolider les valeurs obtenues. Pour les parcelles n° 563, 1812 la valeur ECAP nous a été transmise par la Commune de Boudry (M. Guillaume Gentil, urbaniste à la Ville et Commune de Boudry), tandis que la valeur de la parcelle n° 4111 nous a été fournie par le Canton de Neuchâtel (M. Alain Widmer, chef de domaine entretient au Service des bâtiments de l'État de Neuchâtel).

3.3 Temps de retour

La notion de temps de retour, au sens stricte du terme, n'existe pas pour les glissements. Toutefois il est possible d'estimer la probabilité d'occurrence d'une réactivation rapide du glissement.

3.4 Dégâts (dommages potentiels)

Le coût des dégâts a été estimé à l'aide du pourcentage de la surface du bâtiment affecté par un danger naturel (DN) et du coût du bâtiment.

Glissement lent

Si le DN recouvre moins de 5 % de la surface totale du bâtiment (approximativement la surface des murs portants), alors le coût du dégât estimé est égal au pourcentage de la surface du bâtiment affectée par le DN, appliqué à la valeur du bâtiment.

Si le DN recouvre plus que 5 % de la surface totale du bâtiment, alors le 10 % de la valeur totale du bâtiment est retenue en tant qu'estimation du coût des dégâts. Le seuil de 10% est justifié par le fait que les dégâts potentiels causés par les GPP avec une activité lente ou nulle se résument à des fissures en bordure de bâtiment et des déformations des aménagements extérieurs. Actuellement, des niches d'arrachements dans les jardins ont été recensées dans la synthèse DN.

Glissements rapides

Si le DN recouvre moins de 25 % de la surface totale du bâtiment (approximativement la surface des murs portants), alors le coût du dégât estimé est égal au pourcentage de la surface du bâtiment affectée par le DN, appliqué à la valeur du bâtiment.

Si le DN recouvre plus que 25 % de la surface totale du bâtiment, alors le 50 % de la valeur totale du bâtiment est retenue en tant qu'estimation du coût des dégâts. Le seuil de 50% est justifié par le fait que les dégâts potentiels causés par les GPP avec une activité rapide consistent en des effondrements (d'ampleur variable) d'une partie des bâtiments, d'où le seuil plus élevé de 50%.

L'estimation financière des dégâts sur les objets en fonction du degré de danger est montrée en Annexe D et résumée dans le Tableau 5. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..

Degré de danger	Activité	Total coûts des dégâts
Moyen	(Lente) – Nulle	103'000 CHF
	Rapide	946'000 CHF
Faible	Lente – (Nulle)	1'265'000 CHF
	Rapide	4'432'000 CHF
Résiduel	Lente – (Nulle)	1'494'000 CHF
	Rapide	5'884'000 CHF

Tableau 5 : Estimation financière des dégâts pour le danger GPP avec degré moyen, faible et résiduel en fonction de son activité.

3.5 Vulnérabilité des biens

Les bâtiments identifiés présentent une vulnérabilité vis-à-vis du risque de GPP. Celle-ci a été calculée pour chaque bâtiment en fonction du rapport entre surface recouverte par le bâtiment et surface affectée par le danger. Les résultats montrent une vulnérabilité faible à résiduelle.

Le détail des calculs est présenté au chapitre 5 consacré à l'analyse quantitative.

3.6 Risques

3.6.1 Objectifs de protection et recommandation de l'Office fédéral du développement territorial (ARE)

La matrice des objectifs de protection destinée à la prévention par la gestion du territoire (Are et al. 2005) justifie une intervention de protection complète pour les regroupements d'habitations touchées par un événement d'une période de retour inférieure ou égale à 100 ans. Pour ce cas de figure, aucune intensité de danger n'est admissible (Annexe E).

Compte tenu du niveau de danger et du temps de retour estimé des dangers de glissements dans le versant Marfaux à Boudry, la matrice des objectifs de protection justifie des mesures de protection (risques individuels et collectifs).

Le scénario de GPP combiné avec l'érosion régressive de l'Areuse en pied de glissement, cause un risque individuel supérieur à 10^{-5} décès/an (risque individuel, PLANAT). Le déclenchement soudain d'un tel phénomène ne laisserait pas le temps aux habitants de se mettre à l'abri face au danger.

3.6.2 Déficiences de protection

Le versant Marfaux présente un risque de réactivation de GPP en raison de :

- La pente raide et le contexte géologique ;
- L'effet érosif de la rivière qui sape le pied du mur de soutènement au pied du glissement.

3.6.3 Nécessité d'intervenir

Il est dès lors nécessaire de mettre en place des mesures de soutènement afin de prévenir le mouvement du versant et d'éviter qu'un glissement rapide de grande profondeur se produise.

Il est nécessaire de prévoir à court-moyen terme des mesures de sécurisation pour protéger les parcelles n° 563, 827, 995, 1242, 1812, 1991, 2277, 2394, 2395, faisant partie du regroupement d'habitation de la Rue Louis Favre à Boudry, ainsi que le bien historique (Tour Marfaux) localisé sur la parcelle n° 4111.

4. Proposition de mesures de protection et estimation des prix

Pour faire face au danger de glissement, trois variantes sont proposées. Le calcul estimatif des coûts pour les variantes 2 et 3 est basé sur le prix des travaux de sécurisation effectués durant l'hiver 2014-2015.

