



Evaluation des aléas liés aux chutes de blocs, glissements de terrain et coulées de boue sur la commune de Hombourg-Haut (Département de la Moselle)

Rapport final

BRGM/RP-66265-FR
Juin 2017

Étude réalisée dans le cadre du projet
de Service public du PSP15LOR11

A. Vallet, J. Le Goff, C. Cartannaz

<p>Vérificateur :</p> <p>Nom : O. CERDAN et S. BERNARDIE</p> <p>Fonction :</p> <p>Date : Novembre 2016</p> <p>Signature : </p>
--

<p>Approbateur :</p> <p>Nom : D. MIDOT</p> <p>Fonction : Directeur régional Grand-Est</p> <p>Date : Janvier 2017</p> <p>Signature : </p>
--

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.



**Direction
Départementale
des Territoires
de la Moselle**



Mots-clés : Cartographie de l'aléa, chutes de blocs, glissement de terrain, coulées de boue, Hombourg-Haut, Moselle

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Vallet A., Le Goff J. et Cartannaz C. (2017) – Evaluation des aléas liés aux chutes de blocs, glissements de terrain et coulées de boue sur la commune de Hombourg-Haut (Département de la Moselle). Rapport final. BRGM/RP-66265-FR, 138 p., 78 ill., 19 ann., 2 cartes hors-texte, 1 CD.

© BRGM, 2017, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre d'un programme d'adaptation au changement climatique par une meilleure prise en compte des risques, la Direction Départementale des Territoires de la Moselle (DDT 57) souhaite mieux évaluer, sur la commune de Hombourg-Haut, les aléas liés aux chutes de blocs, aux glissements de terrain et aux coulées boueuses.

En effet, le BRGM est intervenu à plusieurs reprises sur la commune de Hombourg-Haut à la demande de la DDT 57 dans le cadre de ses appuis aux politiques publiques, sur des problématiques de chutes de blocs (rapport 2012 : RP-61506-FR et interventions en 2013 et 2014 : lettres n°L13_133, et L14_358). Lors de ces interventions, il est apparu que d'autres types de mouvements de terrain pouvaient affecter la commune, en particulier les glissements de terrain et les coulées boueuses.

Cette étude a pour objectif de réaliser des études à l'échelle communale de ces 3 phénomènes suivant une démarche de type expert et d'établir une cartographie pour les aléas « chutes de blocs », « glissements de terrain » et « coulées de boue ». Ne seront pas pris en compte les phénomènes de retrait-gonflement, les affaissements et effondrements liés à la présence de cavités naturelles ou anthropiques.

Chute de blocs

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa chute de blocs est de type expert. La cartographie de l'aléa est basée sur la méthode MEZAP adaptée au contexte local. La méthode a été notamment ajustée pour tenir compte de l'intensité des blocs. Sur la base de la cartographie de l'aléa, un ciblage des zones à risque a été réalisé et des propositions de parades ont été formulées. Pour ce faire, la vulnérabilité des enjeux, scindés en deux catégories « bâtiment » et « voie de communication », a été évaluée. Le croisement des classes d'aléa et de vulnérabilité a permis de hiérarchiser les zones par priorité de mise en œuvre des solutions de parade. Un aléa très élevé impacte 1 bâtiment résidentiel et 2 bâtiments indifférenciés ainsi que 2 routes primaires, 1 route secondaire et 2 chemins. Un aléa élevé concerne 12 bâtiments résidentiels et 14 bâtiments indifférenciés ainsi que 3 routes primaires, 4 routes secondaires et 4 chemins.

Glissements de terrain

L'approche développée dans cette étude pour cartographier l'aléa glissements de terrain repose sur une démarche d'expert combinant analyse des données existantes (carte géologique, base de données...) et les relevés de terrain (morphologie, géologie, indices d'instabilités...). Plusieurs documents cartographiques sont élaborés pour aboutir à une carte de susceptibilité au glissement qui consiste au croisement entre les pentes, la géologie et les facteurs aggravants (hydrologie par exemple). La carte d'aléa est ensuite élaborée en considérant les phénomènes selon leur typologie et leur ampleur. La commune de Hombourg-Haut, d'une superficie de 12,25 km² est impactée par :

- 0,37 km² de la commune est concerné par un aléa glissement de terrain de niveau fort. Cette cartographie impacte environ 16 bâtiments ;
- 5,34 km² de la commune sont concernés par un aléa glissement de terrain de niveau moyen ;
- 5,82 km² de la commune sont concernés par un aléa glissement de terrain de niveau faible.

En fonction du niveau de l'aléa, des règles de constructibilités sont proposées.

Coulées de Boue

L'objectif de l'étude de l'aléa « coulée de boue » sur la commune de Hombourg-Haut n'a pas consisté en la cartographie d'un aléa sensu-stricto mais en la caractérisation de secteurs sensibles à l'érosion qui est la condition première à la formation de coulée de boue.

Grâce à l'application STREAM, des modélisations de l'érosion à l'échelle du bassin versant de la commune ont été réalisées. Différentes zones de concentration de l'érosion ont été identifiées. Il s'agit du lit du ruisseau de la vallée de la rue du 28 Novembre et des terrains agricoles en amont de cette vallée. La modélisation montre bien que les champs cultivés participent à l'apport de masse de terre érodée. De même, les modélisations et les observations sur les terrains confirment le rôle du lit du cours d'eau. Les résultats issus de la modélisation sont contraints par des données d'entrée uniquement valable à un instant « t ». De par le fait, que l'occupation du sol au cours de l'année change, ils sont illustratifs d'un scénario et ne sont en aucun cas transposables à un autre événement. De même, les résultats ne sont là que pour illustrer à titre indicatif les secteurs à grande échelle sensibles à l'érosion, ils ne peuvent être lus à l'échelle parcellaire.

Il est recommandé d'effectuer un sens de travail du sol perpendiculaire à la pente. La mise en place de zones enherbées, de fascines et de haie, le long des principaux écoulements est également un moyen efficace de limiter l'érosion. La création de mares tampon et de fascines le long du ruisseau permettrait de réguler le débit des écoulements et de briser la cinétique de l'eau pour ainsi limiter l'arrachement des particules du sol. Le curage régulier des fossés permet l'absorption des écoulements par le réseau d'évacuation des eaux et permet ainsi d'éviter le débordement et la propagation de coulées de boues sur la voirie et dans les maisons.

Sommaire

1. Introduction	13
2. Contexte général	15
2.1. LOCALISATION.....	15
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE	16
2.2.1. Description des formations superficielles et des dépôts anthropiques	16
2.2.2. Description des principales séries géologiques du substratum.....	17
3. Phénomènes historiques	21
4. Limite de la carte et échelle de restitution.....	27
5. Aléa chute de blocs.....	29
5.1. METHODE DE CARTOGRAPHIE DE L'ALEA CHUTE DE BLOCS	30
5.1.1. Reconnaissance des zones de départ.....	31
5.1.2. Aléa de chute de blocs.....	32
5.1.3. Indice d'activité	33
5.1.4. Indice d'intensité	34
5.1.5. Probabilité d'atteinte.....	36
5.1.6. Méthode de la « ligne d'énergie »	37
5.2. CIBLAGE DES SECTEURS A RISQUE ET PROPOSITIONS DE PARADES.....	40
5.2.1. Evaluation de la vulnérabilité des enjeux.....	40
5.2.2. Evaluation et hiérarchisation du risque.....	40
5.2.3. Proposition de parades	41
5.3. RESULTATS.....	43
5.3.1. Reconnaissance des zones de départ.....	43
5.3.2. Indice d'activité et indice d'intensité	47
5.3.3. Probabilité d'atteinte.....	47
5.3.4. Cartographie de l'aléa	48
5.3.5. Ciblage des secteurs à risque et propositions de parades.....	48
5.4. CONCLUSION	65
6. Cartographie de l'aléa glissement de terrain.....	67
6.1. TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN	67
6.1.1. Les mouvements sans plan de rupture.....	67
6.1.2. Les glissements avec plan de rupture	70
6.2. L'EVALUATION DE L'ALEA GLISSEMENT DE TERRAIN.....	71

6.2.1.	Les facteurs de prédisposition.....	72
6.2.2.	Les facteurs aggravants.....	79
6.2.3.	Les facteurs déclencheurs	81
6.2.4.	Intensité	82
6.2.5.	Synthèse de l'évaluation de l'aléa	83
6.3.	CARTOGRAPHIE DE L'ALEA.....	84
6.4.	EXEMPLE DE PRECONISATIONS ET PRESCRIPTIONS REGLEMENTAIRES IMPACTANT L'URBANISME	85
6.4.1.	Pour les secteurs d'aléa fort.....	86
6.4.2.	Pour les secteurs d'aléa moyen	89
6.4.3.	Pour les secteurs d'aléa faible	93
6.4.4.	Pour les secteurs d'aléa nul	93
6.4.5.	Dispositions générales applicables à tout le territoire	94
6.4.6.	Mesures générales applicables à tout le territoire	95
6.4.7.	Etudes techniques préalables	95
7.	Cartographie de l'aléa « Coulées de boue »	101
7.1.	COULEE DE BOUE DEFINITION	101
7.2.	COULEE DE BOUE VERSUS EROSION	101
7.3.	CHAMP DE L'ETUDE	102
7.4.	TYPOLOGIE DES PHENOMENES ETUDIES.....	102
7.4.1.	L'érosion des sols	103
7.5.	LES FACTEURS DE L'EROSION ET LES PRECIPITATIONS.	104
7.5.1.	Les facteurs de prédisposition.....	104
7.5.2.	Le facteur des précipitations	110
7.6.	LA CARTOGRAPHIE DE L'EROSION SUR LA COMMUNE (MODELE STREAM).....	110
7.7.	PRESENTATION DU PROCESSUS A L'ECHELLE D'UNE PARCELLE.....	111
7.8.	ETUDE DU CAS D'UNE PLUIE VIOLENTE DE COURTE DUREE SANS PLUIE ANTECEDENTE	112
7.9.	ETUDE DU CAS D'UNE PLUIE VIOLENTE DE COURTE DUREE AVEC PLUIE ANTECEDENTE	113
7.10.	RESULTAT DE LA MODELISATION	113
7.10.1.	Précaution d'emploi sur les résultats de la modélisation	113
7.10.2.	La carte des masses de terre emportées par l'érosion diffuse et linéaire	113
7.10.3.	La carte de contribution des zones d'intégration (parcelle) à l'érosion linéaire	117
7.10.4.	La carte de contribution des zones d'intégration à l'érosion diffuse	120

7.10.5.	Conclusion préliminaire.....	120
7.11.	EXEMPLE DE RECOMMANDATIONS	120
7.11.1.	Concernant le sens de travail du sol	120
7.11.2.	Concernant l'occupation du sol	123
7.11.3.	Mise en place de bandes enherbées.....	128
7.11.4.	Haies et fascines.....	128
7.11.5.	Mare tampon.....	130
7.11.6.	Labourage rapide des parcelles après la récolte	131
7.12	ACTION SUR LA COMMUNE DE HOMBOURG-HAUT	131
7.12.1.	Au niveau des champs cultivés en amont de la vallée de la rue du 28 Novembre	131
7.12.2.	Au niveau de la vallée de la rue du 28 Novembre	131
7.13	LIMITES DE L'INTERPRETATION	133
7.13.1.	Limites de l'application STREAM	133
7.13.2.	VALIDITE DANS LE TEMPS.....	134
7.14.	CONCLUSION SUR L'ALEA « COULEES DE BOUE »	134
8.	Bibliographie	137

Liste des illustrations

Illustration 1 :	Localisation de Hombourg-Haut	15
Illustration 2 :	Carte géologique de Hombourg-Haut (issue de la carte géologique au 1/50 000)	16
Illustration 3 :	Log stratigraphique montrant les faciès particulièrement bien développés sur la commune de Hombourg-Haut (Cartannaz et al., 2009).	18
Illustration 4 :	Carte des phénomènes historiques	23
Illustration 5 :	Description des phénomènes historiques inventoriés	26
Illustration 6 :	Configuration et mécanismes de chutes de blocs (Dussauge-Peissier, 2002)	29
Illustration 7 :	Matrice de probabilité d'occurrence du phénomène de référence (source: document MEZAP)	32
Illustration 8 :	Matrice d'évaluation de l'aléa (source : modifié d'après document MEZAP)	33
Illustration 9 :	Définition des classes d'indice d'activité (source : document MEZAP)	34
Illustration 10 :	Définition des classes d'intensité selon les volumes (source : document Mezap)	34
Illustration 11 :	Définition des classes d'intensité selon l'énergie (source : modifié d'après document Mezap)	35
Illustration 12 :	Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie	37
Illustration 13 :	Plages de valeurs indicatives des angles géométriques pour la méthode des cônes issues de l'analyse statistique des valeurs publiées à ce jour (source : document MEZAP)	38
Illustration 14 :	Intervalles d'angles de la méthode des cônes (données à titre indicatif) en fonctions des principaux types de profils de pente (source : document MEZAP)	39
Illustration 15 :	Matrice pour l'établissement des zones de priorité pour la mise en place des parades ...	41
Illustration 16 :	Tableau synthétique de parades actives	42
Illustration 17 :	Tableau synthétique de parades passives	42
Illustration 18 :	Cartographie des zones de départ	45
Illustration 19 :	Cartographie des blocs remarquables	46
Illustration 20 :	Zones de départ dont la probabilité d'atteinte est basée sur la méthode de la ligne d'énergie avec angles utilisés pour caractériser les classes faible, modérée et élevée. ...	47
Illustration 21 :	Hiérarchisation des zones de départ pour les bâtiments (TE : Très Elevé, E : Elevé, M : Modéré et F : Faible)	49
Illustration 22 :	Secteur B1 et secteur V6 - Photographie de la zone de départ Z19 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)	50
Illustration 23 :	Secteur B2 et secteur V5 - Photographie de la zone de départ Z27 et résumé de l'annexe 2 (tableau orange)	51
Illustration 24 :	Secteur B3 - Photographie de la zone de départ Z16 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)	51
Illustration 25 :	Secteur B4 - Photographie de la zone de départ Z16 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)	52
Illustration 26 :	Secteur B5 - Photographie de la zone de départ Z59 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)	53
Illustration 27 :	Secteur B6 - Photographie de la zone de départ Z56 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)	54

Illustration 28 : Aléa chute de blocs et vulnérabilité des bâtiments et des voies de communications sur la commune de Hombourg-Haut (Zoom sur les zones de départ Z19, Z27, Z16, Z36, Z59, Z27 et Z19)	55
Illustration 29 : Hiérarchisation des zones de départ pour les voies de communication (TE : Très Elevé, E : Elevé, M : Modéré et F : Faible).....	57
Illustration 30 : Secteur V1 - Photographie de la zone de départ Z3 (gauche) et Z7 (droite) et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu).....	58
Illustration 31 : Secteur V2 - Photographie de la zone de départ Z61 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)	59
Illustration 32 : Secteur V3 - Photographie de la zone de départ Z58 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)	59
Illustration 33 : Secteur V4 - Photographie de la zone de départ Z55b et résumé de l'annexes 2 (tableau orange).....	60
Illustration 34 : Secteur V7 - Photographie de la zone de départ Z51 et résumé de l'annexe 2 (tableau orange).....	61
Illustration 35 : Secteur V8 - Photographie de la zone de départ Z33 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)	62
Illustration 36 : Aléa chute de blocs et vulnérabilité des voies de communications sur la commune de Hombourg-Haut (Zoom sur les zones de départ Z7, Z4, Z6, Z58, Z3, Z61, Z48, Z49 et Z51).....	63
Illustration 37 : Exemple de fluage sous l'effet d'une surcharge (Philipponnat et al., 2008)	67
Illustration 38 : Aspect ondulé (moutonnement) des terrains dû au phénomène de solifluxion (Philipponnat et al., 2008).....	68
Illustration 39 : Coupe montrant le phénomène de reptation des couches géologiques superficielles. (figure du haut : Foucault & Raoult, 2005).....	69
Illustration 40 : Exemple de fauchage, dû au phénomène de reptation des couches géologiques superficielles	69
Illustration 41 : Schéma d'un glissement plan	70
Illustration 42 : Bloc diagramme d'un glissement rotationnel complexe (Flageollet, 1989 et Cruden et Varnes, 1996).	71
Illustration 43 : Cartographie des pentes – commune de Hombourg-Haut (fond IGN Scan 25)	73
Illustration 44 : Classement des formations en fonction de leurs susceptibilités au glissement de terrain.....	75
Illustration 45 : Cartographie géologique et localisation des points BSS (tracés issus de la carte géologique au 1/50 000, fond scan 25) – la numérotation des points BSS fait référence au tableau ci-dessous	76
Illustration 46 : Identification des ouvrages BBS de la commune de Hombourg-Haut	77
Illustration 47 : Matrice de qualification de la prédisposition aux glissements de terrain (Cartannaz, 2015, modifié)	79
Illustration 48 : Arbre en forme de pipe (commune de Hombourg-Haut).....	80
Illustration 49 : Cartographie des indices hydrogéologiques	81
Illustration 50 : Matrice d'évaluation de l'aléa glissement de terrain.....	83
Illustration 51 : Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (norme NF P94-500, 30/11/2013).....	98

Illustration 52 : Classification des missions d'ingénierie géotechnique (norme NF P94-500, 30/11/2013).....	100
Illustration 53 : Liste d'une partie des risques naturels repertoriés dans la norme GASPARE.....	101
Illustration 54 : Localisation du bassin versant de Hombourg-Haut.....	102
Illustration 55 : « Il n'y a que des pierres qui poussent dans ce champs », un marqueur de l'érosion diffuse.	103
Illustration 56 : Diagramme de Hjulström montrant la phase d'érosion, de transport et de dépôt en fonction de la taille de la particule (abscisse) et de la vitesse d'écoulement de l'eau (ordonnée)	104
Illustration 57 : Stade fragmentaire (F0).....	106
Illustration 58 : Premier stade de dégradation (F1).....	106
Illustration 59 : Second stade de dégradation (F12)	107
Illustration 60 : Stade sédimentaire (F2)	107
Illustration 61 : Différents types d'occupation du sol référencé pour cette étude	108
Illustration 62 : Ornières de tracteur sur un chemin de terre.....	109
Illustration 63 : Calcul du ruissellement en chaque point du bassin versant (Couturier et al, 2013).	111
Illustration 64 : Influence des différents paramètres sur la susceptibilité des sols au ruissellement, à l'érosion linéaire et diffuse	112
Illustration 65 : Localisation des zones qui contribuent fortement à l'érosion diffuse et linéaire	114
Illustration 66 : Mare amont de rétention en terre végétale (altitude du tuyau d'évacuation plus bas que la route).....	115
Illustration 67 : Mare de rétention aval avec fond bétonné	116
Illustration 68 : Important creusement du lit du ruisseau débouchant rue du 28 Novembre	117
Illustration 69 : Causes de l'érosion prononcée des zones détaillées.	118
Illustration 70 : Carte d'interprétation des zones contribuant fortement à l'érosion linéaire. Cette carte est informative et ne représente que le résultat d'une modélisation issue de données d'entrées valables à un instant « t ». Les résultats ne peuvent pas être retranscrits à une autre période ni être utilisée à l'échelle cadastrale.....	119
Illustration 71 : Impact du sens du travail sur l'érosion du sol (les résultats sont juste illustratifs d'un scénario donné valable à un instant « t » et ne peuvent pas être retranscrits à une autre période.....	122
Illustration 72 : Carte d'occupation des sols des secteurs étudiés	124
Illustration 73 : Comparaison entre les paramètres initialement choisis et les paramètres modifiés afin d'être cohérent avec les observations réalisées sur le terrain	125
Illustration 74 : Simulations de l'érosion en fonction du type de cultures.....	127
Illustration 75 : Localisation optimale des bandes enherbées.	128
Illustration 76 : Photos de fascines dites « mortes » à gauche et « vivantes » à droite	129
Illustration 77 : Localisation possible de fascines et haies sur un versant.....	130
Illustration 78 : Schéma d'une mare tampon (Chambre d'agriculture de la région Nord-pas de Calais).....	130
Illustration 79 : Le fossé situé juste avant l'entrée du réseau d'assainissement est curé.....	132
Illustration 80 : Le fossé situé en amont de la grille de retenue est encombré de sédiments et de végétation	132

Illustration 81 : Recommandations d’actions à mettre en œuvre au niveau de la vallée de la rue du 28 Novembre	133
--	-----

Liste des annexes

Annexe 1 : Forages de la BSS	139
Annexe 2 : Indice d’activité, indice d’intensité et proposition de parade de chaque zone de départ. Les coordonnées sont en Lambert 93 et correspondent au milieu de la zone de départ cartographié	143
Annexe 3 : Indice d’activité, indice d’intensité, volume approximatif et proposition de parade de chaque bloc remarquable. Les coordonnées sont en Lambert 93.	149
Annexe 4 : Cartographie de l’aléa chutes de blocs	155
Annexe 5 : Cartographie de l’aléa résiduel chutes de blocs	159
Annexe 6 : Cartographie de l’aléa glissement de terrain	163
Annexe 7 : Carte des limites de parcelles étudiées	167
Annexe 8 : Carte d’occupation des sols de la commune de Hombourg-Haut, relevé le 16/07/15.....	171
Annexe 9 : Carte du pourcentage de couvert végétal	175
Annexe 10 : Carte des faciès des parcelles étudiées	179
Annexe 11 : Carte des pentes	183
Annexe 12 : Carte de l’angle entre le sens du travail du sol et le sens de la pente	187
Annexe 13 : Carte de la rugosité parallèle au sens de travail du sol	191
Annexe 14 : Carte de la rugosité perpendiculaire au sens de travail du sol	195
Annexe 15 : Cartes des masses de terre emportées par l’érosion diffuse et linéaire (sans pluie antécédentes)	199
Annexe 16 : Cartes des masses de terre emportées par l’érosion diffuse et linéaire (sans pluie antécédente) – détails de l’Est de la commune	203
Annexe 17 : Carte de contribution des zones d’intégration à l’érosion linéaire (sans pluie antécédente)	207
Annexe 18 : Carte de contribution des zones d’intégration à l’érosion diffuse (sans pluie antécédente)	211
Annexe 19 : Cartes des masses de terre emportées par l’érosion diffuse et linéaire (avec pluie antécédente de 100mm) – détails de l’Est de la commune	215

Cartes hors-texte

Cartographie de l’aléa chutes de blocs

Cartographie de l’aléa glissements de terrain

1. Introduction

Le BRGM est intervenu à plusieurs reprises sur la commune de Hombourg-Haut à la demande de la DDT 57 dans le cadre de ses appuis aux politiques publiques, sur des problématiques de chutes de blocs (rapport 2012 : RP-61506-FR et interventions en 2013 et 2014 : lettres n°L13_133, et L14_358). Lors de ces interventions, il est apparu que d'autres types de mouvements de terrain pouvaient affecter la commune, en particulier les glissements de terrain et les coulées boueuses.