4.1 Variante 1 – Surveillance : Station d'auscultation

La première variante consiste à :

- Poursuivre les mesures des cibles de géomètre, l'observation des fissures et le relevé de l'inclinomètre situé au nord-est de la ruelle Marfaux,
- Effectuer un suivi général et en temps réel du versant pour caractériser la vitesse du glissement et son étendue.

Les indicateurs existants permettent de mesurer et d'analyser l'évolution du versant. La mise en place d'un système d'auscultation actif tel qu'une station totale, permettrait de suivre l'évolution d'une série de points sur le versant en temps réel.

Cette mesure de surveillance représente une solution valide uniquement pour les glissements lents. En effet, un système d'auscultation sans suivi continu (24h/24h) ne permettrait pas de détecter le danger et de réagir suffisamment vite en cas de glissement rapide.

Une estimation des coûts pour cette variante est montrée dans le tableau ci-dessous :

- Station d'auscultation (matériel)	5'000	[CHF]
- Procédure d'urgence (matériel)	3'000	[CHF]
- Suivi géologique (frais par an)	7'500	[CHF/an]
Matériel (+/- 30%)	<u>8'000</u>	<u>[CHF]</u>
Frais par an (+/- 30%)	<u>7'500</u>	<u>[CHF/an]</u>

Tableau 6 : Estimation des coûts de la variante 1

4.2 Variante 2 – Soutènement : Extension de la paroi gunitée-clouée

La variante de soutènement prévoit l'extension de la paroi gunitée-clouée existante, afin de sécuriser la partie en amont du versant Marfaux. Cette variante n'offre pas de protection contre l'érosion régressive de l'Areuse en pied de versant, qui pourrait favoriser un glissement.

L'estimation des coûts pour la réalisation de cet ouvrage est montrée dans le tableau ci-dessous :

Dimensions paroi gunitée-clouée:		
- longueur	58	[m]
- hauteur	6	[m]
- surface	348	[m ²]
Travaux préliminaires / investigations:		
- pose de deux inclinomètres à 15 m de profondeur.	40'000	[CHF]
Ouvrage de soutènement	417'600	[CHF]
13 % Prestations d'ingénieur, phase 31 à 52	59'488	[CHF]
TOTAL [CHF] (+/- 30 %)	<u>517'088</u>	<u>[CHF]</u>

Tableau 7 : Estimation des coûts de la variante 2

4.3 Variante 3 – Soutènement et confortation : Réalisation d'une paroi gunitée-clouée contre le mur en pierre maçonnée existant

La variante de soutènement et confortation comprend la réalisation :

- D'une paroi gunitée-clouée plaquée contre le mur en pierre maçonnée déjà existant
- D'une dizaine d'épis pour limiter l'érosion de la rivière.

Les coûts estimatifs pour cette variante sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Dimensions paroi gunitée-clouée:		
- longueur	70	[m]
- hauteur	3.5	[m]
- surface	245	[m ²]
Travaux préliminaires / investigations:		
- pose de deux inclinomètres à 15 m de profondeur	30'000	[CHF]
- 3 forages dans l'Areuse jusqu'au toit du rocher (~ 8 m)	25'000	[CHF]
Ouvrage de soutènement	417'600	[CHF]
Ouvrage visant à limiter l'érosion de la rivière	456'000	[CHF]
13 % Prestations d'ingénieur, phase 31 à 52	120'718	[CHF]
TOTAL [CHF] (+/- 30 %)	<u>1'064'318</u>	<u>[CHF]</u>

Tableau 8 : Estimation des coûts de la variante 3

5. Analyse quantitative – Rapport « bénéfiques / coûts » des mesures de protection

5.1 Paramètres de calcul (EconoMe 4.0) et détermination du rapport « bénéfiques / coûts »

Les formules utilisées pour les paramètres de calcul (EconoMe 4.0) dans le tableau de synthèse (Annexe D) sont développés ci-après.

Mesures, calculs et estimations pour déterminer le volume total du bâtiment :

- Volume total du bâtiment [m³], calculé = Surface du bâtiment [m²] (selon SITN) * Hauteur étages [m], estimé * Nbr. Étages, estimés

Facteur valeur architecturale, valeur du bâtiment calculé (au m³ et au m²) et valeur du bâtiment selon ECAP :

- Valeur du bâtiment [CHF], calculé avec valeur m³ = Volume total du bâtiment [m³], calculé * Valeur m³ [CHF/m³], calculé (moyenne de la valeur assurée des immeubles dans le secteur)
- Valeur du bâtiment [CHF], calculé avec valeur m² = Surface du bâtiment [m²] (selon SITN) * Valeur m² [CHF/m²] (selon prix immobilier moyen)

Coût des dégâts :

- Pourcentage du bâtiment affecté par DN [%], calculé = Surface du bien affectée [m²], calculé (selon carte DN) / Surface du bâtiment [m²] (selon SITN)
- Pourcentage correspondant de la perte du bien [%], estimé (vulnérabilité) =
 - Pour GPP avec activité lente (SI Pourcentage du bâtiment affecté par DN [%], calculé < 5 ; Pourcentage du bâtiment affecté par DN [%], calculé ; 10)
 - Pour GPP avec activité rapide (SI Pourcentage du bâtiment affecté par DN [%], calculé <= 25 ; Pourcentage du bâtiment affecté par DN [%], calculé ; 50)
- Coûts des dégâts correspondant [CHF], calculé = (Valeur du bâtiment [CHF], calculé avec valeur m³ / 100) * Pourcentage correspondant de la perte du bien [%], estimé (vulnérabilité)
- Total coûts des dégâts [CHF], calculé = Σ Coûts des dégâts correspondant [CHF], calculé ; pour tous les degrés et activités de GPP