Dans le cadre d'un programme d'adaptation au changement climatique par une meilleure prise en compte des risques, la DDT 57 souhaite mieux évaluer les aléas liés à ces trois phénomènes.

Cette étude a pour objectif de réaliser des études détaillées de ces 3 phénomènes suivant une démarche de type expert et d'établir une cartographie pour les aléas « chutes de blocs », « glissements de terrain » et « coulées de boue ».

Les phénomènes de retrait-gonflement, les affaissements et effondrements liés à la présence de cavités naturelles ou anthropiques ne seront pas pris en compte.

Les résultats attendus sont :

- une cartographie des événements historiques avec leurs descriptions (dimension, origine, facteur déclencheurs, etc.), restituée à un format A3 au maximum ;
- une cartographie au 1/5 000^{ème} des différents aléas et une carte de synthèse des trois aléas, restituée à un format A3 au maximum ;
- pour les aléas « chutes de blocs » et « coulées de boues », la hiérarchisation des sites à risques et la définition de bonnes pratiques et des parades pour leur mise en sécurité ;
- pour l'aléa « glissements de terrain » l'énoncé des grands principes devant conduire l'élaboration du règlement par l'Autorité Publique.

2. Contexte général

2.1. LOCALISATION

Hombourg-Haut est une commune du Nord Est de la Moselle, située à 5 km à l'Est de Saint-Avold et à 3 km de l'Allemagne (Illustration 1). D'une superficie de 12.25 km² et comptant environ 6900 habitants, elle fait partie de la Communauté de communes de « Freyming Merlebach ».

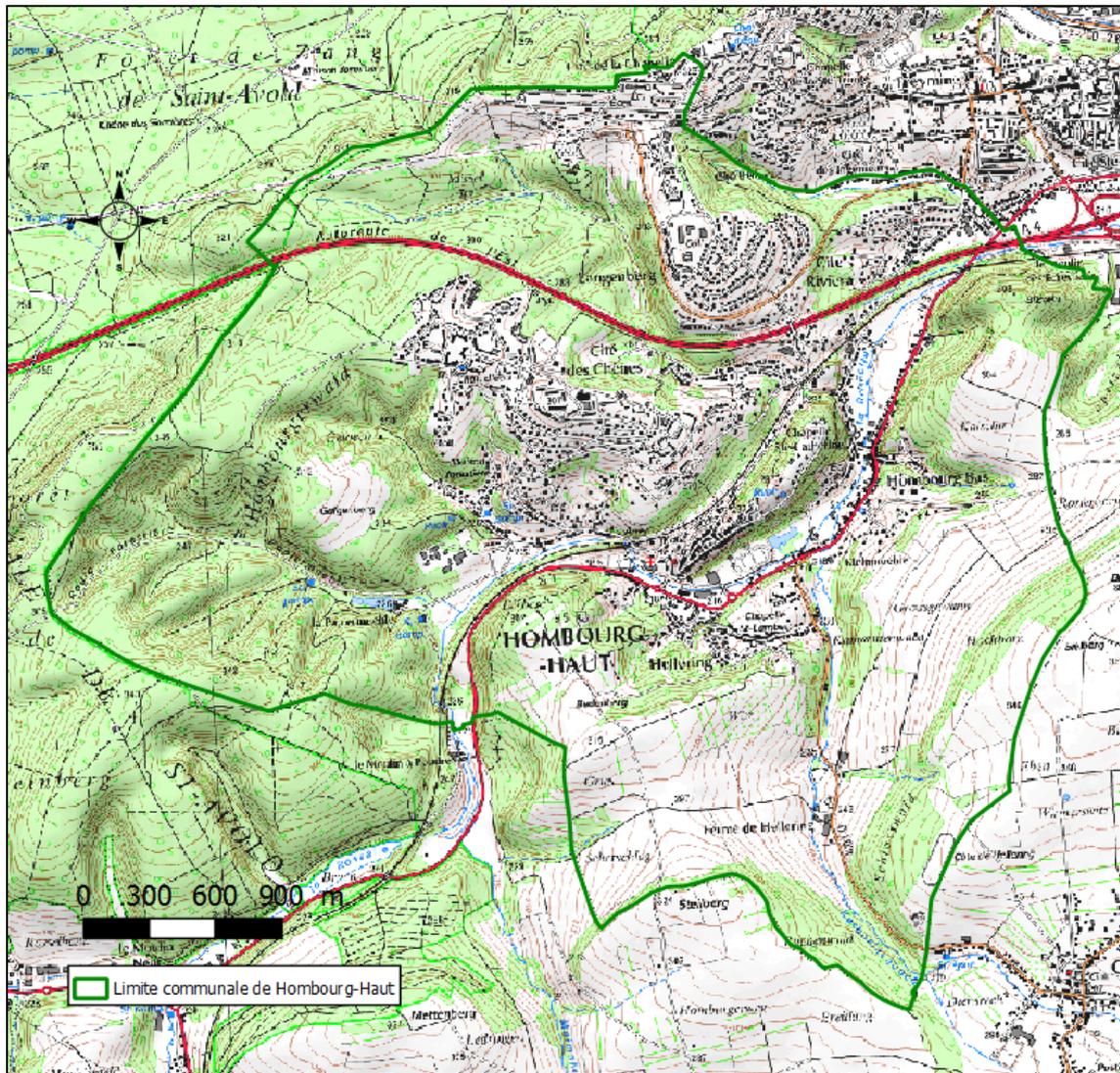


Illustration 1 : Localisation de Hombourg-Haut

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

La commune de Hombourg-Haut fait partie de la carte géologique de Saint-Avold (Illustration 2).

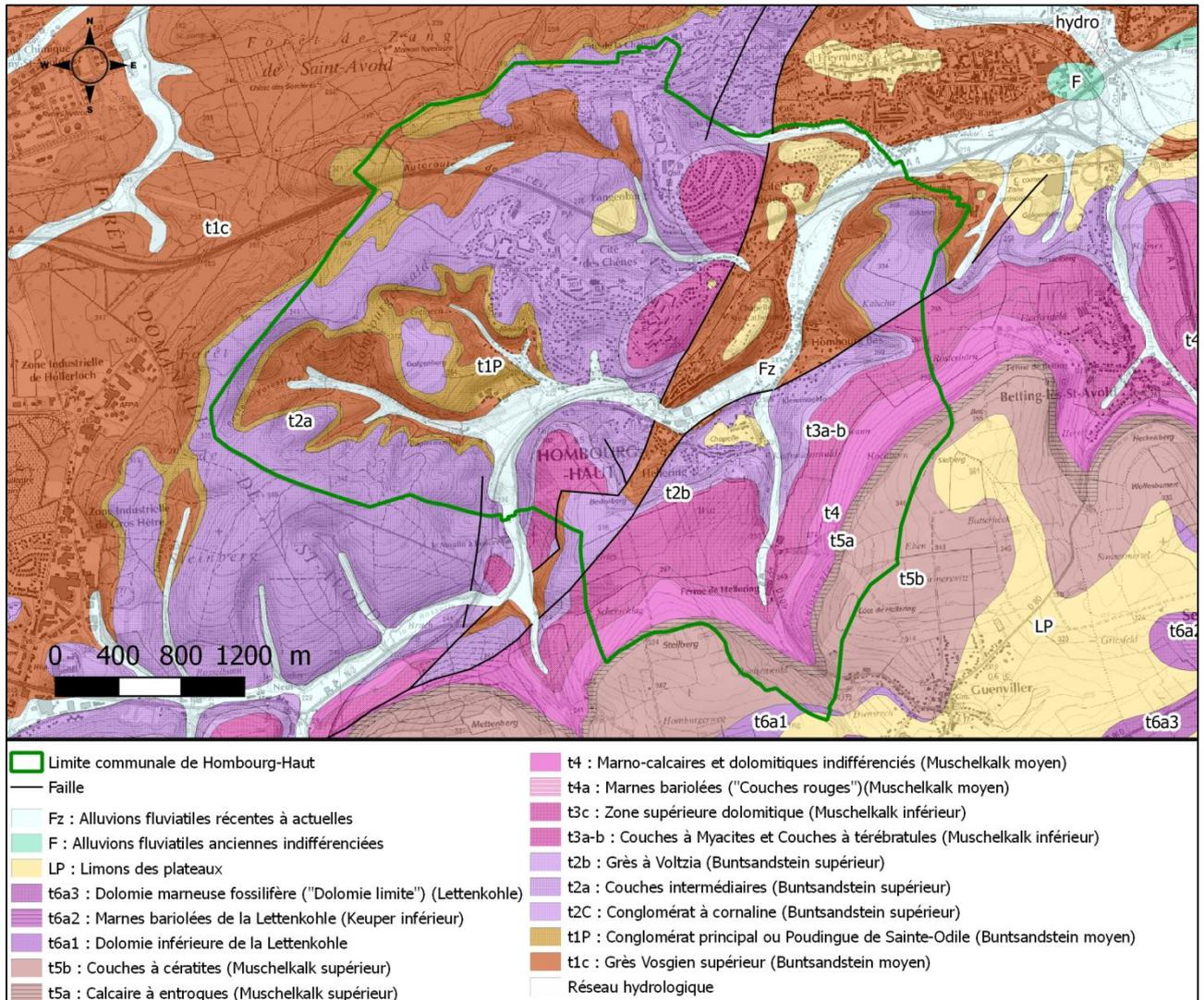


Illustration 2 : Carte géologique de Hombourg-Haut (issu de la carte géologique au 1/50 000)

2.2.1. Description des formations superficielles et des dépôts anthropiques

Dans l'établissement des cartes d'aléa sur les glissements de terrain, il est utile de distinguer les formations superficielles et les dépôts anthropiques du substratum géologique, car ils présentent généralement des caractéristiques mécaniques médiocres, et sont de ce fait sensibles aux glissements de terrain.

a) Les dépôts anthropiques

Les dépôts anthropiques peuvent correspondre à des déblais issus des exploitations minières (stériles de mine et/ou de produits de décapage) ou à des produits issus de la sidérurgie (crassier), constitués de scories et de fines de dépoussiérage de hauts fourneaux et divers déchets.

Ces dépôts sont souvent très hétérogènes. D'un point de vue géotechnique, il est très difficile de les classer dans les sols pulvérulents ou cohérents. Pour des raisons de sécurité, il a été choisi de les classer parmi les formations les plus propices aux instabilités, les formations superficielles fines.

b) Les formations superficielles

Elles peuvent être de plusieurs types. Les formations superficielles sont la conséquence de l'altération des formations sous-jacentes. Elles ont été considérées comme étant présentes sur l'ensemble du territoire étudié car il est impossible de connaître leurs caractéristiques mécaniques et leur épaisseur. L'étude géotechnique imposée par le futur règlement du PPRNmt permettra d'obtenir ces caractéristiques et de statuer sur la stabilité des terrains. Les formations superficielles sur la commune d'Hombourg-Haut sont de deux types :

- les alluvions récentes (notées Fz sur la carte géologique) : Les alluvions récentes résultent de l'érosion des terrains entaillés par la rivière. Elles sont généralement argileuses avec la création de petits étangs de fond de talweg. Dans certains des secteurs, à proximité des affleurements des grès vosgiens, les sites les plus humides montrent la présence de tourbe. Des forages implantés dans les alluvions récentes de fond de vallée montrent la présence de sable jusqu'à 20 m de profondeur (rapport BRGM RR-37184-FR). Ces formations ne forment naturellement pas de pente. Ces dépôts de fond de vallée sont principalement sujets à l'érosion en bordure des cours d'eau (phénomène de sape de berge) ;
- les limons de plateaux (notés LP) : les plateaux sont susceptibles d'être recouvert d'un « manteau » plus ou moins épais de limons constituant des dépôts sédimentaires meubles continentaux argilo-sableux, constitués d'un mélange d'apports éoliens et d'altérites locales. Ce niveau peut être épais de plusieurs mètres.

2.2.2. Description des principales séries géologiques du substratum

Le log lithostratigraphique de l'illustration 3 représente les changements de faciès des différentes formations rencontrées en Lorraine qui peuvent être appliquées sur la commune de Hombourg-Haut.

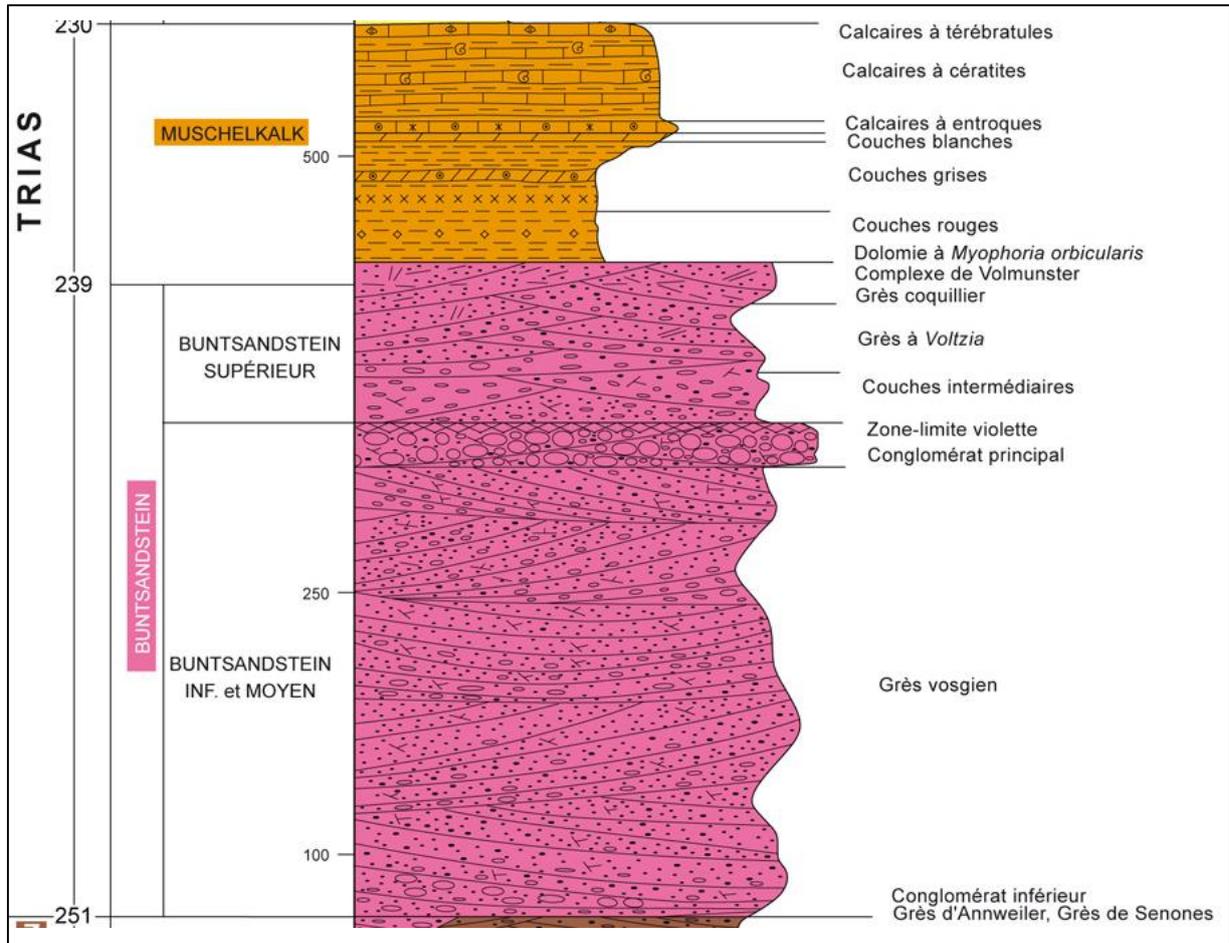


Illustration 3 : Log stratigraphique montrant les faciès particulièrement bien développés sur la commune de Hombourg-Haut (Cartannaz et al., 2009).

a) **Faciès du Buntsandstein**

Sur la commune de Hombourg-Haut, les affleurements gréseux sont nombreux. Les faciès du Buntsandstein inf. et moyen, largement représentés, montrent la présence de grès vosgiens (t1c, puissance de 300 à 350 m) surmontés par le conglomérat principal de puissance très variable (t2P, 2 à 20 m). Ces faciès sont très développés sur les affleurements rocheux au sein de la forêt de Hombourg.

Les grès des couches intermédiaires (t2a du Buntsandstein supérieur), d'une puissance de 50 m, sont des grès micacés avec des lentilles d'argiles et des nodules de manganèse. Ce faciès est également largement représenté sur la commune. Ce niveau est surmonté à l'est de la commune par les grès à *Voltzia* (t2b, épaisseur de 20 m) surmonté des grès coquilliers plus ou moins marneux.

Ces grès sont visibles du fait de la présence de la faille Saint-Avold – Hombourg qui marque le paysage.

En dehors des chutes de blocs, ces faciès peuvent également présenter des glissements dans les formations d'altération des grès, où la fraction argileuse résiduelle est dominante.

Les forages de la BSS (01398X0009, 01654X0004) montrent une altération des grès jusque 12 à 25 m de profondeur (forages en annexe 1).

b) *Faciès du Muschelkalk*

Vers le sud-est de la commune, les faciès passent rapidement à des dépôts marno-carbonatés du Muschelkalk, enrichis de corps évaporitiques lenticulaires. Les formations géologiques sont représentées par les faciès du Muschelkalk inférieur (t3a et t3b) sur une épaisseur de 40 m, les faciès du Muschelkalk moyen (couches rouges, couches grises et couches blanches) et la dolomie inférieure du Lettenkohle.

3. Phénomènes historiques

L'ensemble des données sur les phénomènes qui ont été observés sur le terrain ou issues d'une revue bibliographique ont été inventoriés, et sont représentées sur la carte des phénomènes historiques (Illustration 4).

Cet inventaire a été réalisé uniquement pour les aléas étudiés, c'est-à-dire aléas « chutes de blocs », « glissements de terrain » et « coulées de boue ». Chaque phénomène est caractérisé par un code qui renvoie à un tableau descriptif (Illustration 5).

Les sources d'information à disposition sont :

- la Banque de données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM ;
- les études géotechniques du CETE, d'experts mandatés ou de bureaux d'études ;
- les archives du BRGM (rapports, cartes géologiques) ;
- l'inventaire mouvements de terrain de la Meurthe-et-Moselle géré par le BRGM.

Cette phase documentaire est couplée par une reconnaissance de terrain afin de préciser la nature et la géométrie des mouvements historiques, mais également d'identifier les indices d'éventuelles instabilités non reconnues lors de l'enquête préliminaire (fissures, désordres, venues d'eau, arbres penchés etc.).

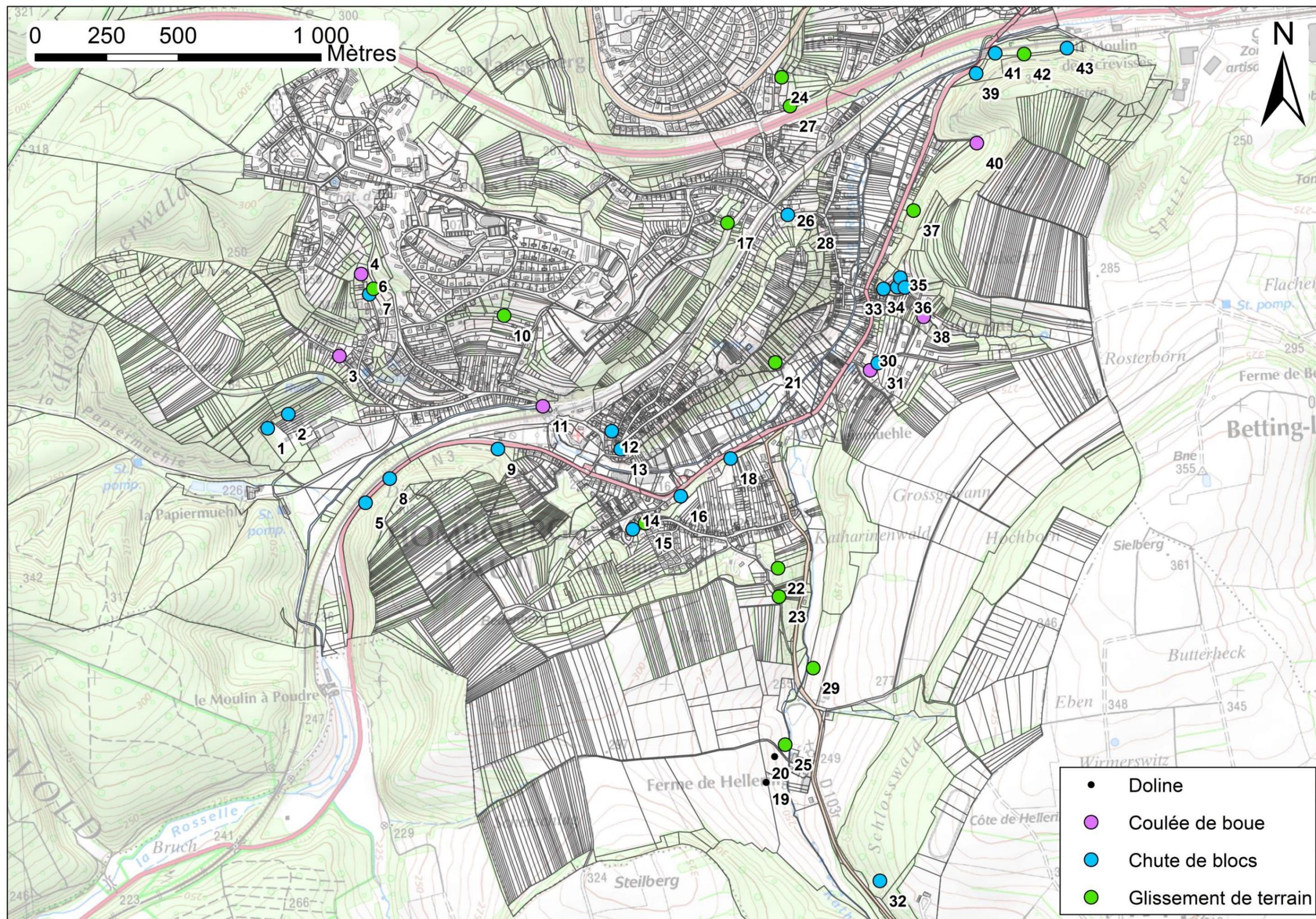


Illustration 4 : Carte des phénomènes historiques

Code	Type	X (L93)	Y (L93)	Enjeux	Formations géologiques	Indices	Source des informations	Commentaires (dimension, origine, date, etc...)
1	CDB	976083	6897174	future lotissement (actuellement travaux de terrassement)	grès	blocs	carte communale + relevé de terrain	indice d'activité < 1 an, bloc de 80L
2	CDB	976085	6898554	future lotissement (actuellement travaux de terrassement)	grès	blocs	relevé de terrain	indice d'activité < 1 an, plusieurs blocs de 10 à 40L
3	CB	976095	6897834	réseau routier et habitation	grès		témoignage	mi-février 2016, rue de la Forêt inondée et couverte de dépôts arénitiques
4	CB	976099	6897734	talus routier	grès	ensablement forte pluies	carte communale + témoignage	RAS
5	CDB	976108	6899553	réseau routier	grès	blocs	relevé de terrain	indice d'activité < 1 an, blocs dans fosse (1 de 0.25m3 et plusieurs de 20 à 50L)
6	CDB	976120	6897216	réseau routier	grès	blocs	relevé de terrain + témoignage	indice d'activité < 1 an, bloc de 10L
7	GLISS	976129	6899071	talus routier	remblai	non observé durant cette étude	carte communale	
8	CDB	976137	6899452	réseau routier	grès	blocs	carte communale + relevé de terrain	indice d'activité < 1 an, blocs bloqués dans le grillage plaqué (plusieurs blocs de 10 à 50L)
9	CDB	976198	6899042	réseau routier	grès	blocs	carte communale + relevé de terrain	indice d'activité < 1 an, blocs mis en mouvement suite arrache arbre, blocs (1 de 50L et plusieurs de 5L), pente départ 32°
10	GLISS	976218	6897484	zone maraichère + habitation	grès	non observé durant cette étude	bd mvt (www.georisques.gouv.fr) + témoignage	ID 11533201 LOC, glissement suite à rupture d'une canalisation
11	CB	976417	6898527	réseau routier + habitation	grès	non observé durant cette étude	carte communale	plusieurs coulées dans les années 1980 et 90 et en 2012 phénomène récurrent
12	CDB	976444	6898552		grès		carte communale	évènement en 2015
13	CDB	976451	6896739	réseau routier et habitation	grès	cf. lettre BRGM L14_358	carte communale + appui administration BRGM	cf. lettre BRGM L14_358
14	CDB	976464	6898812	habitation	grès et arène	blocs	Propriétaire + appui administration BRGM	cf. lettre BRGM L13_133 et rapport BRGM RP-61506-FR
15	GLISS	976512	6898818	route communale	remblais sur grès	barrière affaissé, ressaut d'une dizaine de cm	relevé de terrain	soutirage/reptation superficielle dans le premier mètre de profondeur
16	CDB	976523	6898851	habitation	grès et arène	blocs	relevé de terrain	indice d'activité < 1 an, blocs (<10L) et arènes d'environ 1 m3
17	GLISS	976539	6898817	talus routier	glaise sur grès	sources + topographie	relevé de terrain + carte communale	zone de sources/humide + pose d'un masque poids drainant en blocs de calcaire de Jaumont
18	CDB	976570	6899086	habitation	grès		relevé de terrain	suite à vent sur arbre en mars 2015
19	Doline	976605	6898714	versant en herbe	Marnes	dépression topologique	relevé de terrain	
20	Doline	976789	6899566	versant en herbe	Marnes	dépression topologique	relevé de terrain	
21	GLISS	976791	6899322	versant boisé	grès	ravinement et concentration des flux à la faveur d'un talweg - possible solifluxion	carte communale	dans les années 1970, rapport géotechnique à la commune mise en place de confortement origine eau de pluie ou rupture d'une conduite d'eau (rupture de la conduite d'eau antérieur ou postérieur au glissement)
22	GLISS	976855	6899637	versant boisé	grès	volume glissé de colluvions et blocs	relevé de terrain	glissement d'un volume d'environ 3 m3, blocs d'environ 10L et colluvions
23	GLISS	976957	6899634	versant boisé	grès	niches d'arrachement	relevé de terrain + carte communale	

Code	Type	X (L93)	Y (L93)	Enjeux	Formations géologiques	Indices	Source des informations	Commentaires (dimension, origine, date, etc...)
24	GLISS	977107	6899655	versant boisé	grès	sources, niches d'arrachement, rupture de pentes	relevé de terrain	reptation superficielle
25	GLISS	976083	6897174	versant en herbe	Marnes	paléo niche d'arrachement	relevé de terrain	paléo-glisement
26	CDB	976085	6898554	réseau routier	grès	blocs	relevé de terrain	indice d'activité < 1 an, bloc < 5L
27	GLISS	976095	6897834	versant boisé	grès	non observé durant cette étude	carte communale	dans les années 1980 lors de la construction des immeubles
28	CDB	976099	6897734	réseau routier	grès	non observé durant cette étude	carte communale	
29	GLISS	976108	6899553	plateforme future construction abandonnée et chemin	Marnes	niche d'arrachement, barrière endommagée, sous-cavage	relevé de terrain + témoignage	mouvement actif, sous-cavage sous plateforme de 1 m < 5 ans
30	CB	976120	6897216	réseau routier et habitation	grès	présence de dépôts arénitiques dans bouche de collecte des eaux du réseau routier	relevé de terrain	indice d'activité < 1 an
31	CDB	976129	6899071	réseau routier	grès	blocs	relevé de terrain	indice d'activité < 10 ans, 2 blocs d'environ 40L et plusieurs blocs < 5L
32	CDB	976137	6899452	carrière abandonnée	Calcaire	blocs	relevé de terrain	indice d'activité < 1 an, bloc de 10L à 1m3
33	CDB	976198	6899042	Terrasse et habitation	grès	blocs	relevé de terrain + témoignage	indice d'activité < 1 an, blocs de 5 à 20L issus de l'ancien mur du château
34	CDB	976218	6897484	Terrasse et habitation	grès	blocs	relevé de terrain + témoignage	indice d'activité < 1 an, blocs de 5 à 20L issus d'un mur
35	CDB	976417	6898527	Jardin et habitation	grès	blocs	relevé de terrain + témoignage	indice d'activité < 1 an, blocs > 1m3
36	CDB	976444	6898552	Jardin et habitation	grès	blocs	relevé de terrain + témoignage	indice d'activité < 1 an, bloc de 30L
37	GLISS	976451	6896739	versant en herbe avec des arbres	grès	non observé durant cette étude	carte communale + témoignage	chute de hêtre, talus taillé (front de taille?) Glissement très superficielle de la couverture terreuse sur 50 cm d'épaisseur?
38	CB	976464	6898812	réseau routier et habitation	grès	bouche de collecte des eaux pluviales en travaux	carte communale + relevé de terrain + témoignage	mi-février 2016, inondations et coulées de boue
39	CDB	976512	6898818	réseau routier	grès	blocs	relevé de terrain	indice d'activité 1/10 ans, plusieurs blocs de 10 à 40L
40	CB	976523	6898851	Réseau routier	grès	présence de dépôts arénitiques derrière un barrage de terre	relevé de terrain	indice d'activité < 1 an, érosion le long d'un chemin forestier (talweg)
41	CDB	976539	6898817	voies ferrées	Grès	blocs	relevé de terrain	indice d'activité > 1 an, 5 blocs = 10L, n'a pas dépassé la fosse
42	GLISS	976570	6899086	voies ferrées	grès	niches d'arrachement	bd mvt (www.georisques.gouv.fr) + relevé de terrain	ID 11533202 et BRGM 332 57 12 86B
43	CDB	976605	6898714	voies ferrées	Grès	blocs	relevé de terrain	indice activité < 3ans, arène +blocs < 1L, n'a pas dépassé la fosse

Illustration 5 : Description des phénomènes historiques inventoriés

4. Limite de la carte et échelle de restitution

La cartographie des aléas est basée sur l'analyse des sources documentaires disponibles (méthodologies, connaissances des mécanismes...) à la date de sa réalisation et sur l'exploitation des événements historiques connus. L'étude est donc le reflet de la connaissance au moment de sa réalisation. La prise en compte ultérieure de données non connues ou non disponibles pendant cette période (méthodologies, investigations, phénomènes, archives, témoignages, etc.) peut conduire à une révision des critères d'analyse de l'aléa et donc de son expression cartographique.

Les cartes d'aléa sont restituées sur les fonds cadastraux à l'échelle du 1/5 000^{ème}. La précision des limites des zones cartographiées au 1/5 000^{ème} pour les trois aléas est de 5 m auxquels il faut associer l'épaisseur du trait de report des limites cartographiées qui correspond par exemple pour 1 mm d'épaisseur à 5 m. Enfin, toute opération de zoom sur une carte au 1/5 000^{ème} pour en agrandir l'échelle est à proscrire.

5. Aléa chute de blocs

L'aléa rocheux est la résultante de la mise en mouvement d'un volume rocheux. La mission de l'expert est de proposer des réponses aux questions suivantes : **Quoi ?**, **Quand ?**, **Où ?** L'observation des affleurements rocheux, quelles que soient les méthodes utilisées aujourd'hui, ne permet pas d'indiquer avec certitude, pour un site donné, le type de phénomène attendu, les volumes à l'arrivée, et encore moins leurs probabilités de départ pour des périodes de retour données. Faces à ces incertitudes, la qualification de l'aléa rocheux est sujette à interrogations et incertitudes.

La typologie générale des évènements « chute de blocs » est décrite de façon assez exhaustive sur l'illustration 6.

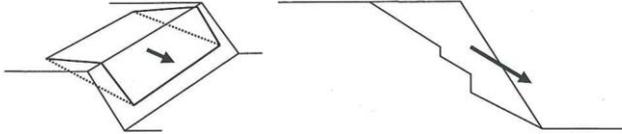
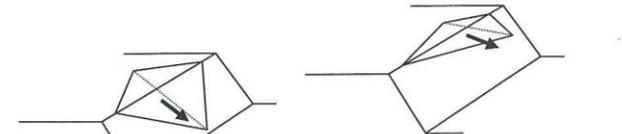
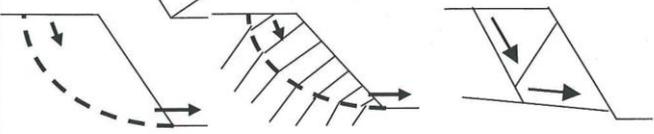
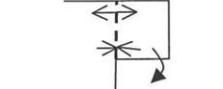
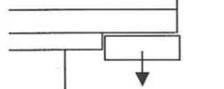
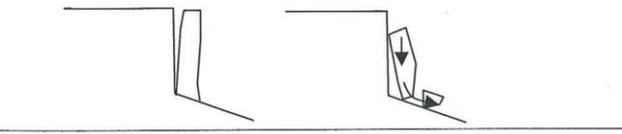
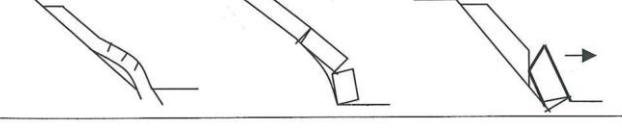
Configurations / mécanismes	Mécanisme d'instabilité
	Glissement plan Gp
	Glissement dièdre ou plan Gd
	Glissements rotationnel et fractionné Gr
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Configuration plutôt verticale (rupture en cisaillement)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Configuration plutôt horizontale (rupture en traction)</p> </div> </div>	Rupture de surplomb S
	Basculement de colonne ou de blocs Cb
	Rupture de colonne en pied Cp
	Rupture de banc (par flambage ou sur fracture) Bf

Illustration 6 : Configuration et mécanismes de chutes de blocs (Dussauge-Peissier, 2002)

Il a été établi une cartographie de l'aléa « chute de blocs » lié aux **affleurements rocheux d'origine naturelle**, à l'exclusion des chutes de blocs provenant **de murs délabrés de bâtiments**.

La cartographie de l'aléa ne concerne que les zones d'affleurements identifiés et donc le zonage est « ponctuel » à l'échelle communale.

5.1. METHODE DE CARTOGRAPHIE DE L'ALEA CHUTE DE BLOCS

La cartographie de l'aléa chute de blocs nécessite de définir les volumes susceptibles d'atteindre les enjeux. Ces volumes peuvent être issus de plusieurs types de scénarios : départ de volume unitaire se propageant vers l'enjeu, départ d'un volume important se fragmentant lors de sa chute et produisant des volumes plus faibles se propageant vers l'enjeu ou écroulements en masse avec propagation spécifique. La méthode valorisée dans le cadre du présent programme est issue des résultats à paraître d'un groupe de travail sur l'évaluation de l'« aléa rocheux » dans le cadre d'un PPRn (MEZAP¹).

Pour l'aléa de chute de blocs, **le scénario de référence est caractérisé par le volume du plus gros bloc susceptible, sur la période de référence de 100 ans, de se propager jusqu'aux enjeux**. Cet aléa peut être reproductible ou non. Ce scénario de référence peut correspondre soit au plus gros événement historique connu, soit être supérieur soit inférieur à celui-ci. Si aucun événement historique n'est connu, une analyse spécifique est à mener. La détermination d'une période de retour centennale pour l'aléa rocheux n'est pas utilisable contrairement aux crues qui sont basées sur les chroniques historiques.

Le prestataire ou l'expert, après examen des zones de départ, examen des zones de dépôt, référence à des contextes similaires (géologie, topographie), témoignages, synthèse historique, propose des **zones homogènes** de départ, chacune étant caractérisée par un volume unitaire de bloc (volume après fragmentation) susceptible de se propager dans la pente jusqu'aux enjeux. Un scénario de référence est retenu par zone homogène.

Pour cette étude, les blocs instables en nombre limité présentant ponctuellement un volume significativement plus important par rapport au scénario de référence sur une zone homogène ont été cartographiés et classés dans une catégorie à part ci-après nommé « blocs remarquables ». Un aléa spécifique a été déterminé pour ces blocs en parallèle de l'aléa du scénario de référence. Cette distinction permet une meilleure résolution de la cartographie de l'aléa et permet d'éviter que le scénario de référence, caractérisé par le volume du plus gros bloc susceptible de se propager, soit contraint par un nombre limité d'éléments rocheux détonnant par rapport aux caractéristiques de l'affleurement.

L'hypothèse d'un scénario de type phénomène de grande ampleur induisant un mélange turbulent (prédominance des phénomènes d'interactions entre blocs lors de leurs chutes et propagations) sur la période de référence 100 ans est à préciser.

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa de référence est de type expert. Cette analyse est basée sur des observations in-situ (constats réalisés sur le terrain) et en fonction des documents d'archives, le tout en prenant soin de compiler les données événementielles servant de référence à l'analyse de propagation des blocs en versant.

¹ MEZAP : groupe de travail réuni sous l'autorité du MEDDE pour la détermination d'une METHodologie de Zonage de l'Aléa chute de Pierres, piloté par IRSTEA

Pour cette étude, **la cartographie de l'aléa a été réalisée à l'échelle 1/5 000^{ème}**. L'emplacement des zones de départ et les délimitations des zones d'aléas ont une précision de 5 mètres.

Cette cartographie permettra ensuite de cibler et hiérarchiser des secteurs à risque. Des parades seront proposées pour les zones présentant des enjeux.

5.1.1. Reconnaissance des zones de départ

La cartographie de l'aléa chute de blocs nécessite de recenser et de cartographier les zones de départ potentiel sur la commune de Hombourg-Haut.

Cette cartographie s'effectue par une investigation et un relevé des zones de départ lors de reconnaissance effectuée sur le terrain. Cependant, un inventaire préliminaire des zones de départ potentiel (corniches et barres rocheuses) est réalisé sur l'analyse couplée du Modèle Numérique de terrain (MNT) et des orthophotographies couvrant le secteur de la commune de Hombourg-Haut. Cette analyse s'est notamment basée sur un modèle permettant de définir la valeur d'un seuil de pente caractéristique de la présence potentielle de corniches et de barres rocheuses (rapport BRGM RP-65423-FR). Ce modèle est fonction de la résolution du MNT (avec RES résolution du MNT).

$$\alpha = 55^\circ . RES^{-0.075}$$

Cette cartographie préliminaire permet de guider et d'orienter la recherche et la caractérisation de zones de départ lors de la reconnaissance de terrain.