Risque - Bénéfices / Coûts :

- Coûts par an [CHF], calculé = Total coûts des dégâts [CHF], calculé (pour TR_n) * (TR_n – TR_{n+1})
- Rapport bénéfiques / coûts = Σ Coûts par an [CHF], calculé (jusqu'à TR_n) / Coûts par an de la mesure de protection, variante retenue sur 50 ans [CHF / an] (pour TR_n)

5.2 Résultats « bénéfiques / coûts » des variantes de sécurisation / surveillance

Le rapport bénéfiques / coûts des variantes de sécurisation /surveillance proposées est synthétisé dans le tableau ci-dessous :

Variantes de sécurisation / surveillance	Degré de danger	Activité du GPP	Rapport bénéfiques / coûts
Variante 1 – Surveillance :	Moyen	Lente	1.2

Station d'auscultation		Rapide	2.0
Variante 2 – Soutènement : Extension de la paroi gunitée-clouée	Faible	Lente	2.3
		Rapide	1.4
Variante 3 – Soutènement et confortation : Réalisation d'une paroi gunitée-clouée contre le mur en pierres maçonnées existante ainsi que limitation de l'érosion de la rivière	Résiduel	Lente	1.5
		Rapide	1.8

Tableau 9 : Synthèse des rapports bénéfices / coûts des différentes variantes proposées

5.3 Tableau récapitulatif multi-scénarios

Le tableau récapitulatif multi-scénarios est présenté dans l'Annexe D, il détaille :

- Les caractéristiques du danger ;
- Les mesures, calculs et les estimations permettant de déterminer le volume des bâtiments sur les parcelles retenues ;
- Les calculs permettant d'estimer la valeur des bâtiments ;
- Le rapport bénéfices / coûts.

6. Critères non évalués dans EconoMe

La décision d'entrée en matière sur un projet ou non résulte de la pesée de plusieurs intérêts / critères qui ne sont pas seulement de type quantitatif (rentabilité selon paramètres EconoMe).

Les chapitres suivants décrivent les potentiels dégâts engendrés par un scénario de GPP avec une activité rapide et qui sont difficilement quantifiables en termes monétaires.

6.1 Évacuation et logement des personnes

En cas d'évènement de GPP avec une activité rapide, les personnes devront être évacuées et hébergées dans des abris de la protection civile, des salles de gymnastique ou des hôtels.

L'hébergement des personnes comporte des coûts importants et des désagréments ; les locaux communaux serviront pour accueillir la population et ils ne pourront pas être employés pour d'autres activités.

6.2 Patrimoine historique – ISOS

Une partie de la zone bâtie affectée par le glissement est inscrite dans l'inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger – ISOS.

L'inventaire fédéral inclut :

- L'ensemble cadastral comprenant la Tour Marfaux et le château de Boudry (Figure 3) ;
- Le périmètre comprenant le Bourg, rue Louis-Favre (Figure 4).

En cas d'évènement de GPP avec une activité rapide, la Tour Marfaux et une partie des bâtiments situés en tête du versant Marfaux, à la rue Louis-Favre, pourraient subir des dégâts importants, voir être détruits.



Figure 3 : Tour Marfaux (© OFC, Bern).



Figure 4 : Bourg, rue Louis-Favre (© OFC, Bern).

6.3 Tourisme

Le patrimoine historique représente pour la ville de Boudry un attrait touristique majeur.

En cas d'évènement de GPP, le patrimoine historique pourrait être endommagé ou perdu, ce qui impacterait significativement le tourisme et le commerce local.

6.4 Perte de biodiversité

La perte de certains biens historiques, en particulier la Tour Marfaux, peut affecter la biodiversité ; cette tour donne refuge depuis plusieurs années aux chiroptères pour lesquels un aménagement d'accès a été conçu en 2012.

6.5 Trafic routier

Dans le secteur touché en cas d'évènement de GPP, la rue Louis Favre devrait vraisemblablement être fermée et le trafic dévié sur une longue période de temps.

6.6 Assainissement de la zone

En cas d'évènement de GPP, les matériaux dévalés par le glissement et déposés dans le lit de la rivière, devraient être évacués en urgence, dans des conditions défavorables.

7. Mesures de protection favorisées

Les différentes variantes de mesures de protection ont été présentées lors de la séance du 01.02.2018 avec l'administration communale de Boudry. À ce stade, les différents acteurs semblent favoriser la 3^e variante qui consiste à améliorer la stabilité du versant Marfaux et de son pied via l'extension de la paroi gunitée-clouée existante et la réalisation d'une paroi gunitée-clouée plaquée contre le mur en pierres maçonnées (variante 3 – soutènement et confortation).

8. Informations complémentaires

8.1 Maître d'ouvrage proposé

Commune de Boudry.