Au regard des nombreux affleurements inférieurs à 3 m de hauteur présent sur la commune de Hombourg-Haut, cette étude ne garantit pas l'inventaire exhaustif des affleurements dont la hauteur est inférieure ou égale à 3m. De même, cette étude ne garantit pas un inventaire exhaustif des zones de départ situées sur des propriétés privées et/ou masquées par des bâtiments depuis les accès publics. Si une zone de départ dans ces contextes est pressentie par l'analyse préliminaire ou est observée lors de la reconnaissance terrain, une demande d'accès à la propriété est effectuée. Cependant, l'accès à ces zones de départ est conditionné par la présence du locataire/propriétaire lors de la reconnaissance terrain et de son autorisation d'accès.

La problématique de remobilisation éventuelle des blocs unitaires partiellement enveloppés dans de la terre et/ou qui seraient posés à la surface de pentes raides n'a pas été prise en compte pour la cartographie des zones de départ potentiel (sauf cas exceptionnel) et donc pour l'aléa chute de blocs.

Pour cette étude, les zones de départ le long de la voie SNCF et le long de l'autoroute A4 n'ont pas été cartographiées et ne sont donc pas prises en compte pour la cartographie de l'aléa chute de blocs, car la responsabilité incombe au gestionnaire du réseau.

5.1.2. Aléa de chute de blocs

La cartographie de l'aléa de référence résulte de la cartographie du scénario de référence (propagation d'un volume) sur chaque zone homogène et nécessite de caractériser les trois paramètres suivant :

- l'indice d'intensité des zones de départ (Quoi ?) ;
- l'indice d'activité des zones de départ (Quand ?) ;
- la probabilité d'atteinte (Où ?).

Ces indices seront déterminés sur la base de relevés géotechniques visuels des corniches (fracturation, altération, etc.). Ces données seront uniquement qualitatives, aucun essai de laboratoire ou in situ n'est prévu dans le cadre de ce projet.

Le croisement de l'**indice d'activité** des zones de départ et de la **probabilité d'atteinte** permet de déterminer la **probabilité d'occurrence**. La qualification de la probabilité d'occurrence est définie à partir de la matrice de l'illustration 7 en croisant la probabilité d'atteinte en un point et la probabilité de départ qualifiée par l'indice d'activité.

		<i>Probabilité d'atteinte</i>			
		Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
<i>Indice d'activité</i>	Faible	Faible	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Moyen	Modérée	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Fort	Modérée	Elevée	Elevée	Très Elevée

Illustration 7 : Matrice de probabilité d'occurrence du phénomène de référence (source: document MEZAP)

Pour cette étude, la probabilité d'atteinte a été évaluée pour trois classes, **Faible, Moyenne et Forte**, la probabilité d'atteinte « Très Forte » n'a pas été retenue.

Le niveau d'aléa chutes de blocs a ensuite été déterminé en croisant la **probabilité d'occurrence** et l'**indice d'intensité** du phénomène de référence considéré en utilisant la matrice de l'illustration 8.

		Intensité			
		Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible	Modéré	Elevé	Elevé
	Modérée	Faible	Modéré	Elevé	Elevé
	Elevée	Modéré	Elevé	Elevé	Très élevé
	Très élevée	Elevé	Elevé	Très élevé	Très élevé

Illustration 8 : Matrice d'évaluation de l'aléa (source : modifié d'après document MEZAP)

Pour cette étude, 4 classes d'aléa ont été déterminés : Faible, Modéré, Élevé, Très Elevé. **Il est à noter que des dommages aux personnes peuvent être engagés pour les 4 classes d'aléa.** En effet les classes de l'indice d'intensité (basées sur le volume unitaire ou l'énergie par exemple) sont définies uniquement en fonction des potentiels de dommages au bâtiment (Illustration 10). L'estimation de l'aléa de référence suit les recommandations de la méthode MEZAP.

La cartographie de l'aléa de référence **ne tient pas compte du rôle de potentiel obstacle des éléments du milieu naturel (tel que les arbres, arbustes....) ainsi des ouvrages anthropiques qu'ils aient un rôle de parade ou non.**

5.1.3. Indice d'activité

L'indice d'activité correspond à la fréquence à laquelle un volume de roche se met en mouvement. Cet indice correspond à la probabilité de départ des blocs en falaise. C'est un indice difficile à déterminer. En plus de l'expertise terrain (traces de départ visibles, nombre des blocs observés dans la pente...), l'évaluation de ce paramètre peut également être appréciée par les observations faites dans des contextes similaires (géologie, topographie...) ou s'appuyer sur des observations historiques lorsqu'elles existent. Trois classes d'indice d'activité ont été définies pour cette étude en se basant sur les recommandations du MEZAP (Illustration 9).

Indice d'activité par zone d'homogène	Description
Faible	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 100 ans
Moyen	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 10 ans
Fort	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les ans

Illustration 9 : Définition des classes d'indice d'activité (source : document MEZAP)

Les zones de départ où l'indice d'activité est supérieur à **la période de référence de 100 ans**, c'est-à-dire moins d'un bloc tous les 100 ans, sont considérées comme présentant **un aléa nul sur cette période référence**.

5.1.4. Indice d'intensité

L'indice d'intensité est défini en fonction de l'endommagement potentiel engendré par une atteinte à des enjeux (ici un bâtiment d'habitation « classique »). Pour l'aléa chute de blocs, il est fonction de la forme des blocs, du volume des blocs, de la vitesse d'impact de l'angle d'impact.... Il n'existe cependant pas de méthodes scientifiques simples pour la détermination des paramètres de l'impact d'un bloc et l'estimation des dommages à une structure. C'est pourquoi, le MEZAP propose de définir l'intensité par le volume du bloc du scénario de référence (voir Illustration 10).

Indices d'intensité	Description	Potentiels de dommages
Faible	Le volume unitaire pouvant se propager est inférieur à 0,25 m ³	Pas de dommage au gros œuvre, peu ou pas de dommages aux éléments de façade.
Modérée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 0,25 m ³ mais inférieur à 1 m ³	Dommage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.
Elevée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 1 m ³ mais inférieur à 10m ³	Dommage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
Très élevée	Le volume unitaire pouvant se propager dépasse 10 m ³	Destruction du gros œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle

Illustration 10 : Définition des classes d'intensité selon les volumes (source : document Mezap)

Cependant cette approche est réductrice et peut entraîner la sur-estimation ou sous-estimation de l'indice d'intensité d'une zone homogène. **En effet cette approche néglige l'énergie qui peut être libérée par les blocs auquel le potentiel d'endommagement est dépendant.** Par exemple, dans le contexte d'une corniche, l'énergie potentielle d'un bloc de 1m³ à une hauteur de 1m est équivalente à celle d'un bloc de 0,1 m³ à 10m de haut. Cependant, selon les recommandations du MEZAP, la zone de départ avec le bloc de 1 m³ est classée en indice d'Intensité Elevé alors que la zone avec le bloc de 0,1m³ est classée en Faible alors que leur énergie potentielle est identique.

Afin de préciser l'estimation de l'indice d'intensité, les **classes d'indice d'intensité ont donc été déterminées selon l'énergie** (au lieu du volume) en fonction des potentiels de dommages au bâti. Les 4 classes retenues sont présentées en Illustration 11. Elles sont sensiblement équivalentes aux classes du MEZAP au regard des potentiels de dommages au bâti. **Il est important de noter que même pour une classe d'intensité Faible, des dommages corporels pouvant entraîner le décès ne peuvent être exclus.**

	Energie cinétique de translation	Vitesse maximale (m/s) en fonction du volume unitaire de propagation (masse volumique de 2,5)			Potentiel de destruction	Capacité d'absorption énergétique d'ouvrage de retenue
		0,25m ³	1m ³	10m ³		
Faible	De 0 à 10kJ	5,77	2,89	0,91	Destruction de parois en éléments de bois	Rondins en sapin avec supports en acier
	De 10 à 30kJ	10,00	5,00	1,58	Destruction de parois en rondins de sapin	Bois de chêne avec supports acier. Treillages métalliques à simple torsion
Elevé modéré	De 30 à 100kJ	18,26	9,13	2,89	Destruction de parois en béton armé épaisseur de 0,2 à 0,3m	Filets simples en câbles acier
	De 100 à 300kJ	31,62	15,81	5,00	Destruction de parois en béton armé épaisseur de 0,4 à 0,5m	Filets perfectionnés en câbles acier
Très élevé	De 300 à 1000kJ	57,74	28,87	9,13	Destruction de parois en béton armé épaisseur de plus de 0,5m	Filets en anneaux d'acier avec éléments de freinage
	De 1000 à 3000kJ	100,00	50,00	15,81		Filets spéciaux en anneaux d'acier
	Au-delà de 3000kJ	> 100,00	>50,00	>15,81		Digue en sol meuble

Illustration 11 : Définition des classes d'intensité selon l'énergie (source : modifié d'après document Mezap)

Compte-tenu qu'il n'existe pas de méthodes scientifiques simples pour la détermination des paramètres de l'impact d'un bloc et l'estimation des dommages à une structure et qu'il existe par ailleurs très peu de retour d'expérience sur des dommages observés, un choix méthodologique simplifié a été sélectionné. Les zones de départs ont été classées selon deux configurations morphologiques : (1) **zone de départ type corniche avec replat marqué à la base** et (2) **zone de départ avec zone de propagation significative dans un versant en pente.**

Dans le premier cas, l'énergie potentielle a été calculée selon la formule de l'énergie potentielle de pesanteur :

$$E = mgh$$

Avec E : énergie en joule, m : masse du bloc en kilogramme, g : accélération de la pesanteur en $m.s^{-2}$ et h : hauteur du bloc en mètre

Dans le deuxième cas, la méthode de la ligne d'énergie a été utilisée pour calculer l'énergie cinétique. L'énergie a été estimée localement sur la base de profils topographiques ponctuels du type de l'illustration 12. L'énergie d'un bloc de masse m est estimée en utilisant la formule suivante (Jaboyedoff 2003 et Jaboyedoff et al., 2011) :

$$E = mf_v^2 g \Delta h$$

Avec E : énergie en joule, m : masse du bloc en kilogramme, g : accélération de la pesanteur en $m.s^{-2}$, Δh : hauteur en mètre de la ligne d'énergie par rapport au sol (Illustration 12) et f_v^2 : facteur de correction de la vitesse correspondant au ratio de l'énergie transrationnelle avec l'énergie cinétique totale $f_v^2 = \frac{E_{tran}}{E_{ciné}}$

Pour cette étude l'énergie rotationnelle a été négligée et une valeur de 1 pour f_v^2 a été utilisée. Une densité de 2.7 a été utilisée pour estimer la masse des blocs d'après les volumes estimés sur le terrain.

Pour chaque zone de départ, l'énergie maximum par classe de probabilité d'atteinte a été retenue selon la ligne d'énergie présentant l'angle le plus faible.

Il est à noter que l'estimation de l'énergie pour cette étude se base sur une approche simplifiée empirique et que de nombreux paramètres sont négligés (rebond, énergie rotationnelle, géométrie des blocs...). L'énergie ainsi estimée n'est pas précise mais constitue un ordre de grandeur qui permet de qualifier l'indice d'intensité d'une zone de départ dans une des 4 classes définies en Illustration 11.

5.1.5. Probabilité d'atteinte

La probabilité d'atteinte caractérise **la propagation des éléments rocheux en versant**. Le volume rocheux du scénario peut se propager plus ou moins loin en fonction des caractéristiques du versant étudié (pente, présence d'obstacles, nature du sol...).

La détermination de la probabilité d'atteinte est basée sur les retours d'expérience d'événements passés et sur des modélisations plus ou moins complexes, validées ou « corrigées » par la connaissance terrain. Selon les cas on définit les chemins probables des trajectoires de chutes de blocs (calculs déterministes en 2D ou 3D de trajectographie intégrant les volumes et forme des éléments rocheux, la nature des sols soumis à impacts, les vitesses de propagation ...) ou des enveloppes globales résultant d'analyses empiriques. Le résultat permet de définir des probabilités d'atteinte de blocs en tout point du territoire.

Pour cette étude, l'évaluation de la propagation de chute de blocs en versant est basée sur la **méthode empirique dite de « la ligne d'énergie »**.

Pour les zones de départ avec zone de propagation significative dans un versant en pente, la définition d'enveloppes de propagation a été réalisée en utilisant le logiciel CONEFALL de Quanterra (<https://quanterra.ch/portfolio-items/conefall>). La détermination de la probabilité d'atteinte est alors conditionnée par la résolution du MNT utilisé. Pour cette étude, deux à trois classes de probabilités d'atteintes ont été définies selon la spécificité de la zone de propagation: Elevé, Modéré et Faible. La délimitation des enveloppes de propagation s'appuie également sur l'application de la méthode de la ligne d'énergie sur des profils topographiques ponctuels du type de l'illustration 12.

Pour les zones de départ de type corniche avec replat marqué à la base, la résolution de 5 mètres du MNT ne permet pas d'utiliser le logiciel CONEFALL ; deux classes de probabilité d'atteinte ont été définies : Elevé pour la zone inférieure à 1 fois la hauteur du scénario de référence et modéré pour la zone localisé entre 1 fois et 1.5 fois la hauteur du scénario de référence, respectivement équivalentes à un angle limite β de 45° et 33.7° de la méthode de la ligne d'énergie.

Il est important de préciser que la végétation (forêt, arbuste...) et que les ouvrages existants (bâtiment, mur, parade antichute de blocs...) ne sont pas considérés dans l'évaluation de l'enveloppe de propagation et de l'estimation de la probabilité d'atteinte. Ces éléments sont considérés comme transparents à la propagation des évènements de chute de blocs.

5.1.6. Méthode de la « ligne d'énergie »

Le modèle de la ligne d'énergie repose sur un principe simple et trivial: un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide. Cette méthode empirique qui trouve son fondement dans les phénomènes de grandes ampleurs montre des résultats probants dans le cas de chute de blocs.

Ainsi, si la pente est supérieure à un angle limite β , il accélère. Si elle est inférieure à β , il ralentit. En partant de ce constat, un bloc peut aller d'une zone de départ A jusqu'à B, point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant de la zone de départ et formant un angle β avec l'horizontal (Illustration 12). Cette ligne est appelée la ligne d'énergie et l'angle β , l'angle de la ligne d'énergie.

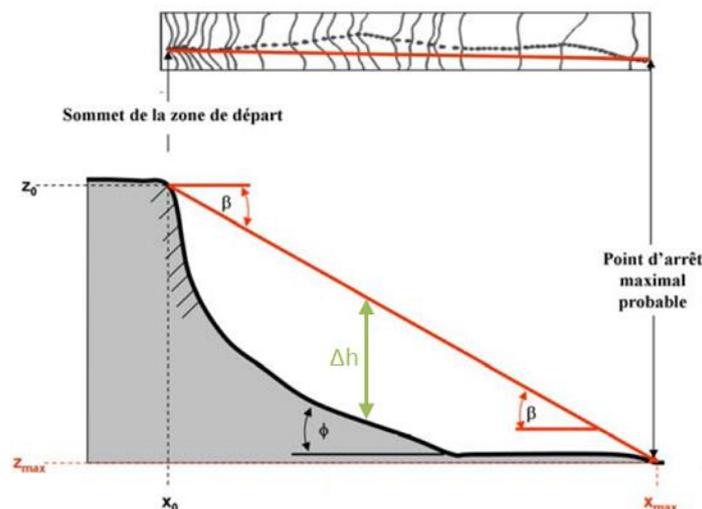


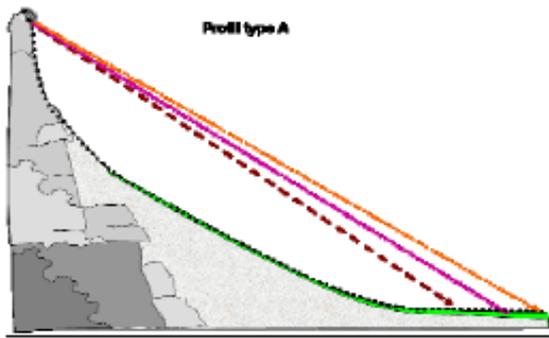
Illustration 12 : Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie

Cette méthode a donné naissance à la méthode dite des "cônes", déterminés pour cette étude avec le logiciel CONEFALL. La méthode des cônes permet de cartographier l'extension probable de l'aléa chute de blocs par le choix de valeurs d'angle variables en fonction de singularités locales (topographie, répartition des blocs dans la zone de propagation). L'observation et la mesure d'angles sur plusieurs phénomènes permettent de présenter des plages statistiques de valeurs permettant une quantification de la probabilité d'atteinte (Illustration 13).

Probabilité d'atteinte d'un point	Intervalle d'angles de la méthode du cône
Très fort	35° et plus
Fort	33°-35°
Moyen	30°-33°
Faible	26°-30°

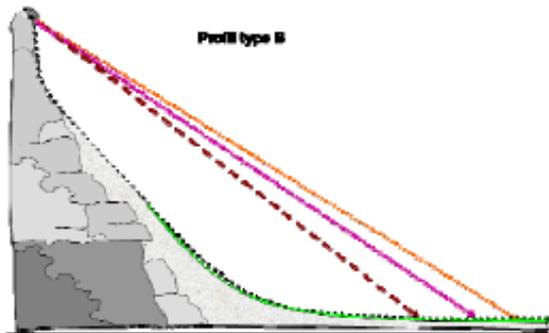
Illustration 13 : Plages de valeurs indicatives des angles géométriques pour la méthode des cônes issues de l'analyse statistique des valeurs publiées à ce jour (source : document MEZAP)

Le choix de la valeur d'angle au sein de l'intervalle exposé est justifié en fonction de la connaissance du site et des retours d'expérience sur des sites équivalents. Le choix de la valeur d'angle doit être notamment modulé par les caractéristiques topographiques de la zone de propagation (Illustration 14). Les simulations sont opérées à l'aide du logiciel CONEFALL qui permet de définir des enveloppes de propagation.



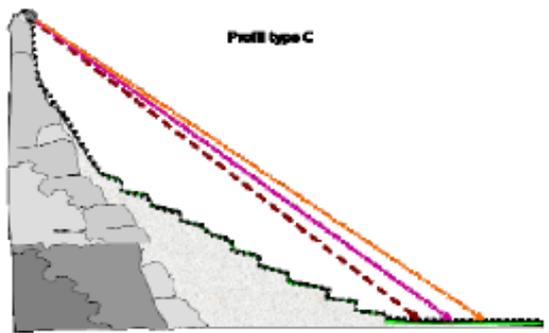
A) Description : Profil de pente régulière en pied de zone de départ.

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs régulières selon des valeurs d'angle usuelles (**A titre indicatif :** Fort de l'ordre de 34°, Moyen de l'ordre de 32°, Faible de l'ordre de 30°)



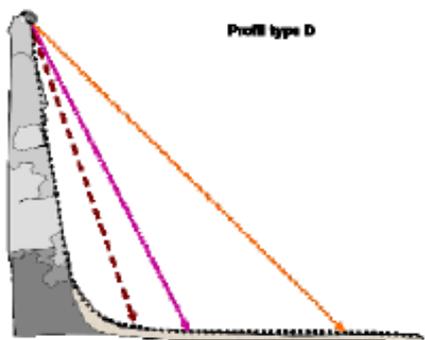
B) Description : Profil de pente régulière en pied de zone de départ avec replat marqué en fin de trajectoire.

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs resserrée, valeurs d'angle plus fortes (**A titre indicatif :** Fort de l'ordre de 34-38°, Moyen de l'ordre de 33-37°, Faible de l'ordre de 31-36°)



C) Description : Profil de pente irrégulière en pied de zone de départ (terrasses agricoles...).

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs régulières selon des valeurs fortes (**A titre indicatif :** Fort de l'ordre de 34-38°, Moyen de l'ordre de 32-36°, Faible de l'ordre de 30-34°)



D) Description : Falaise et replat marqué

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs très resserrée valeurs d'angle très fortes (la méthode des cônes ne s'applique dans ce cas qu'au sens d'une méthode géométrique permettant par un rapport de distance d'apprécier les distances de propagation. A titre indicatif il n'est pas impossible de retenir des valeurs supérieures à 40°)

Illustration 14 : Intervalles d'angles de la méthode des cônes (données à titre indicatif) en fonctions des principaux types de profils de pente (source : document MEZAP)

5.2. CIBLAGE DES SECTEURS A RISQUE ET PROPOSITIONS DE PARADES

Les secteurs à enjeux situés dans les zones de propagation sont hiérarchisés en fonction du niveau de risque (croisement entre le niveau d'aléa et la vulnérabilité des enjeux). Une proposition de parades pour réduire voire éliminer le risque est ensuite fournie pour ces secteurs. Le ciblage des secteurs à enjeux a été réalisé en croisant les zones de propagation avec les couches « bâtis » et « infrastructures routières » de la BD topo® de l'IGN. De plus, une liste des établissements qui reçoivent du public a été transmise par la commune de Hombourg-Haut en Octobre 2016.