8.2 Principaux bénéficiaires des mesures de protections

La Commune de Boudry, le Canton de Neuchâtel et les privés seront les principales bénéficiaires des mesures de protection.

8.3 Condition d'utilisation et d'entretien des mesures de protection

Les conditions d'utilisation et d'entretien seront déterminées une fois définis les détails techniques concernant les ouvrages proposés.

8.4 Possibilité de subventionnement des mesures de protections

À priori il existe une possibilité de subventionnement par la Confédération, car le risque individuel lié aux glissements est supérieur à 10^{-5} .

8.5 Description préliminaire des conflits et solutions possibles

8.5.1 Travaux le long des berges en rive droite de l'Areuse

Les travaux de confortation visant la stabilisation du mur en pierre maçonnée au pied du versant Marfaux devront prendre en compte les contraintes techniques et écologiques liées aux travaux dans les cours d'eau.

Une attention particulière devra être portée à la flore et à la faune peuplant le cours d'eau de L'Areuse et ses environs.

8.5.2 Impact visuel des ouvrages

En fonction de l'impact visuel engendré par les mesures de protection retenues pour la stabilisation du versant Marfaux, des techniques de génie biologique pourront être étudiées et mises en place afin de mieux intégrer les ouvrages dans le paysage.

8.5.3 Impact environnemental

Les aspects environnementaux tels que la protection de l'eau, du sol, du paysage et des espèces végétales et animales dans le périmètre des ouvrages de sécurisation, seront traités dans la cadre d'une étude détaillée.

Cette étude permettra de mieux définir la période des travaux et les mesures de protection environnementales à mettre en place lors de la phase de chantier.

9. Proposition d'études complémentaires

Dans le cadre des travaux de stabilisation du versant Marfaux, les reconnaissances complémentaires et les études techniques suivantes sont nécessaires au bon déroulement des opérations :

- Étude géotechnique pour la caractérisation des sols au droit des ouvrages (versant Marfaux et cours d'eau de l'Areuse) :
 - Sondages carottés pour déterminer la profondeur du rocher sain. En cas de venues d'eau, mise en place de piézomètres pour suivre le comportement des eaux souterraines ;
 - Pose d'inclinomètres pour le suivi des déplacements du versant.
- Étude d'impact environnemental.

10. Conclusions et recommandations

Les zones analysées affectées par un danger de GPP devraient être sécurisées à court-moyen terme car elles présentent des risques importants pour plusieurs bâtiments, certains desquels historiques (p.ex. Tour Marfaux). Les critères de subventionnement des mesures de protection sont vraisemblablement remplis.

Sur base des mesures de protection proposées, des coûts estimés et de l'évaluation de la diminution du niveau de risque, nous avons pu approximer un rapport « bénéfices /coûts » favorable à la mise en place des mesures de protection. Les valeurs sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Objets menacés	Risque individuel max. [décès/an]	Nécessité d'intervention selon risque	Coût total des mesures sur 50 ans (+/- 30%)	Rapport bénéfices / coûts	Possibilité de subventionnement du SFFN
8 habitations permanentes 1 bâtiment historique (Tour Marfaux)	RI > 10 ⁻⁵	Moyenne	1'064'318 CHF	> 1	Élevée

Tableau 10 : Rapport « bénéfices / coûts » des mesures de protection selon le niveau de risque et les formules d'EconoMe.

À l'issue de cette étude préliminaire et sur base des avis préalable des Services concernés pour entrer en matière de financement des travaux, un dossier de subventionnement devra être établi. Le choix de la variante sera réalisé par le maître d'ouvrage.

CSD INGENIEURS SA



Eric Di Gioia
Dipl. géologue UNIFR
Dipl. hydrogéologue CHYN



Séverine Boll
MSc géosciences et hydrosciences appliquées

Lausanne, le 27 mai 2021

COREFERENT

Séverine Boll, MSc géosciences et hydrosciences appliquées

AUTRE(S) COLLABORATEUR(S) CHARGÉ(S) DE L'ÉTUDE

Daniel Pace, MSc ingénieur civil EPF

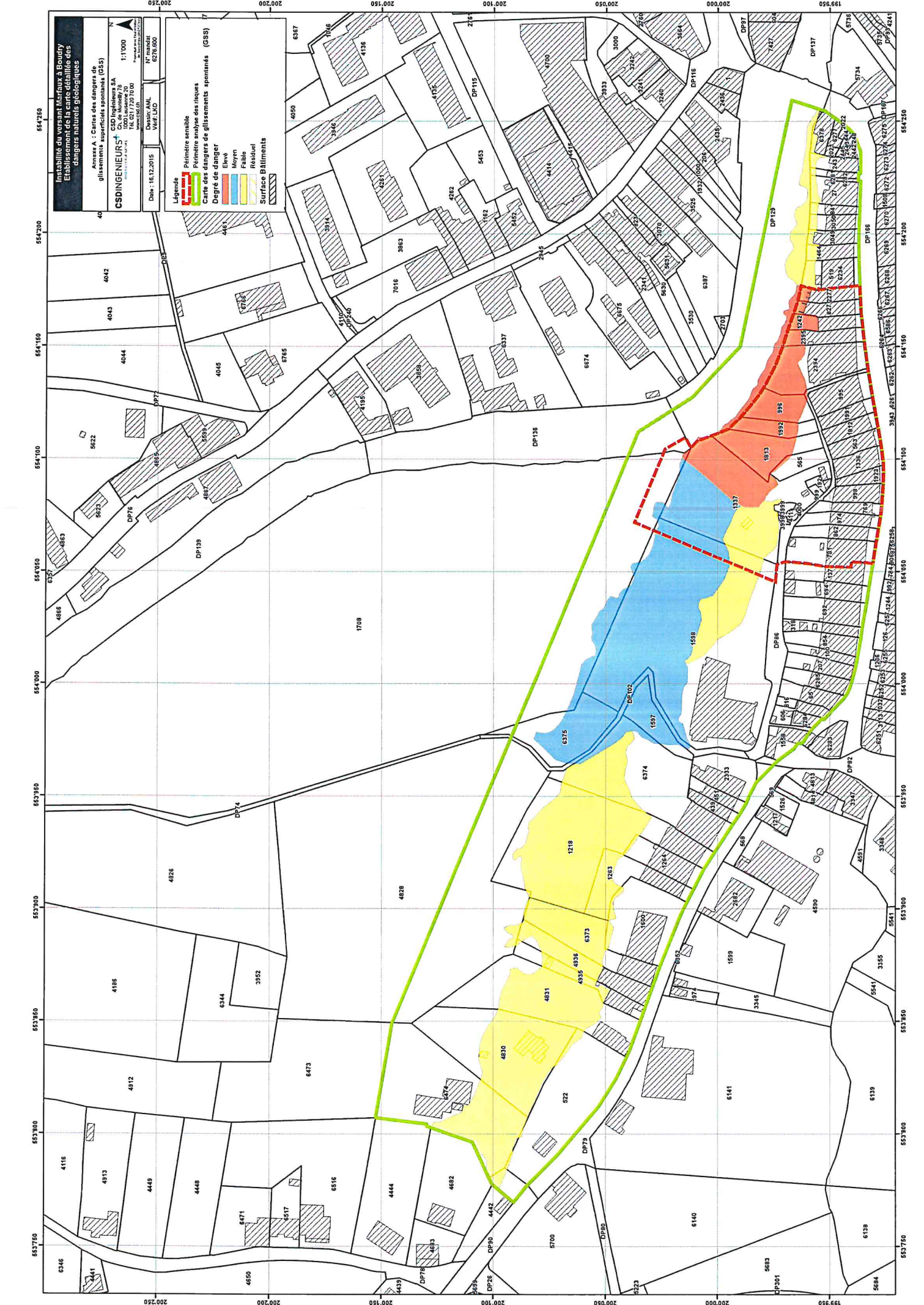
Lionel Kopp, dipl. hydrogéologue UNINE

Antoine Quilichini, Dr. phil. Géologue

Renaud Chantry, dipl. géologue ULG

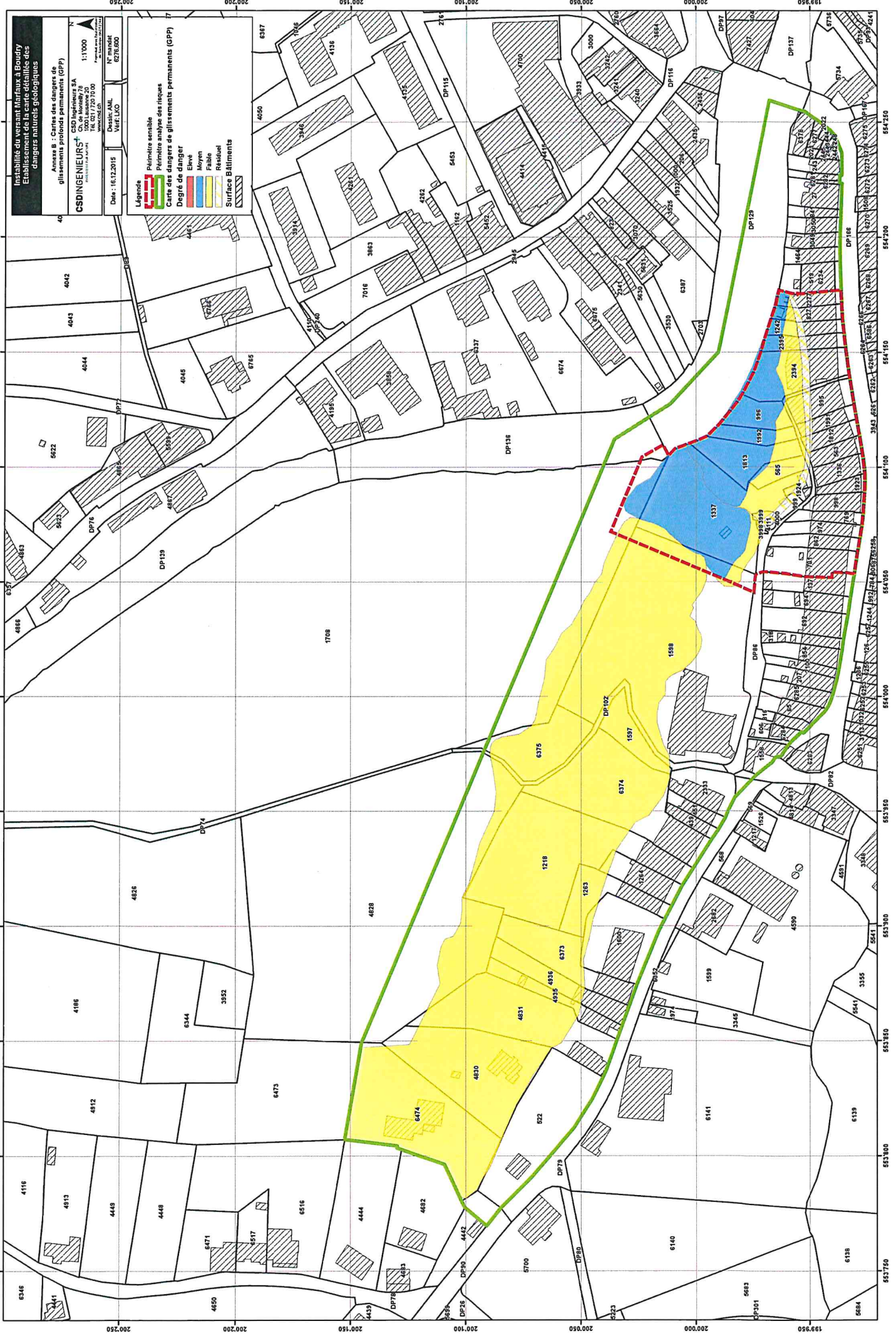
Pour préserver l'environnement, CSD imprime ses documents sur du papier 100 % recyclé (ISO 14001).