Les parades existantes n'ont pas été prises en compte dans la démarche ciblage des secteurs à risque.

5.2.1. Evaluation de la vulnérabilité des enjeux

La vulnérabilité d'un enjeu caractérise sa capacité de résistance à un impact d'intensité donnée (type de maçonnerie, ouverture...). L'évaluation de la vulnérabilité intègre également des notions fonctionnelles incluant par exemple la fréquence d'exposition de l'enjeu face à l'aléa.

Dans le cadre de cette étude, l'évaluation de la vulnérabilité des enjeux a été évaluée uniquement sur la base fonctionnelle des bâtiments et des voies de communication.

Les bâtiments ont été classés en trois catégories (Illustration 15), de la plus vulnérable à la moins vulnérable (respectivement élevée, moyenne, faible) : bâtiments qui reçoivent du public (ERP), bâtiments résidentiels et bâtiments indifférenciés (dont bâtiments commerciaux et industriels). Les terrains de sport et les jardins (publique ou privé) ont été exclus de l'analyse.

Les voies de communications ont été classées en trois catégories (Illustration 15), de la plus vulnérable à la moins vulnérable (respectivement élevée, moyenne, faible) : route primaire, route secondaire et chemin. Les autoroutes et les voies de chemin de fer ont été exclues de l'analyse car la responsabilité incombe au gestionnaire du réseau.

5.2.2. Evaluation et hiérarchisation du risque

La hiérarchisation du risque est évaluée en croisant l'aléa avec la vulnérabilité des enjeux afin d'établir des priorités d'intervention pour la mise en place des parades. Ce croisement permet de mettre en évidence les principaux secteurs à risque. Pour chaque zone de propagation identifiée, le nombre d'éléments de chaque catégorie a été dénombré et croisé avec le niveau d'aléa. La matrice de l'illustration 15 a été utilisée pour la hiérarchisation des secteurs à risque pour la mise en place des parades.

La hiérarchisation des secteurs à risque a été évaluée indépendamment pour les bâtiments et les voies de communication.

		Vulnérabilité des enjeux		
		Faible	Moyenne	Elevée
		Bâtiment autre	Bâtiment résidentiel	Bâtiment ERP
Bâtiment				
Voies de communication		Chemin	Route secondaire	Route primaire
Aléa	Faible	Priorité Faible	Priorité Faible	Priorité Moyenne
	Moyen	Priorité Faible	Priorité Moyenne	Priorité Elevée
	Elevé	Priorité Moyenne	Priorité Elevée	Priorité Très Elevée
	Très Elevé	Priorité Elevée	Priorité Très Elevée	Priorité Très Elevée

Illustration 15 : Matrice pour l'établissement des zones de priorité pour la mise en place des parades

5.2.3. Proposition de parades

Une proposition de parades est donnée pour toutes les zones de départ où un enjeu est concerné par un aléa chute de blocs. La hiérarchisation des priorités de mise en place des solutions de parade a pour seul objectif de fournir une aide à la décision aux administrateurs.

Dans les zones à enjeux, des propositions de parades sont données à titre informatif. Ces propositions, dans tous les cas, nécessiteront ultérieurement d'être validées et dimensionnées par un bureau d'étude compétent. De plus, les choix définitifs dépendent de rapports coûts/bénéfices ne faisant pas l'objet de cette étude.

Les types de parades peuvent être classés en deux principales catégories :

- **Parades dites « actives » : action sur le départ de l'objet instable** (Illustration 16)
 - augmenter les forces résistantes (ancrage, contrefort, mur, filet, grillage plaqué) ;
 - diminuer les contraintes motrices/aggravantes (drainage, limitation de l'érosion) ;
 - éliminer l'objet instable (purge, reprofilage...).

Parades actives (s'oppose à la manifestation du phénomène)		Capacité
Purge	purges douces (manuelles)	Purges d'éléments du dm ³ à qqs m ³
	purges à l'explosif (exceptionnelle)	
Reprofilage et abattage		Variable, en fonction du volume rocheux instable à abattre
soutènement	contrefort	Dépend du volume rocheux instable
	buton en béton	
	buton métallique	
	pilier	
Ancrage	passif (barre scellée sur toute la longueur dans le trou de forage, plaque d'appui et écrou de serrage à l'extrémité libre), exemple : cloutage	Type d'ancrage (actif ou passif) déterminé par les essais de convenance. Masse de blocs retenus en fonction de la profondeur et du type d'ancrage
	actif (barres ou câbles scellés en fond de trou, mise en tension, réglage de la surface d'appui), exemple : tirant	
Béton projeté		technique de protection et non de soutien
Filets et grillages plaqués		Aucune capacité à supporter les éboulements de masse
végétalisation	Peut dans certain cas destabiliser la zone de départ et provoquer le phénomène	
Drainage	de surface ou profond	

Illustration 16 : Tableau synthétique de parades actives

- **Parades dites « passives » : action sur la propagation de l'objet instable** (Illustration 17)
 - arrêter le mouvement (écran, merlon, fosse) ;
 - guider le mouvement (grillages, filets pendus, casquette) ;
 - déplacer les enjeux (Déviation, expropriation...).

Parades passives (une fois le phénomène déclenché)			Capacité	
Merlon			jusqu'à 100 000 kJ	
BARRIERE = ECRAN	FIXE / STATIQUE	écran à structure rigide	échelle de perroquet	100 kJ pour les structures légères, jusqu'à 100 000kJ pour les écrans très massifs
			blocs bétons liaisonnés empilés	
			gabions	
			palplanches	
		barrière fixe (ou écran statique) de grillage ou de filet	grillage double nappe, double torsion	10 kJ
			grillage simple nappe, double torsion	
	dyna	écran déformable (dynamique) de filet	filets en cable métallique	qqs 100 kJ (classe 1 à 3 : norme NF P 95-308)
			filets métalliques type ASM	qqs 1000 kJ
		grillage ou filet pendu	grillage simple simple ou double torsion	Chute fréquente d'éléments < à quelque 100 dm ³ . Peut être associé avec un filet.
			filets métalliques type ASM	Pour des blocs entre quelque 0,1 et 1 m ³
Fosse de réception		Variable selon les dimensions de l'ouvrage, elles mêmes dépendantes de la configuration topographique du site d'implantation (pente, hauteur du talus)		
Déviateur latéral		N'arrête pas les blocs mais les détourne des enjeux à protéger		

Illustration 17 : Tableau synthétique de parades passives

5.3. RESULTATS

Pour rappel, la **cartographie des zones de départ et la cartographie de l'aléa a été réalisée à l'échelle 1/5 000^{ème}**. L'emplacement des zones de départ et les délimitations des zones d'aléa ont une précision de 5 mètres.

5.3.1. Reconnaissance des zones de départ

Une analyse du modèle numérique de terrain couplée à des campagnes de terrains a permis de cartographier 73 zones homogènes de départ potentiel sur la commune de Hombourg-Haut (Illustration 18).

Il n'est pas identifié de zone de rupture potentielle en très grande masse entraînant un comportement de propagation de type « écroulement » sur la commune de Hombourg-Haut.

Quatorze zones homogènes de départ présentent un indice d'activité nul, c'est-à-dire que l'activité est de l'ordre d'un bloc du scénario de référence supérieur à la période de référence de 100 ans. Ces zones de départ présentent par conséquent un aléa nul (Annexe 1).

Quatre zones de départ, soit identifiées avec l'analyse préliminaire du MNT, soit observées sur le terrain, n'ont pas pu être cartographiées lors des visites de terrain, en raison de problèmes d'accès (Z9, Z15, Z12, Z70).

Exceptionnellement, bien que les zones de départs Z27 et Z29 ne constituent pas des affleurements rocheux d'origine naturelle (mur délabré), les aléas associés à ces zones ont été caractérisés dans cette étude à titre indicatif compte tenu des enjeux identifiés lors de la campagne de terrain.

Cinquante-cinq blocs remarquables ont été cartographiés sur la commune de Hombourg-Haut avec des volumes unitaires allant de 0.1 à 35 m³ (Illustration 19).

Pour rappel, cette étude ne garantit pas l'inventaire exhaustif des affleurements dont la hauteur est inférieure ou égale à 3 m.

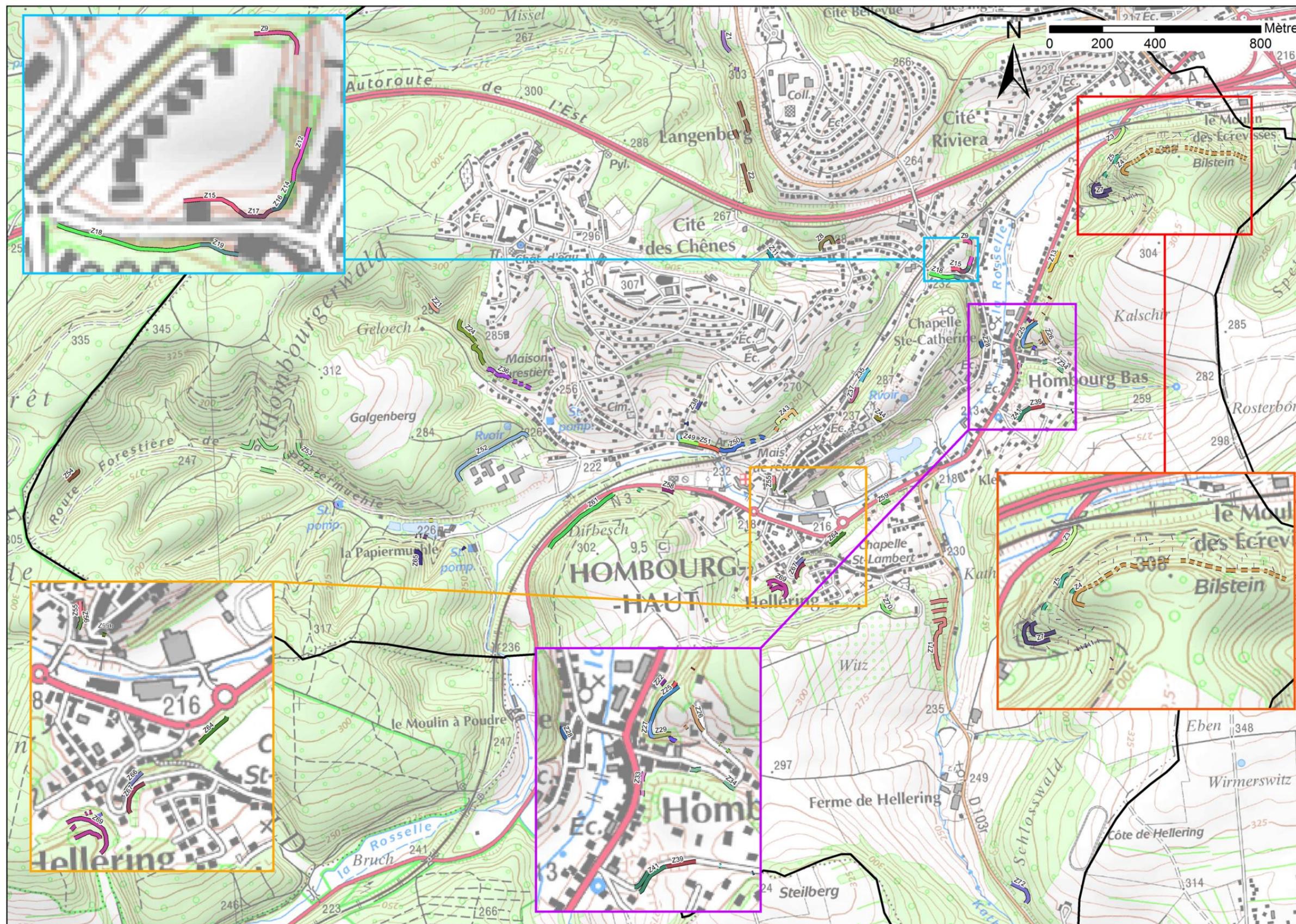


Illustration 18 : Cartographie des zones de départ

5.3.2. Indice d'activité et indice d'intensité

Pour chaque zone homogène, un indice d'activité et un indice d'intensité ont été caractérisés (Annexe 1). Pour chaque bloc remarquable, un indice d'activité et un indice d'intensité ont également été caractérisés (Annexe 2).

5.3.3. Probabilité d'atteinte

La majorité des zones de départ (environ 80 %) sont de type corniche avec replat marqué à la base où deux classes de probabilité d'atteinte ont été définies : Elevé (1 fois la hauteur) et modéré (1.5 fois la hauteur). Treize zones de départ présentent une zone de propagation significative dans un versant en pente (Illustration 20). Pour ces zones, la définition d'enveloppes de propagation a été réalisée en utilisant la méthode de la ligne d'énergie. La probabilité d'atteinte pour les blocs remarquables présents sur ces zones homogènes a également été évaluée avec la méthode de la ligne d'énergie.

Les angles utilisés ont été définis sur la base :

- des intervalles en fonctions des principaux types de profils de pente (Illustration 14) ;
- des observations de terrain (répartition de blocs éboulés, caractéristiques topographiques de la zone de propagation ...) ;
- de l'expérience de l'ingénieur de terrain (dire « d'expert »).

Les angles utilisés sont présentés en Illustration 20.

Code zone	Angle: Faible/Modéré/Elevé
Z4	29/32/35
Z6	29/32/35
Z7	Sud: 26/30/33 - Nord: 29/32/35
Z24	26/30/33
Z25	30/33/35
Z27	31/34/36
Z29	30/33/35
Z36	26/30/33
Z50	30/33/35
Z53	26/30/33
Z54	26/30/33
Z61	30/33/35
Z69	29/32/35

Illustration 20 : Zones de départ dont la probabilité d'atteinte est basée sur la méthode de la ligne d'énergie avec angles utilisés pour caractériser les classes faible, modérée et élevée.

5.3.4. Cartographie de l'aléa

Le croisement des trois indices (intensité, activité et probabilité d'atteinte) permet de réaliser la cartographie de l'aléa chutes de blocs à l'échelle de la commune de Hombourg-Haut.

Deux cartes d'aléa chutes de blocs ont été produites :

- une carte d'aléa totale en prenant en compte les zones de départ homogènes et les blocs remarquables (Annexe 3) ;
- une carte d'aléa résiduel en prenant en compte uniquement les zones de départ homogènes et en considérant que les blocs remarquables identifiés ont été traités avec les parades adéquates (Annexe 4).

Vingt-deux blocs remarquables, bien que présentant un volume ou un indice d'intensité plus important que les zones de départ homogènes où ils se trouvent, ne dégradent pas l'aléa chutes de blocs (Annexe 2). Ils ont cependant été inventoriés car ils présentent généralement une énergie plus importante que celle de la zone homogène où ils se situent bien qu'étant dans la même classe d'intensité.

5.3.5. Ciblage des secteurs à risque et propositions de parades

Les enjeux de type « Bâtiment » sont impactés par 19 zones de départ (Illustration 21 et Illustration 28) alors que les enjeux « voie de communication » sont impactés par 34 zones de départ (Illustration 29 et Illustration 36). Dix zones de départ impactent les deux types d'enjeux (Z17, Z19, Z25, Z27, Z28, Z29, Z34, Z48, Z67 et Z7). Les propositions de parades sont formulées en Annexe 2 et 3, respectivement pour chaque zone de départ et pour chaque bloc remarquable.

Un même secteur pouvant être affecté par plusieurs zones de départ, le ciblage des secteurs à risque regroupent l'ensemble des zones de départ qui affectent un même lieu. Les 6 secteurs présentant les priorités les plus élevées pour la catégorie « Bâtiment » et les 6 secteurs présentant les priorités les plus élevées pour la catégorie « voies de communication » ont été zoomés sur l'illustration 28 et l'illustration 36 et sont détaillés ci-dessous.

L'estimation du nombre de bâtiments impactés par un aléa est approximative et est basée sur le découpage du cadastre ainsi que sur la surface des bâtiments ainsi découpés (par exemple une grande surface peut être scindée en plusieurs bâtiments). La définition des emprises des bâtiments différant légèrement entre la BD topo® de l'IGN et le cadastre, cette estimation s'est basée uniquement sur l'emprise du cadastre.

a) **Bâtiment**

Zone de départ/Aléa	Bâtiment ERP				Bâtiment résidentiel				Bâtiment autre				Priorité				Priorité	Secteur à risques
	TE	E	M	F	TE	E	M	F	TE	E	M	F	TE	E	M	F		
Z19					1								1				1	B1 - Illustration 28
Z27						9				10				9	10		2	B2 - Illustration 28
Z36						2		1						2		1	3	B3 - Illustration 28
Z16									2					2			4	B4 - Illustration 28
Z59						1					1			1		1	5	B5 - Illustration 28
Z56			1											1			6	B6 - Illustration 28
Z66							1			2	1				3	1	7	rapport BRGM RP-61506-FR
Z25							2					2			2	2	8	B2 - Illustration 28
Z29							2				1				2	1	9	B2 - Illustration 28
Z64							2								2		10	
Z69							1				2	1			1	3	11	
Z14							1								1		12	
Z48							1								1		13	
Z7										1					1		14	
Z28										1					1		15	
Z17											1					1	16	
Z67											1					1	17	
Z11											1					1	18	
Z34											1					1	19	
Somme	0	0	1	0	1	12	10	1	2	14	8	3	1	15	24	10		

Illustration 21 : Hiérarchisation des zones de départ pour les bâtiments
(TE : Très Elevé, E : Elevé, M : Modéré et F : Faible)

Une partie de la rue du Rocher ainsi qu'un bâtiment résidentiel (**Secteur B1/V6**, Illustration 22 et Illustration 28) présentent un aléa élevé et très élevé respectivement. Ce secteur présente une priorité très élevée (bâtiments) et élevé (voies de communication). Cet aléa est dû à deux blocs B18 et B21 qui dégradent la classe d'aléa de la zone de départ Z19 qui varierait de modéré à faible si des parades adéquates étaient mises en place pour ces deux blocs.

Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade			
Z19	976195,4	6899064,6	1/10 ans	Faible	Grillage plaqué			



Code bloc	X Lambert 93	Y Lambert 93	Volume [m3]	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade	Dégradation Classe Aléa
B21	976204,3	6899062,6	1,5	1/10 ans	Très Elevé	Soutènement/Purge	Oui
B18	976190,2	6899067,2	10	1/10 ans	Très Elevé	Soutènement/Purge	Oui

Illustration 22 : Secteur B1 et secteur V6 - Photographie de la zone de départ Z19 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)

Dans le quartier de Hombourg-Bas (**Secteur B2/V5**, Illustration 23 et Illustration 28), à l'intersection de la route nationale D603 et de la rue du 28 Novembre, les zones de départ Z27, Z25 et Z29 affectent un ensemble important de bâtiments (bâtiments résidentiels : 9 en aléa élevé et 2 en aléa modéré, bâtiments « autre » type garage/abris : 12 en aléa élevé , 1 en aléa modéré et 2 en aléa faible) ainsi que la D603 qui est impactée par un aléa modéré. Plusieurs zones de départ ont été caractérisées pour ce secteur avec des indices d'intensité et des indices d'activité différents qui devront être pris en compte pour le dimensionnement des parades.



Illustration 23 : Secteur B2 et secteur V5 - Photographie de la zone de départ Z27 et résumé de l'annexe 2 (tableau orange)

La zone de départ Z36, situé au Nord de la rue de la Forêt (**Secteur B3**, Illustration 24 et Illustration 28), induit une classe d'aléa élevé et faible affectant respectivement 2 et 1 bâtiments résidentiels. L'aléa élevé est dû à deux blocs B35 et B37 qui dégradent la classe d'aléa de la zone de départ Z36 qui serait faible si des parades adéquates étaient mises en œuvre pour ces deux blocs.

Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade
Z36	974461,3	6898693,1	1/10 ans	Faible	Ecran

Code bloc	X Lambert 93	Y Lambert 93	Volume [m3]	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade	Dégradation Classe Aléa
B31	974414,0	6898718,7	1,5	1/100 ans	Modéré à Elevé	Surveillance → Soutènement/Ancrage	Oui
B32	974415,5	6898717,8	1,5	1/100 ans	Modéré à Elevé	Surveillance → Soutènement/Ancrage	Oui
B35	974456,3	6898692,9	5	1/100 ans	Elevé à très élevé	Surveillance → Soutènement/Ancrage	Oui
B36	974494,1	6898688,7	0,5	1/10 ans	Faible à modéré	Soutènement/Purge	Oui
B38	974522,6	6898667,6	0,2	1/10 ans	Faible	Purge	Non
B39	974562,9	6898651,3	1	1/100 ans	Modéré	Surveillance → Soutènement/Ancrage	Oui
B37	974501,7	6898678,0	3	1/100 ans	Elevé	Surveillance → Soutènement/Ancrage	Oui

Illustration 24 : Secteur B3 - Photographie de la zone de départ Z36 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)

Le long de la rue Rocher (**Secteur B4**, Illustration 25 et Illustration 28), deux bâtiments type garage sont affectés par un aléa très élevé (2 bâtiments en priorité élevée). La zone de départ Z16 présente de nombreux blocs remarquables qui ne dégradent cependant pas la classe d'aléa de la zone de départ. En effet, c'est l'ensemble de la zone de départ qu'il faut considérer. Les blocs les plus importants ont été identifiés à titre indicatif (B12, B13, B14, B15 et B16). Il est important de noter que cette zone de départ implique un aléa élevé très proche d'un bâtiment résidentiel (flanc Nord-Ouest) bien que celui-ci ne soit pas présent dans la zone de propagation.

Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade
Z16	976235,0	6899092,6	1/10 ans	Très Elevé	Ancrage/Soutènement/Purge + dévégétalisation + Surveillance



Code bloc	X Lambert 93	Y Lambert 93	Volume [m3]	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade	Dégradation Classe Aléa
B14	976234,1	6899091,6	3	1/10 ans à 1/100 ans	Très Elevé	Purge	Non
B15	976235,7	6899090,4	1,5	1/10 ans à 1/100 ans	Elevé	Soutènement/Purge	Non
B16	976234,8	6899089,7	1	1/10 ans à 1/100 ans	Modéré	Soutènement/Purge	Non
B13	976237,1	6899092,2	0,4	1/10 ans à 1/100 ans	Faible	Soutènement/Purge	Non
B12	976238,1	6899094,2	0,4	1/10 ans à 1/100 ans	Faible	Soutènement/Purge	Non

Illustration 25 : Secteur B4 - Photographie de la zone de départ Z16 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)

La façade Ouest d'un bâtiment résidentiel isolé est affectée d'un aléa élevé et un bâtiment type garage est affecté d'un aléa modéré dans le quartier de Hombourg-bas (**Secteur B5**, Illustration 26 et Illustration 28). L'aléa élevé est dû au bloc B50 qui dégrade la classe d'aléa de la zone de départ Z59 qui serait de modéré si une parade adéquate était mise en place pour ce bloc.

Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade
Z59	975922,6	6898212,7	1/10 ans	Faible	Grillage plaqué



Code bloc	X Lambert 93	Y Lambert 93	Volume [m3]	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade	Dégradation Classe Aléa
B50	975913,0	6898216,5	1	1/100 ans	Modéré	Soutènement	Oui
B49	975931,0	6898217,5	0,5	1/10 ans	Modéré	Purge	Oui

Illustration 26 : Secteur B5 - Photographie de la zone de départ Z59 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)

Un bâtiment ERP (non localisé précisément), rue de la gare (**Secteur B6**, Illustration 27 et Illustration 28), est affecté par un aléa modéré. Cet aléa est dû à un bloc B45 (environ 0.1 m³) localisé sur la zone de départ Z56 qui présenterait un aléa nul si une parade adéquate était mise en place pour ce bloc.

Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade
Z56	975501,1	6898269,5	> 100 ans	X	-



Code bloc	X Lambert 93	Y Lambert 93	Zone de départ	Volume [m3]	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade	Dégradation Classe Aléa
B45	975500,9	6898269,2	Z56	0,1	1/100 ans	Faible	Purge et Soutènement du bloc sus-jacent	Oui

Illustration 27 : Secteur B6 - Photographie de la zone de départ Z56 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)

La zone de départ **Z66** localisée dans le quartier d'Hellering, induit un aléa modéré sur 1 bâtiment résidentiel et 1 bâtiment « autre » type garage/abris ainsi qu'un aléa élevé sur 2 bâtiments « autre ». Cette zone de départ a fait l'objet d'un rapport d'expertise par le BRGM en 2012 (Rapport BRGM/RP-61506-FR) ainsi qu'une lettre en 2013 détaillant les moyens techniques à mettre en œuvre pour la surveillance (lettre référence LOR13L133 transmise à la DDT de la Moselle).

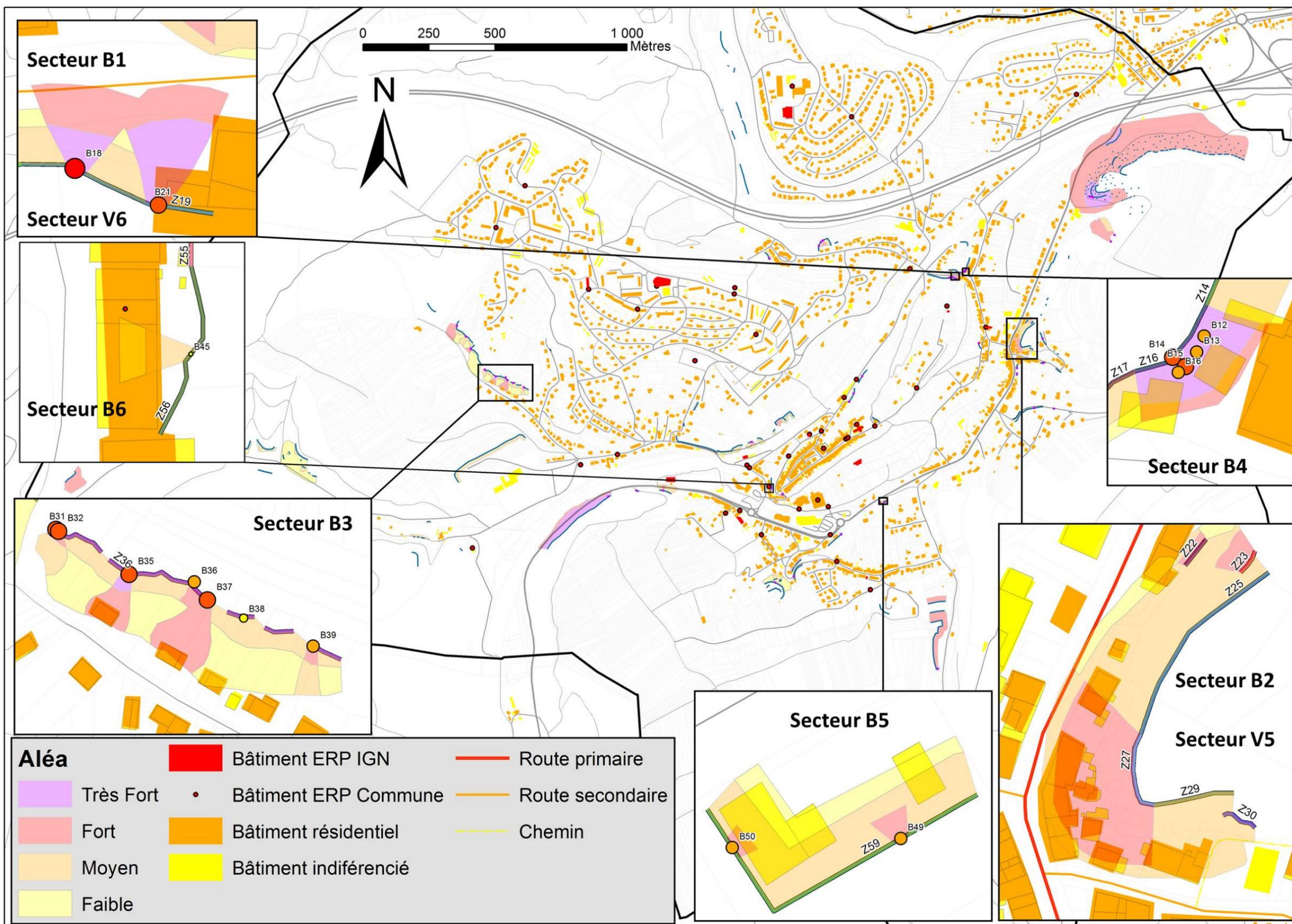


Illustration 28 : Aléa chute de blocs et vulnérabilité des bâtiments et des voies de communications sur la commune de Hombourg-Haut (Zoom sur les zones de départ Z19, Z27, Z16, Z36, Z59, Z27 et Z19)

b) Voies de communication

Zone de départ/Aléa	Route primaire				Route secondaire				Chemin				Priorité				Priorité	Secteur à risques
	TE	E	M	F	TE	E	M	F	TE	E	M	F	TE	E	M	F		
Z7		1							2				1	2			1	V1 - Illustration 36
Z6		1								2			1		2		2	V1 - Illustration 36
Z4		1								1			1		1		3	V1 - Illustration 36
Z61	1												1				4	V2 - Illustration 36
Z3	1												1				5	V1 - Illustration 36
Z58		1											1				6	V3 - Illustration 36
Z55b					1								1				7	V4 - Illustration 36
Z27			1											1			8	V5 - Illustration 28
Z25			1											1			9	V5 - Illustration 28
Z19						1								1			10	V6 - Illustration 28
Z51						1								1			11	V7 - Illustration 36
Z33		1											1				12	V8 - Illustration 36
Z28						1								1			13	
Z40						1								1			14	
Z17							1								1		15	
Z18							1								1		16	
Z39							1								1		17	
Z41							1								1		18	
Z49							1								1		19	V7 - Illustration 36
Z46							1								1		20	
Z67							1								1		21	
Z34							1								1		22	
Z31							1								1		23	
Z35							1								1		24	
Z48							1								1		25	V7 - Illustration 36
Z24										1					1		26	
Z57										1					1		27	
Z50								2								2	28	
Z53								1		1						2	29	
Z47								1								1	30	
Z29										1						1	31	
Z30										1						1	32	
Z60										1						1	33	
Z63										1						1	34	
Somme	2	5	2	0	1	4	11	4	2	5	5	0	8	8	16	9		

Illustration 29 : Hiérarchisation des zones de départ pour les voies de communication (TE : Très Elevé, E : Elevé, M : Modéré et F : Faible)

A la sortie de Hombourg-Haut (**Secteur V1**, Illustration 30 et Illustration 36), direction Freyming-Merlebach, les zones de départ Z3, Z4, Z6 et Z7 exposent la route nationale D603 à un aléa élevé à très élevé (Z3 seulement) sur plusieurs centaines de mètre. Ces zones de départ présentent des blocs volumineux (de l'ordre du m³) associés à des indices d'intensité élevée à très élevée. La zone de départ Z6 est de type diffus, c'est à dire qu'il ne constitue pas un affleurement franc mais que ce sont des blocs déjà éboulés présents dans la pente qui peuvent être remobilisés (par exemple, blocs remis à la surface par les racines d'un arbre arraché durant une tempête). Deux chemins sont également affectés par un aléa élevé à très élevé.

Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade
Z3	976809,4	6899590,8	1/an	Très Elevé	Fosse de réception + Merlon et Surveillance --> Purge
Z4	977159,6	6899533,7	1/100 ans	Elevé à très Elevé	Ecran et/ou fosse de réception
Z6	976765,7	6899488,6	1/100 ans	Elevé à très Elevé	Ecran et/ou fosse de réception
Z7	976717,8	6899410,9	1/100 ans	Elevé à très Elevé	Ecran ou Surveillance --> Ancrage/Soutènement/Purge

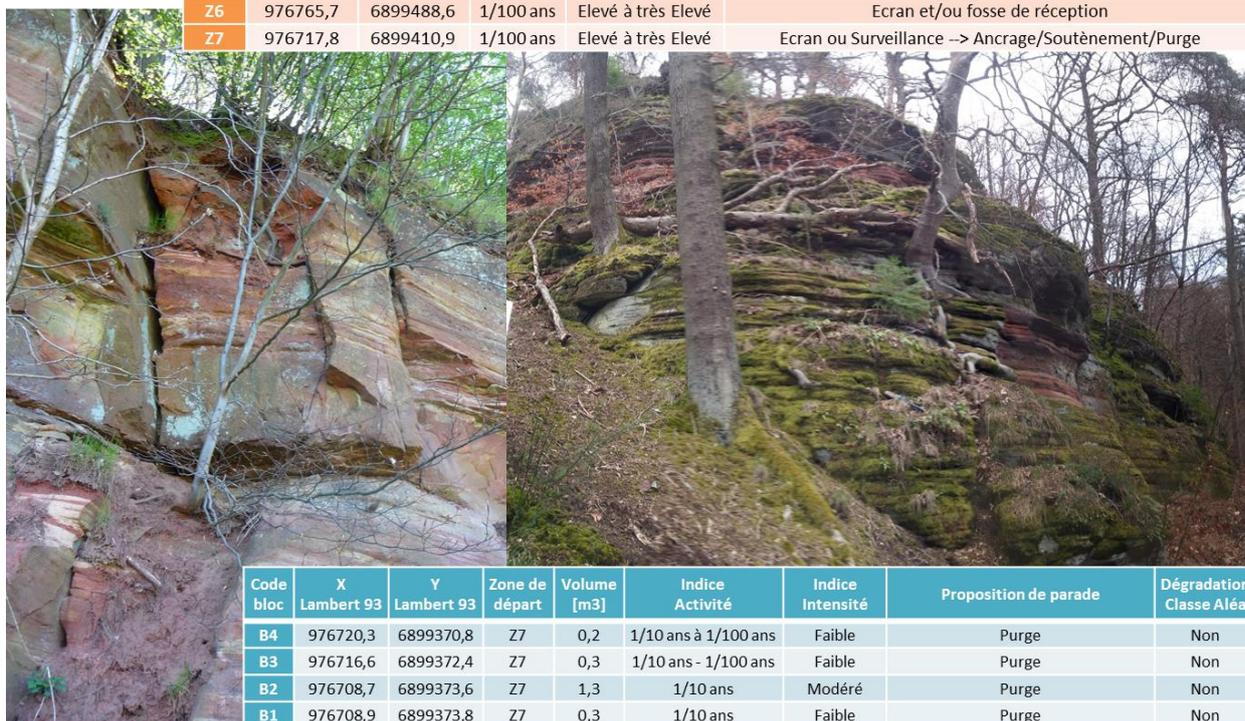


Illustration 30 : Secteur V1 - Photographie de la zone de départ Z3 (gauche) et Z7 (droite) et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)

A la sortie opposée, direction Saint-Avoid (**Secteur V2**, Illustration 31 et Illustration 36), la zone de départ Z61 expose la route nationale D603 à un aléa très élevé sur plusieurs centaines de mètre. La fosse de réception actuelle semble être sous dimensionnée par rapport à l'aléa. Un grillage plaqué (non pris en compte pour la définition de l'aléa) couvre une partie significative de la zone de départ, notamment au droit de la zone où l'aléa affecte les voies ferrées. Un bloc remarquable B48 a été identifié bien que celui-ci ne dégrade pas la classe d'Aléa.



Illustration 31 : Secteur V2 - Photographie de la zone de départ Z61 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)

Proche du secteur V2, à l'entrée du village de Hombourg-Haut (**Secteur V3**, Illustration 32 et Illustration 36), la route nationale D603 présente sur une vingtaine de mètres un aléa élevé. Cet aléa est dû à un bloc B46 qui dégrade la classe d'aléa de la zone de départ Z58 qui serait modéré si une parade adéquate était mise en place pour ce bloc.



Illustration 32 : Secteur V3 - Photographie de la zone de départ Z58 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)

Au centre du village, une route secondaire, (**Secteur V4**, Illustration 33) est impactée par un aléa Très Elevé. Cet aléa est dû à un bloc B55 (environ 35 m³) qui dégrade la classe d'aléa de la zone de départ Z55b qui serait modéré si une parade adéquate était mise en place pour ce bloc. Cette zone de départ a été étudiée en détail par le BRGM en 2014 (lettre référence LOR14L358 transmise à la DTT de la Moselle).



Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade
Z55b	975543.9	6898248.0	1/an	Faible	Grillage plaqué

Illustration 33 : Secteur V4 - Photographie de la zone de départ Z55b et résumé de l'annexes 2 (tableau orange)

Les **secteurs V5 et V6** ont été traités précédemment dans la partie bâtiment.

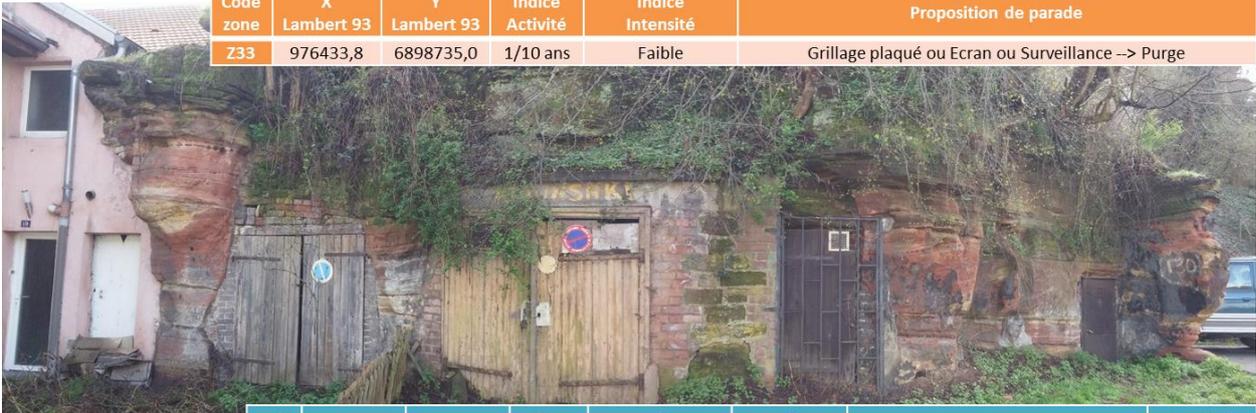
La rue de L'Etang est affectée par plusieurs zones de départ (Z48, Z49 et Z51) qui expose cette rue à un aléa modéré à élevé sur environ 150 m entre l'intersection avec la rue des Fleurs et le pont enjambant la voie ferroviaire (**Secteur V7**, Illustration 34 et Illustration 36). Bien que ces zones de départ présentent des indices d'activité et d'intensité différents, une mise en place d'un grillage plaqué après une purge éventuelle des blocs les plus instables est proposée.



Illustration 34 : Secteur V7 - Photographie de la zone de départ Z51 et résumé de l'annexe 2 (tableau orange)

Dans le quartier de Hombourg-Bas (**Secteur V8**, Illustration 35), la route départementale D603 est affectée très localement (trottoir/bord de la route) d'un aléa élevé. Cet aléa est dû à un bloc B33 qui dégrade la classe d'aléa de la zone de départ Z33 qui serait faible si une parade adéquate était mise en place pour ce bloc. Le bloc B30 dégrade également la classe d'aléa localement mais la zone de propagation de ce bloc n'atteint pas la route.

Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade		
Z33	976433,8	6898735,0	1/10 ans	Faible	Grillage plaqué ou Ecran ou Surveillance -> Purge		



Code bloc	X Lambert 93	Y Lambert 93	Volume [m3]	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade	Dégradation Classe Aléa
B33	976432,4	6898703,0	0,5	1/an	Modéré	Purge	Oui
B30	976432,0	6898724,8	0,5	1/100 ans	Modéré	Purge	Oui

Illustration 35 : Secteur V8 - Photographie de la zone de départ Z33 et résumé des annexes 2 (tableau orange) et 3 (tableau bleu)

Enfin, il est important de noter qu'un bloc remarquable B22 présentant un volume important (environ 30 m³) a été identifié sur la zone de départ Z24 localisée sur le chemin forestier qui prolonge la rue de la Forêt. Ce bloc expose ce chemin, qui dessert une unique habitation, à un aléa élevé.