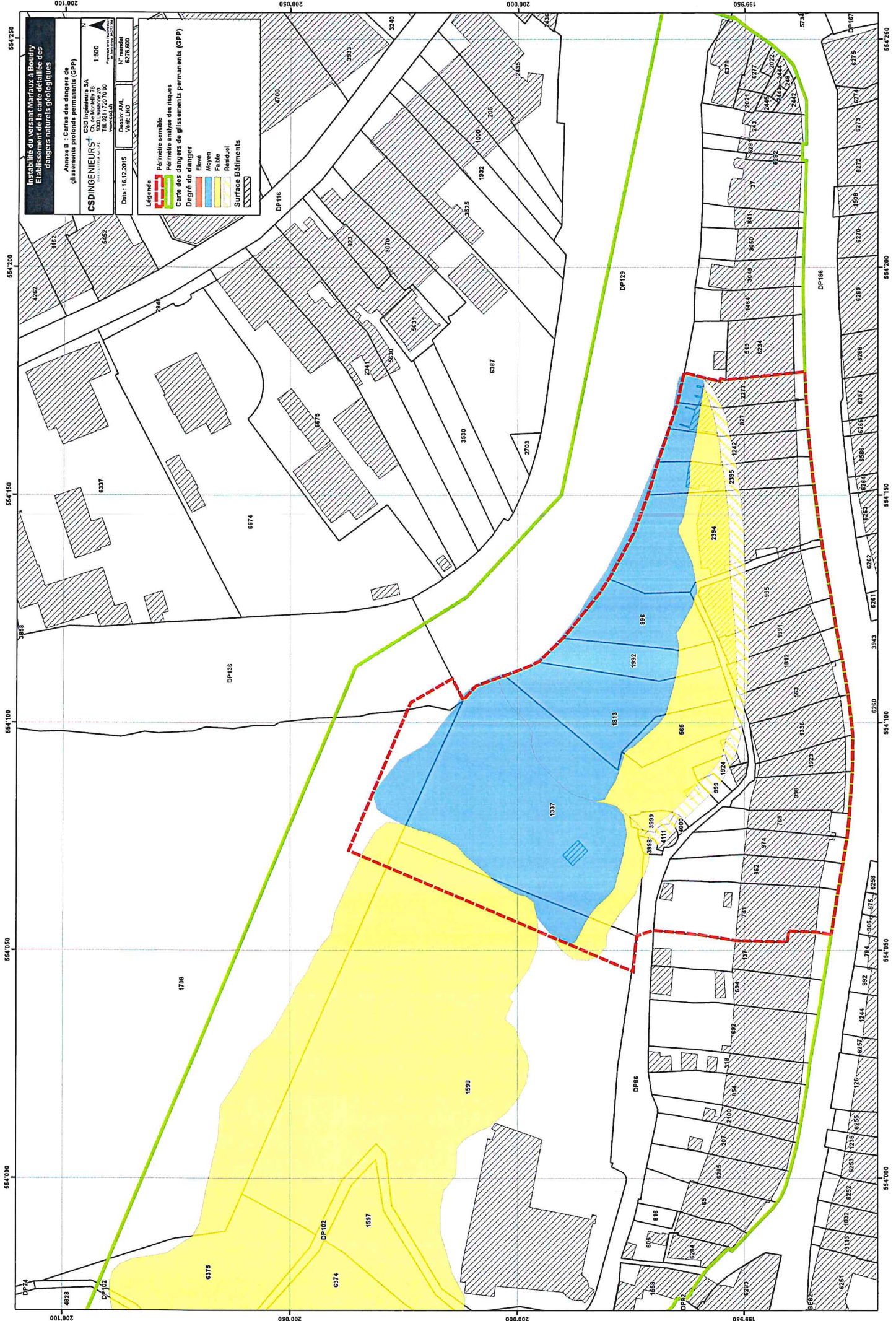
ANNEXE A CARTE SCÉNARIO GSS





ANNEXE B CARTE SCÉNARIO GPP

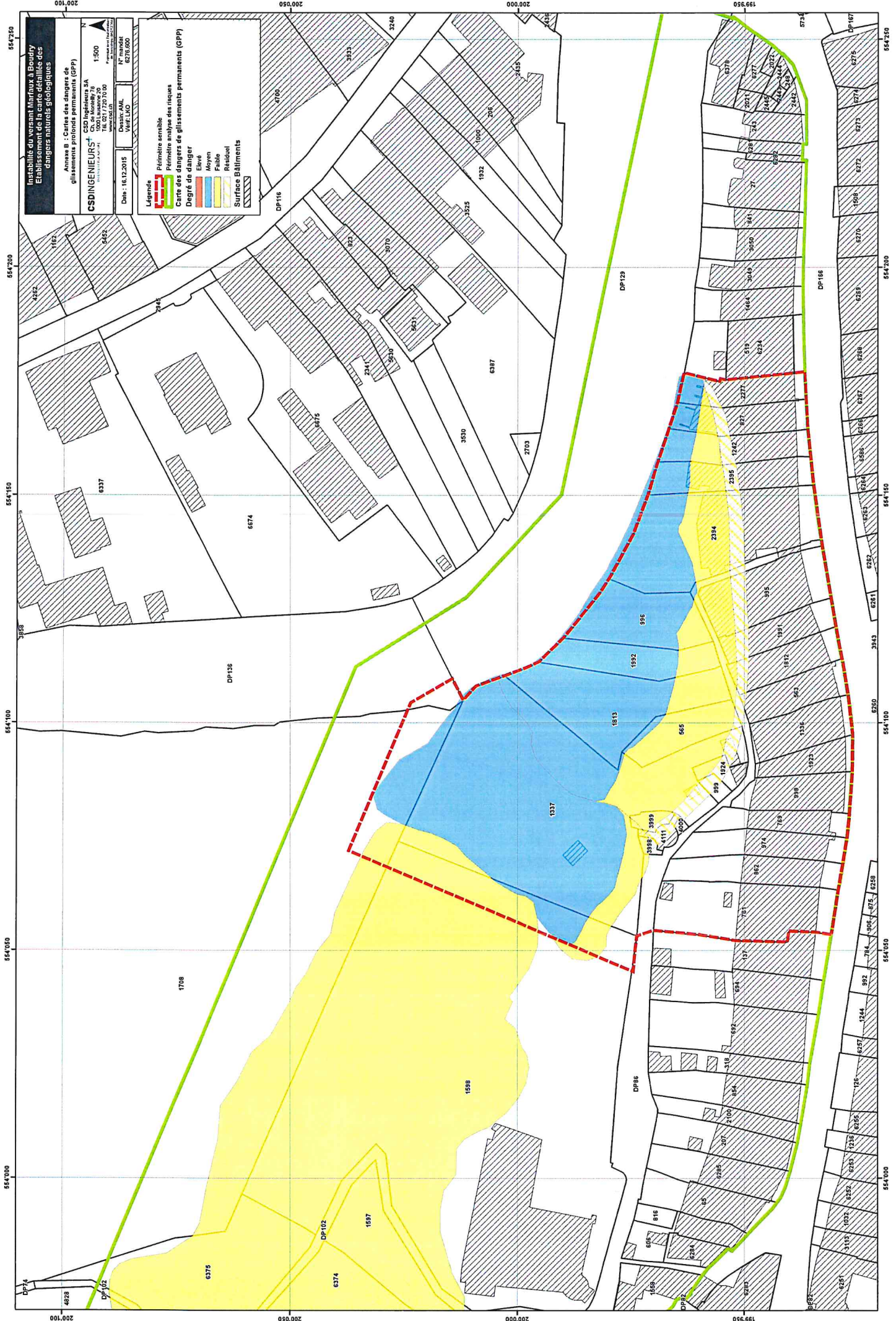




Instabilité du versant Marfaux à Boutry
Etablissement de la carte détaillée des dangers naturels géologiques