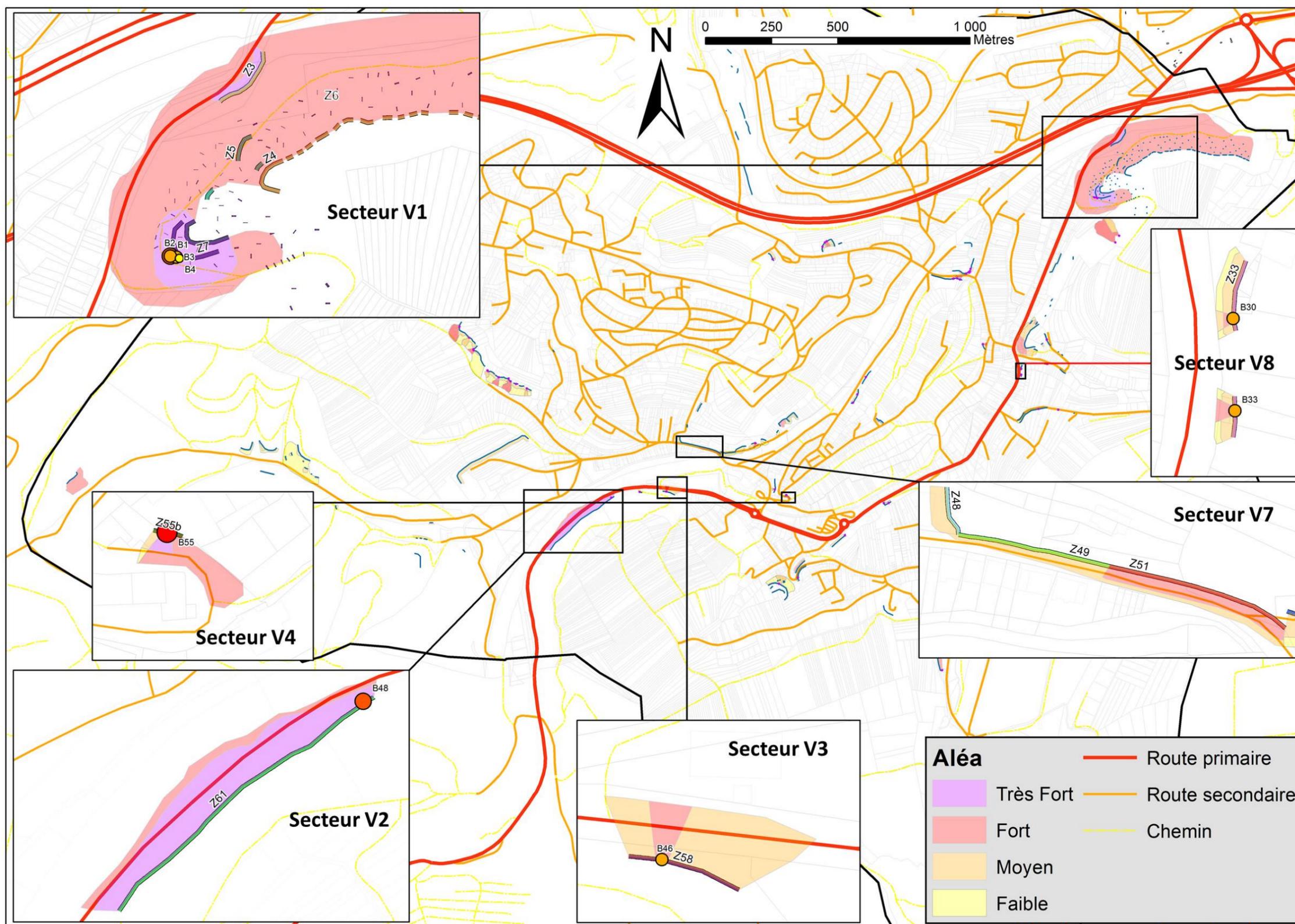


Illustration 36 : Aléa chute de blocs et vulnérabilité des voies de communications sur la commune de Hombourg-Haut (Zoom sur les zones de départ Z7, Z4, Z6, Z58, Z3, Z61, Z48, Z49 et Z51)

5.4. CONCLUSION

L'approche utilisée pour l'évaluation de l'aléa est de type expert. Cette analyse est basée sur des observations in-situ et la bibliographie existante. La cartographie de l'aléa chute de blocs s'est basée sur la méthode MEZAP adaptée au contexte locale. La méthode a été notamment ajustée pour tenir compte de l'intensité des blocs plutôt que d'uniquement tenir compte du volume des blocs comme initialement prévu dans la méthode MEZAP.

La cartographie de l'aléa chute de blocs a permis d'identifier 73 zones de départ et 55 blocs remarquables sur la commune de Hombourg-Haut.

L'estimation de l'intensité s'est basée soit sur l'énergie potentielle pour les affleurements de type corniche soit sur la méthode dite de la ligne d'énergie pour les affleurements avec une zone de propagation significative. La méthode de la ligne d'énergie a également été mise en œuvre pour évaluer l'enveloppe des zones de propagations et les probabilités d'atteintes des blocs.

Sur la base de la cartographie de l'aléa, un ciblage des zones à risque a été réalisé et des propositions de parades ont été formulées. Pour ce faire, la vulnérabilité des enjeux, scindés en deux catégories « bâtiment » et « voie de communication », a été évaluée. Le croisement des classes d'aléa et de vulnérabilité a permis de hiérarchiser les zones par priorité de mise en œuvre des solutions de parade sur la commune de Hombourg-Haut.

Un unique bâtiment ERP (établissement recevant du public) est concerné par un aléa moyen. Concernant les bâtiments résidentiels, 1 bâtiment présente un aléa très élevé, 12 un aléa élevé, 10 un aléa modéré et 1 un aléa faible. Enfin pour la catégorie autres bâtiments, 2 bâtiments sont impactés par un aléa très élevé, 14 par un aléa élevé, 8 par un aléa modéré et 3 par un aléa faible.

Deux routes primaires sont concernées par un aléa très élevé, 3 par un aléa élevé et 1 par un aléa modéré. Concernant les routes secondaires, 1 route est impactée par un aléa très élevé, 4 par un aléa élevé, 10 par un aléa modéré et 4 par un aléa faible. Enfin, 2 chemins présentent un aléa très élevé, 4 un aléa élevé et 5 un aléa modéré.

La cartographie de l'aléa chute de blocs a été réalisée à l'échelle communale sur la base d'examen exclusivement visuels et sur une estimation empirique de l'intensité des blocs. Il est recommandé pour les secteurs identifiés comme à risque (particulièrement pour les bâtiments résidentiels et voies de communications primaires et secondaires affectés par un aléa élevé à très élevé) de faire réaliser une étude de détails par un bureau d'étude spécialisé des affleurements et des zones de propagations associées à ces secteurs. Cette étude devrait permettre d'affiner la cartographie de l'aléa et de proposer un dimensionnement des parades à mettre en œuvre. Cette étude de détails pourrait nécessiter l'acquisition de données topographiques hautes résolutions et requérir une modélisation numérique de la chute de blocs.

6. Cartographie de l'aléa glissement de terrain

Les glissements de terrains pris en compte dans cette étude comprennent les phénomènes de glissements sans plan de rupture (fluage, solifluxion, reptation) et avec plans de rupture (mouvements pelliculaires, plans, circulaires).

6.1. TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

6.1.1. Les mouvements sans plan de rupture

Ces types de mouvements ne sont pas considérés comme des glissements à proprement parler puisque la mise en mouvement n'est pas caractérisée par un plan de cisaillement. Généralement dans la région traitée, seule la frange superficielle de terrain est affectée par ce type de mouvements.

a) Le fluage

Le fluage est un phénomène physique provoquant des déformations gravitaires irréversibles sous des sollicitations constantes atteignant le domaine plastique (Philipponnat *et al.*, 2008). C'est un mouvement lent d'une masse de terrain (à matrice fine argileuse ou silteuse) non limitée par une surface de rupture clairement définie se manifestant sur des faibles ou fortes pentes (Illustration 37).

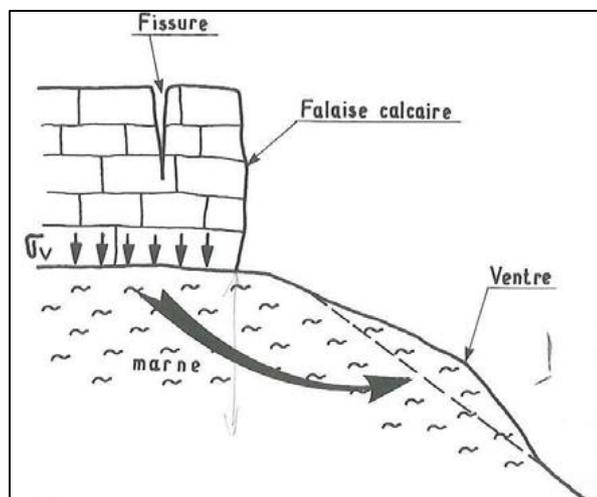


Illustration 37 : Exemple de fluage sous l'effet d'une surcharge (Philipponnat *et al.*, 2008)

b) La solifluxion

C'est un cas particulier du fluage. C'est un phénomène d'écoulement lent des sols. Elle concerne les sols à matrice fine (argileuse ou silteuse) et à teneur en eau marquée, sur une épaisseur de l'ordre d'un mètre, sans surface de rupture nette (Illustration 38). Ce phénomène est provoqué par des variations de volume du sol au cours des saisons. En effet, le gel-dégel en montagne ou l'alternance des saisons sèches et pluvieuses causent la déstructuration et la perte de cohésion de ces sols gonflants et rétractables (Philipponnat *et al.*, 2008 ; Mathon *et al.*, 2005).

La solifluxion s'opère sur des terrains de pente faible à modérée et se repère par un état boueux des sols, une ondulation des terrains (Philipponnat *et al.*, 2008) et des rochers « laboureurs ».

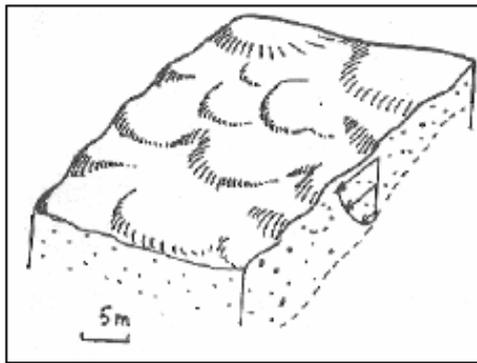
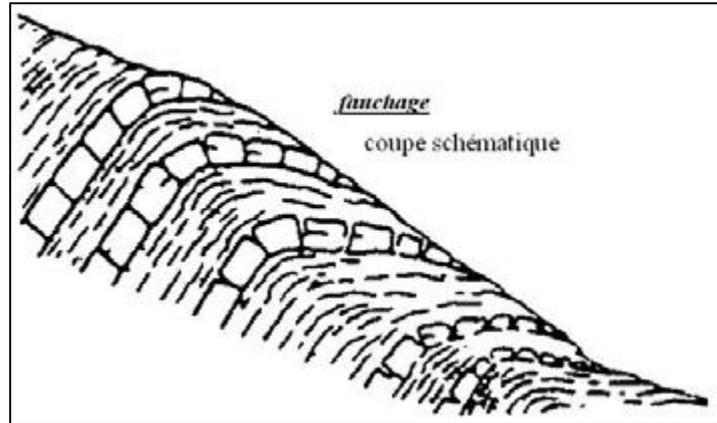


Illustration 38 : Aspect ondulé (moutonnement) des terrains dû au phénomène de solifluxion (Philipponnat *et al.*, 2008).

c) La reptation

C'est le glissement lent, vers l'aval, des sols ou des formations superficielles sur un versant à pente modérée à forte (Foucault & Raoult, 2005). Ce phénomène ne nécessite pas un état boueux du sol. Il peut se repérer par un moutonnement de faible amplitude et relativement serré. Généralement, les arbres sont inclinés ou présentent une forme dite « pipée ». Le moteur du mouvement est le propre poids du terrain. Ce phénomène provoque un fauchage (également appelé « basculement ») des couches géologiques ; ce qui entraîne une évaluation erronée de leur pendage en profondeur (Illustration 39 et Illustration 40).



*Illustration 39 : Coupe montrant le phénomène de reptation des couches géologiques superficielles.
(figure du haut : Foucault & Raoult, 2005).*



Illustration 40 : Exemple de fauchage, dû au phénomène de reptation des couches géologiques superficielles

6.1.2. Les glissements avec plan de rupture

a) Les glissements pelliculaires

Le glissement pelliculaire est un décrochement superficiel gravitaire affectant une mince frange de terrain à matrice fine et limitée par une surface de rupture identifiable (< 10 mètres de profondeur), recouvrant les versants rocheux à pente raide (> 20 %). Cette frange est fortement altérée avec des caractéristiques mécaniques faibles. Par suite d'une saturation en eau du matériel, le sol se plastifie et devient instable. Le terrain se détache du haut du versant et glisse par petits paquets vers le bas (Mathon *et al.*, 2005). Ce type de glissement fait généralement suite au phénomène de reptation.

La morphologie de ce glissement est caractérisée par une surface moutonnée ou par des petites terrasses dans les versants, et de courtes fissures arquées ou rectilignes soulignent la tête des instabilités. Sur le terrain, il peut être délimité grâce à des entonnoirs d'effondrement créés en bordure du glissement par des infiltrations et des circulations d'eau en sub-surface.

b) Les glissements plans

Il s'agit de mouvements gravitaires se traduisant par la translation d'un volume de sol ou de roche d'un versant, sur une surface de rupture approximativement plane, généralement selon la ligne de plus grande pente (Illustration 41).

La particularité de ce glissement tient dans la géométrie de sa surface de rupture qui est plus ou moins rectiligne. Généralement, elle est héritée d'une discontinuité naturelle préexistante dans le terrain : joints ou limites stratigraphiques, plans de faille ou diaclases, plans de schistosité. Elle peut également correspondre soit à une couche mince de mauvaises caractéristiques mécaniques (on parlera de « couche-savon ») sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau.

Les glissements plans sont le plus souvent associés à des fissures en tête et des bourrelets en pied. Ils peuvent se développer sur des épaisseurs de plusieurs dizaines de mètres et peuvent affecter des versants de faible pente (< 20 %) pour autant que les facteurs de prédisposition soient réunis.

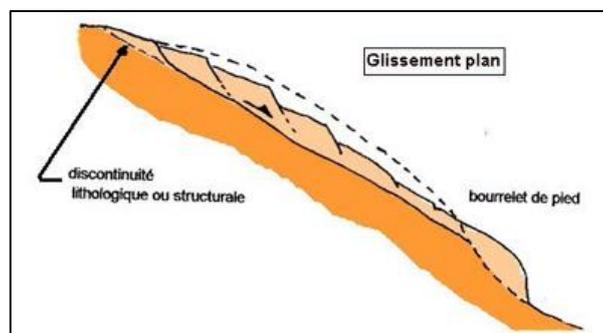


Illustration 41 : Schéma d'un glissement plan

c) Les glissements rotationnels ou circulaires

Ils correspondent à des mouvements gravitaires et peuvent présenter une brusque rupture de pente ainsi que des fissures en tête et des bourrelets en pied (Illustration 42). Leur surface de rupture de forme circulaire et concave les différencie des glissements plans. On peut noter la présence de contre-pentes au sein de la masse glissée. De plus, ils se développent généralement au sein d'un milieu homogène et meuble (sables, silts, voire argiles) en l'absence de discontinuité marquée. Par ailleurs, plusieurs glissements rotationnels peuvent s'emboîter et former un glissement circulaire complexe, voire plan. L'apparition d'un premier glissement en bas de pente entraîne une perte de butée pour les terres situées au-dessus et provoque des glissements successifs remontant vers l'amont : on parle d'évolution régressive (Philipponat et al., 2008).

Les glissements circulaires peuvent avoir des profondeurs et des volumes en mouvement très variables.

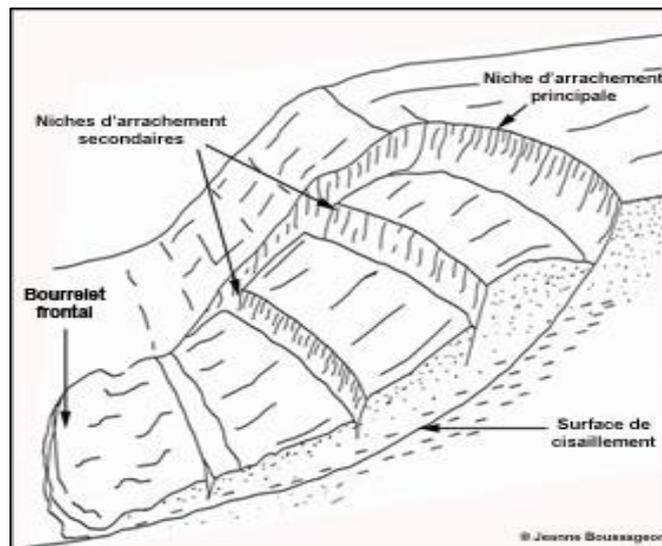


Illustration 42 : Bloc diagramme d'un glissement rotationnel complexe (Flageollet, 1989 et Cruden et Varnes, 1996).

6.2. L'ÉVALUATION DE L'ALÉA GLISSEMENT DE TERRAIN

La cartographie de l'aléa s'effectue par étapes successives tout en respectant les recommandations du Guide Méthodologique pour l'élaboration des PPR mouvements de terrain (Mate, 1999).

La cartographie de l'aléa est basée sur :

- la susceptibilité des formations à l'apparition des phénomènes ;
- une hiérarchisation fine des niveaux d'aléa traduisant la probabilité d'occurrence de tel type de phénomène de telle intensité dans une période donnée.

L'évaluation de l'aléa au sens strict n'est en fait quasiment jamais réalisée en suivant à la lettre cette deuxième approche (probabiliste) compte tenu de la complexité extrême de ce type d'analyse. La cartographie de l'aléa mouvement de terrain reflétera donc la susceptibilité des formations, et de leur contexte géomorphologique, à l'apparition des différents phénomènes. L'approche de l'aléa sera par conséquent qualitative.

La potentialité plus ou moins forte d'occurrence des glissements de terrain va dépendre de facteurs de prédisposition, de facteurs aggravants et de facteurs déclencheurs. Il est donc indispensable de définir leur rôle et leur poids respectif dans l'initiation de ces phénomènes.

6.2.1. Les facteurs de prédisposition

La définition et l'affinage des critères de prédisposition font appel à l'expérience du BRGM sur les phénomènes naturels en Lorraine, ainsi qu'à un inventaire des phénomènes à risque sur la commune et à proximité immédiate. La caractérisation d'un phénomène est principalement basée sur la typologie des mouvements de terrain. Les glissements plans, circulaires et pelliculaires, ainsi que la solifluxion sont normalement plus destructeurs que le phénomène de reptation. Ces types de mouvements de terrain impliquent donc un aléa élevé, sauf lorsque ces derniers sont de petite ampleur (petit glissement circulaire de talus routier par exemple).

Les facteurs de prédisposition de base sont le relief et la nature des terrains et donc, plus généralement, la géomorphologie du terrain. Ainsi chaque zone fait l'objet d'un classement selon les critères préalablement définis ci-dessous.

La topographie

La topographie conditionne la cinématique du mouvement. Plus la pente est élevée, plus l'aléa augmente.

Une évaluation de la pente est définie en fonction du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN. Le modèle disponible et utilisé sur la commune de Hombourg haut est celui au pas de 25 mètres sur l'ensemble de la commune. Chaque point, affecté par la donnée de l'altitude, est géo-référencé au pas de 25 selon la latitude et la longitude. Le calcul des pentes est effectué par le logiciel Quantum Gis® (Illustration 43).