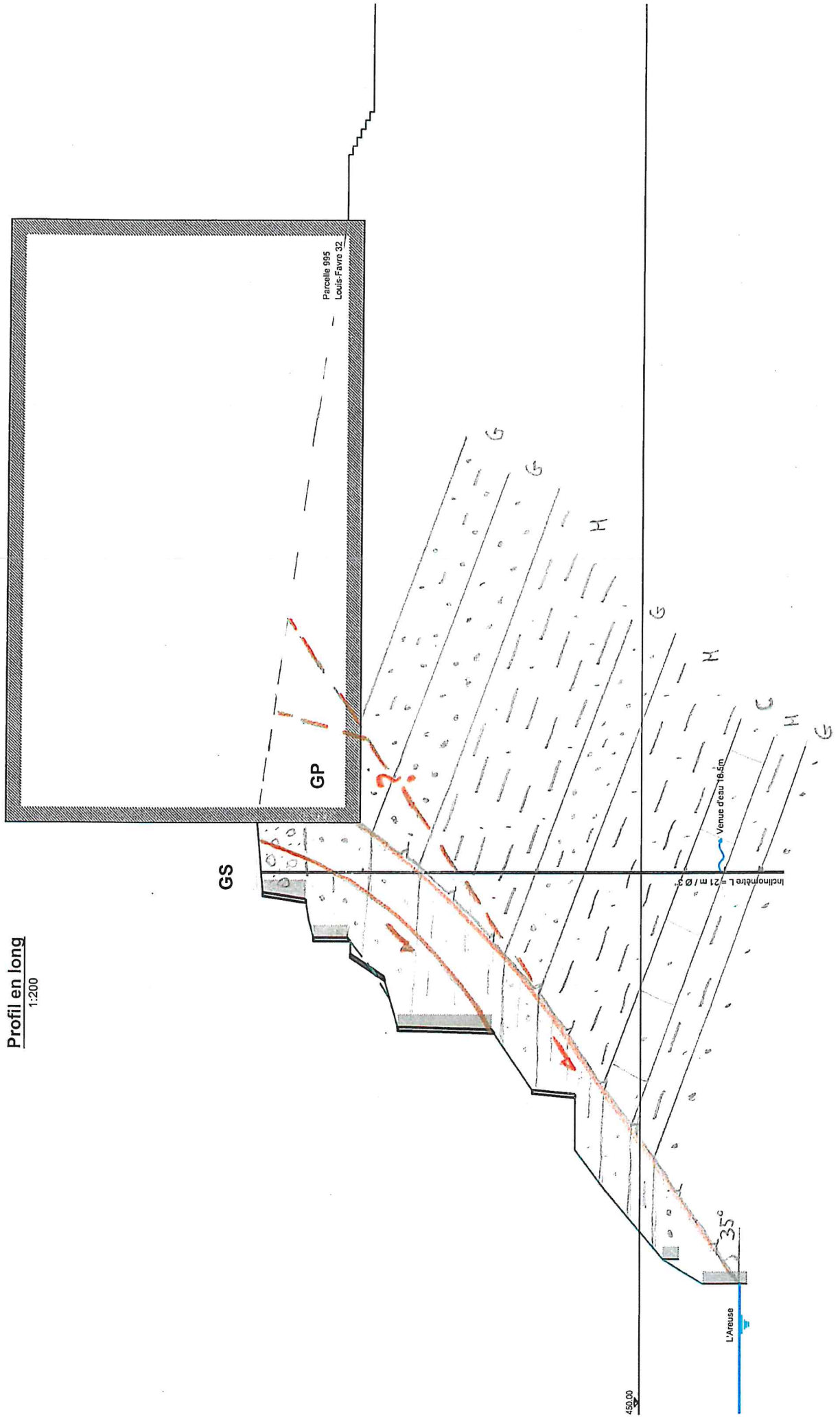
Annexe B - Carte des dangers de glissements permanents (GPP)
CSDINGENIEURS
 15 rue de la République
 1001 Lisieux 20
 0213 27 10 10
 www.csdie.com
 N° mandat : 6276.600
 Date : 16.12.2015
 Dessiné par : VLF : LJC

- Légende**
- Périmètre aménageable
 - Périmètre analyse des risques
 - Carte des dangers de glissements permanents (GPP)
 - Degré de danger
 - Élevé
 - Moyen
 - Faible
 - Residuel
 - Surface Bâtiments



ANNEXE C COUPE SCÉNARIO GSS ET COUPE SCÉNARIO GPP









Profil en long
1:200



ANNEXE D TABLEAU RECAPITULATIF MULTI-SCENARIO



ANNEXE E MATRICE DES OBJECTIFS DE PROTECTION DESTINÉE
À LA PRÉVENTION PAR LA GESTION DU TERRITOIRE
(ARE ET AL., 2005)

Légende

	= protection complète		= aucune intensité admissible	= 0
	= protection contre les intensités moyennes et fortes		= intensité faible admissible	= 1
	= protection contre les intensités fortes		= intensité moyenne admissible	= 2
	= pas de protection		= intensité forte admissible	= 3

Catégorie d'objets

Objectifs de protection

Nr.	Biens	Infrastructures	Valeurs naturelles	Période de retour [en années]			
				1-30 fréquent	30-100 rare	100-300 très rare	>300 extrême- rare
1		Itinéraires de randonnée en montagne ou à ski (selon cartes du CAS, etc.)	Paysages naturels				
2.1		Chemins pédestres et pistes de ski de fond commerciaux, chemins agricoles, conduites d'importance communale					
2.2	Bâtiments inhabités (remises, granges, etc.)	Voies de communication d'importance communale, conduites d'importance cantonale	Forêt protectrice, terrain agricole				
2.3	Bâtiments et hameaux habités temporairement ou en permanence, étales, bergeries, etc.	Voies de communication d'importance cantonale ou de grande importance communale, conduites d'importance nationale, chemins de fer de montagne, domaines skiables et d'exercices pour le ski.	Forêt protectrice dans la mesure où elle protège des regroupements d'habitations				
3.1		Voies de communication d'importance nationale ou de grande importance cantonale, téléskis et télésièges					
3.2	Regroupements d'habitations, terrains affectés à l'industrie et à l'artisanat, zones à bâtir, terrains de camping, installations de sport et de loisirs	Stations des divers moyens de transport					
3.3	Risques spéciaux, vulnérabilité particulière ou dommages secondaires.	Risques spéciaux, vulnérabilité particulière ou dommages secondaires.		Détermination au cas par cas			