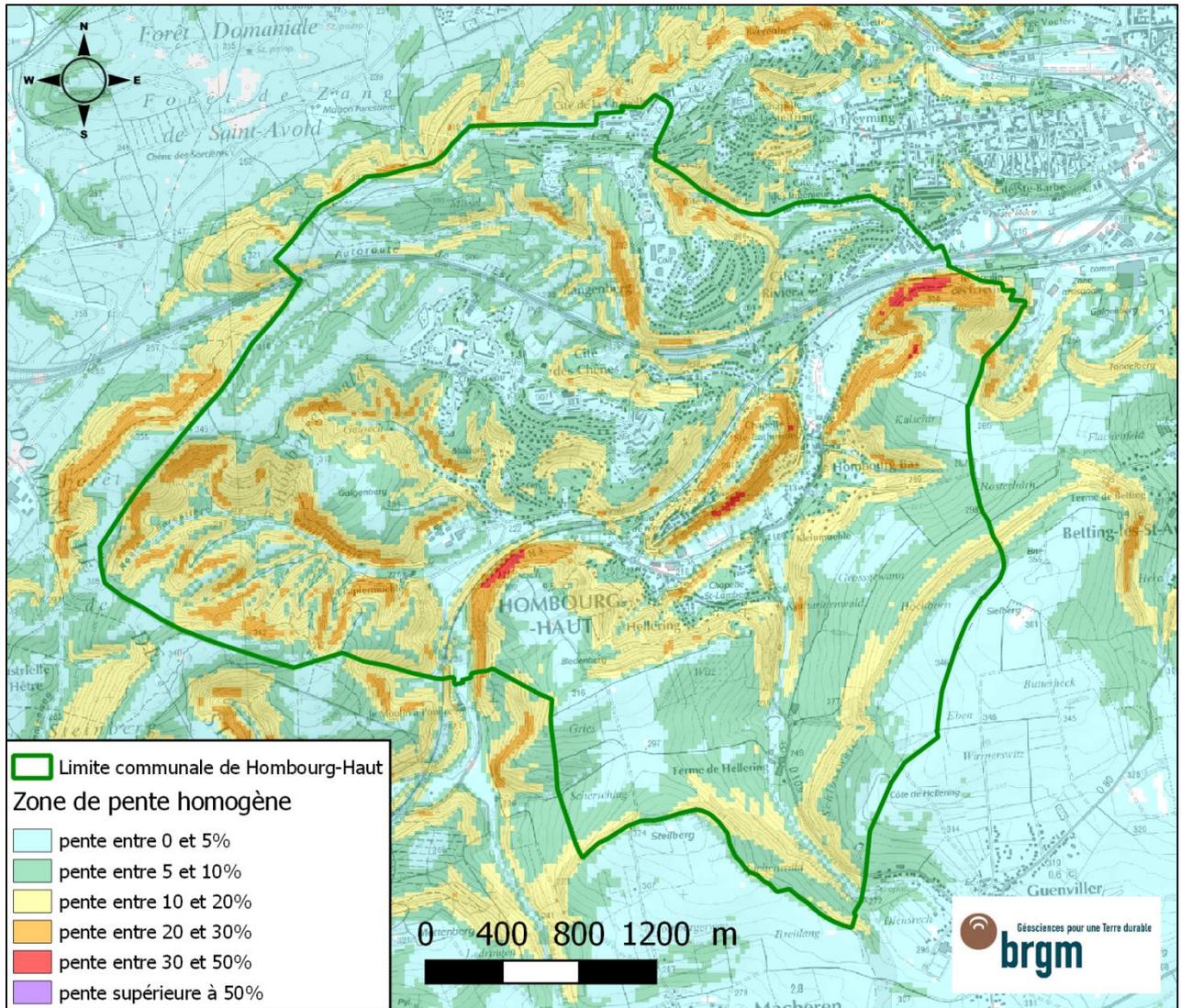


Illustration 43 : Cartographie des pentes – commune de Hombourg-Haut (fond IGN Scan 25)

Le pas de 25 mètres du Modèle Numérique de Terrain ne permet cependant pas une cartographie précise des pentes. Pour modérer cette imprécision, un repérage non exhaustif sur le terrain des petits abrupts ou des talus à forte pente a permis d'affiner manuellement la carte des pentes.

L'analyse de la base de données des mouvements de terrain des départements de la Meurthe-et-Moselle, de la Moselle et des Vosges, montre qu'en dessous d'une pente de 6 %, les glissements sont absents ou non décrits (Cartannaz et André, 2009). La pente minimale choisie pour la carte des pentes a donc été fixée à 5 %, puisqu'il semble ne pas y avoir d'occurrence en dessous de cette valeur.

Toutes les pentes supérieures à 5 % sont susceptibles de connaître une instabilité (Cartannaz *et al.*, 2009 ; Arnoux *et al.*, 2006). Le phénomène le plus courant est la reptation. Toutefois, au-delà de 20 %, ce phénomène peut être relayé par des glissements pelliculaires ou des glissements rotationnels, voire transrotationnels.

Dans le cas de formations argileuses, l'équilibre des terrains est plus fragile au niveau des lignes de crête ou de thalweg. De même, la convexité ou la concavité du versant jouent un rôle dans les instabilités.

La nature des formations

La géologie d'un site détermine les paramètres conditionnant la pente d'équilibre et l'occurrence du mouvement. Plus les terrains seront indurés (roche, etc.) et moins ils seront instables vis-à-vis de la pente, et inversement. Des reconnaissances de terrain permettent de déterminer les propriétés mécaniques des matériaux (terrains meubles, peu consolidés, massifs fracturés, état d'altération).

Par rapport aux calcaires et aux grès, les formations argileuses et marneuses sont davantage prédisposées aux glissements. En général, toutes les formations aux caractéristiques mécaniques faibles (formations de pente comme les éboulis et les colluvions, altérites, remblais mal compactés,...) confèrent aux terrains une susceptibilité aux glissements. La reptation et la solifluxion se manifestent dans les terrains généralement argileux. Une formation meuble à matrice fine (silts et argiles) et homogène développera davantage de glissements circulaires tandis qu'une hétérogénéité des caractéristiques mécaniques des formations lithologiques (formation altérée sur formation saine) développera des glissements pelliculaires ou plans. Enfin, les discontinuités (failles, fractures, couches-savon) dans un substratum rocheux à pendage orienté vers l'aval peuvent représenter des facteurs favorisant les glissements plan.

De manière générale, les formations fines sont plus susceptibles de glisser que les formations grossières, de même pour les marnes par rapport aux calcaires. Les formations gréseuses, plus indurées, présentent également une susceptibilité moins importante au phénomène de glissement. Cinq classes de formations affleurantes sont déterminées suivant leur susceptibilité croissante :

<p>Formation comprenant une susceptibilité forte aux glissements de terrain</p> <p>↓</p> <p>Formation comprenant une susceptibilité faible aux glissements de terrain</p>	formations superficielles fines sur marne
	formations superficielles grossières sur marne
	formations superficielles fines sur calcaire / grès
	formations superficielles grossières sur calcaire / grès
	Escarpement rocheux grès affleurant

Illustration 44 : Classement des formations en fonction de leurs susceptibilités au glissement de terrain

La distinction entre les formations superficielles grossières et fines est cruciale car leurs propriétés géotechniques sont différentes. Les travaux réalisés par le BRGM et l'ENSG en 2002 ont mis en évidence que les formations de pentes les plus fines sont les plus propices aux instabilités (cf. « Cartographie des formations superficielles et recensement des désordres sur la Communauté Urbaine du Grand Nancy » - BRGM, ENSG – Octobre 2002). Les formations superficielles fines sous-tendent donc un niveau d'aléa plus élevé que les formations grossières. La nature des formations affleurantes peut être appréciée à partir des données de la carte géologique, des données disponibles dans la BSS et des reconnaissances de terrain (Illustration 45 et Illustration 46).

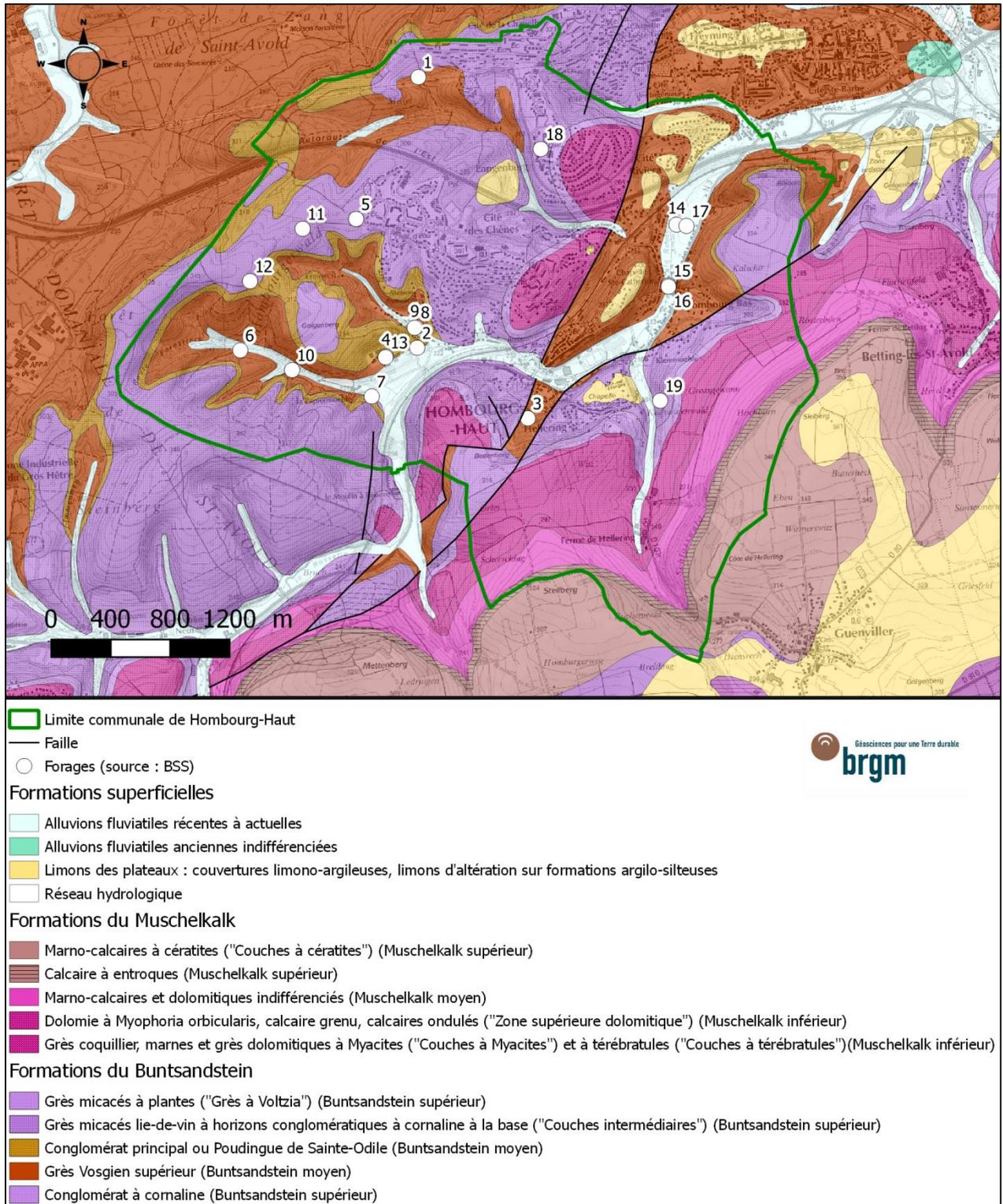


Illustration 45 : Cartographie géologique et localisation des points BSS (tracés issus de la carte géologique au 1/50 000, fond scan 25) – la numération des points BSS fait référence au tableau ci-dessous

Indice sur la carte	Code national (BSS du BRGM)	Lieu-dit	Nature de l'ouvrage	Formation géologique selon la carte géologique au 1/50 000	Profondeur atteinte (m)	Profondeur eau (m) et date	Date de forage	Nature des terrains de surface selon les coupes géologiques disponibles dans la BSS	Epaisseur des terrains de surface (m)
1	01398X0009/369	Cité de la chapelle	Sondage	Grès vosgiens (Buntsandstein moyen)	994		1952	Grès conglomératique assez friable parsemé de galets de quartz et de quartzite / poudingue peu cohérent constitué de sable jaune et de galets de quartzite	0 à 3 m / 3 à 25 m
2	01654X0001/S149	Hombourg	Sondage	Alluvions	264		1854	Absence de coupe géologique	
3	01654X0004/S321	Hombourg	Sondage	Grès vosgiens (Buntsandstein moyen)	473		1947	Diluvions - sable rouge argileux	0 à 3,80 m
4	01654X0005/320	Hombourg-nord	Puits	Grès vosgiens (Buntsandstein moyen)	584	6,1 (1970)	1947	Grès vosgien rouge brique dur	0 à 3 m
5	01654X0006/S372	Monbronn	Sondage	Grès micacé (Buntsandstein sup)	1004		1953	Grès rouge fin et argileux	0 à 6,5 m
6	01654X0010/S373	Papermuhle	Sondage	Grès vosgiens (Buntsandstein moyen)	968		1953	Grès ferrugineux	0 à 14 m
7	01654X0011/25	auberge du Papermuhle extension cite des chênes	Forage AEP	Grès vosgiens (Buntsandstein moyen)	140	11,2 (1966)	1958	Grès rouge passage jaune	0 à 20 m
8	01654X0012/1	Cité des chênes	Forage AEP	Alluvions	75	15,2 (1966)	1948	Absence de coupe géologique	
9	01654X0013/29	Rue de la foret	Forage AEP	Alluvions	140	24,8 (1978)	1962	Formation sableuse	0 à 20 m
10	01654X0040/F	piscine lieu-dit Papermuhle	Forage AEP	Alluvions	50	2,6 (1976)	1972	Remblai, alluvions (gravier, sable, argileux)	0 à 7 m
11	01654X0042/2-5	Hombourg	Sondage	Grès micacé (Buntsandstein sup)	983		1980	Grès vosgiens / pas de description avant 166 m	
12	01654X0043/665	Hombourg	Sondage	Grès micacé (Buntsandstein sup)	823		1982	Grès vosgiens / pas de description avant 390 m	
13	01654X0050/SP3	Hombourg	Sondage	Grès vosgiens (Buntsandstein moyen)	50		2005	Sable gréseux rougeâtre / grès altéré	0 à 4,5 m / 4,5 à 8,5 m
14	01654X0051/HO MAL1	Près de la Rosselle - Hombourg concession Sarre et Moselle	Piézomètre	Alluvions	10	4,4 (2007)	2007	Alluvions (limons argileux légèrement sableux) / argile légèrement molle / sable moyen / grès tendre ou sable fin argileux	0 à 10
15	01654X0052/PZ	Hombourg	Piézomètre	Alluvions	11	5,2 (2007)	2006	Argile, sable moyen, sable fin argileux, grès tendre ou sable fin	0 à 10,7
16	01654X0053/PZ	Hombourg	Piézomètre	Alluvions	20		2006	Argile, sable moyen, sable fin argileux, grès tendre ou sable fin	0 à 20,5
17	01654X0058/HO MAL2	Hombourg	Piézomètre	Alluvions	10	2,2 (2007)		Argile, sable moyen, sable fin argileux, grès tendre ou sable fin	0 à 10
18	01654X0060/F	75 rue du beau site	Forage	Grès micacé (Buntsandstein sup)	99		2010	Remblai	0 à 4 m
19	01654X4001/GT	Hellering	Indice	Grès micacé (Buntsandstein sup)			1977	Absence de coupe géologique	

Illustration 46 : Identification des ouvrages BBS de la commune de Hombourg-Haut

Il convient de noter que l'ensemble des forages ont été réalisés au niveau du secteur des formations du Buntsandstein. Les forages permettent de distinguer ;

- au niveau des formations du Buntsandstein moyen (grès vosgiens supérieurs) : l'épaisseur des altérations est variable (0 à 25 m) d'après les données récupérées dans la BBS du BRGM. Ces variations sont parfois observées sur des forages très proches, ce qui peut révéler, soit des variations de faciès latérales importantes, soit des descriptions de forage peu précises. Il convient de retenir que :
 - le forage 4 note la présence d'un grès « dur » dès la surface ;
 - l'absence de description sur les forages 6 et 7 ne permet pas de les retenir pour évaluer une épaisseur de terrains susceptibles de glisser ;
 - les forages 1, 3 et 13 semblent présenter une altération sableuse sur les 4 premiers mètres suivis d'un grès altéré jusque 8 m (forage 13) à 25 m (forage 1).
- au niveau des formations du Buntsandstein supérieur (grès micacé) : les altérations de cette formation sont plus difficiles à caractériser. Seuls deux forages comprennent une description lithologique :
 - le forage 18 est situé en partie urbanisée de la commune de Hombourg-Haut. Ce forage montre la présence de 4 m de remblai surmontant des grès non décrits sur 95 m de puissance. Il n'est donc pas représentatif ;
 - le forage 5 note la présence de grès rouge « dur » avec un ciment calcaire et dolomitique à partir de 12 m de profondeur. A une profondeur inférieure à 12 m, les faciès d'altération donnent un grès à grain fin argileux jusque 6,5 m et, dans la tranche intermédiaire, un grès argileux dont le degré d'altération n'est pas décrit.

Aucun forage n'a été réalisé dans les formations du Muschelkalk.

Au vu du contexte géologique sur la commune de Hombourg-Haut, deux séries sont différenciées :

- les couches du Muschelkalk formant des dépôts marno-calcaires. Le Muschelkalk moyen, essentiellement marneux, constitue une formation imperméable entre le Muschelkalk supérieur et le Muschelkalk inférieur. Cette formation peut jouer le rôle de « couche savon ». L'altération de ces dépôts les place dans la catégorie « formation superficielles fines sur formation rocheuse (calcaire) » ;
- les couches du Buntsandstein comprennent de nombreux affleurements gréseux. L'altération de ces grès donne des sables grossiers et libère des fragments et des blocs plus ou moins importants (accumulation au pied des versants raides). Les observations de terrain montrent que les mouvements dans ces formations apparaissent principalement dans les formations d'altération dans des zones de pentes supérieures ou égales à 20° (environ 36 % de pente). En deçà de cette limite, les glissements s'apparentent plutôt à des phénomènes de reptation. Au vu de ces éléments, les classes de pentes retenues pour les formations du Buntsandstein correspondent au niveau « grossière sur calcaire » de la matrice.

Evaluation de la prédisposition

Pour définir les différentes zones de prédisposition à un glissement de terrain, un croisement a été fait entre le relief et le contexte géologique (cf. Illustration 47). A chacune de ces zones est attribué un niveau en fonction des combinaisons opérées dans la matrice suivante :

Formations affleurantes	Pentes (en %)					
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 50	50 - 100
« Fines sur marne » Non cartographié sur Hombourg Haut	nul	faible	moyen	moyen	fort	fort
« Grossières sur marne » Non cartographié sur Hombourg Haut	nul	faible	moyen	moyen	moyen	fort
« Fines sur calcaire/grès » Faciès du Muschelkalk pour la commune de Hombourg Haut	nul	faible	faible	moyen	moyen	fort
« Grossières sur calcaire/grès » Faciès du Buntsandstein pour la commune de Hombourg haut	nul	faible	faible	faible	moyen	fort
Formation rocheuse - grès (risque de chute de blocs si excavation importante ou présence d'une corniche) (Cf. cartographie chute de bloc)	nul	nul	nul	nul	nul	nul

Illustration 47 : Matrice de qualification de la prédisposition aux glissements de terrain (Cartannaz, 2015, modifié)

6.2.2. Les facteurs aggravants

Peuvent s'ajouter aux facteurs de prédisposition des facteurs locaux, variables, qui vont soit augmenter soit diminuer l'exposition d'une zone face à un phénomène mouvement de terrain. Par exemple, la présence d'eau ou un défrichement intempestif vont augmenter l'exposition d'une zone (facteurs aggravants).

Ces derniers contribuent à incrémenter l'aléa. Le choix de l'incrémentation de l'aléa à partir des facteurs aggravants relève de l'appréciation de l'expert.

La végétation

L'absence de végétation arborée est un facteur aggravant très classique. Le système racinaire contribue à « armer » la frange superficielle de terrain entre 1 et 3 m de profondeur selon les espèces et surtout réduit les infiltrations d'eau météorique et donc la teneur en eau du sol. Une mauvaise gestion forestière peut donc conduire à fragiliser les terrains et favoriser les glissements et plus généralement les mouvements. Néanmoins, même si le mouvement concerne la tranche superficielle du sol, la végétation peut ne pas suffire à contrer sa dynamique. C'est le cas de la reptation dont la conséquence est de tordre la base du tronc en forme de pipe (Illustration 48).



Illustration 48 : Arbre en forme de pipe (commune de Hombourg-Haut)

L'eau

Les zones humides aggravent la susceptibilité des terrains à développer des glissements. Ces dernières provoquent une perte de cohésion dans les formations meubles à matrice fine (silts et argiles) et du fait de la montée de la nappe, entraînent une baisse de la résistance au cisaillement dans les horizons frottants. L'existence de biseaux ou interlits aquifères, entre des formations argileuses, favorisent le développement de surpressions interstitielles réduisant leur résistance au cisaillement. Enfin, les thalwegs sont le lieu de concentration des eaux d'écoulement qui mobilisent des matériaux déstructurés (Illustration 49).

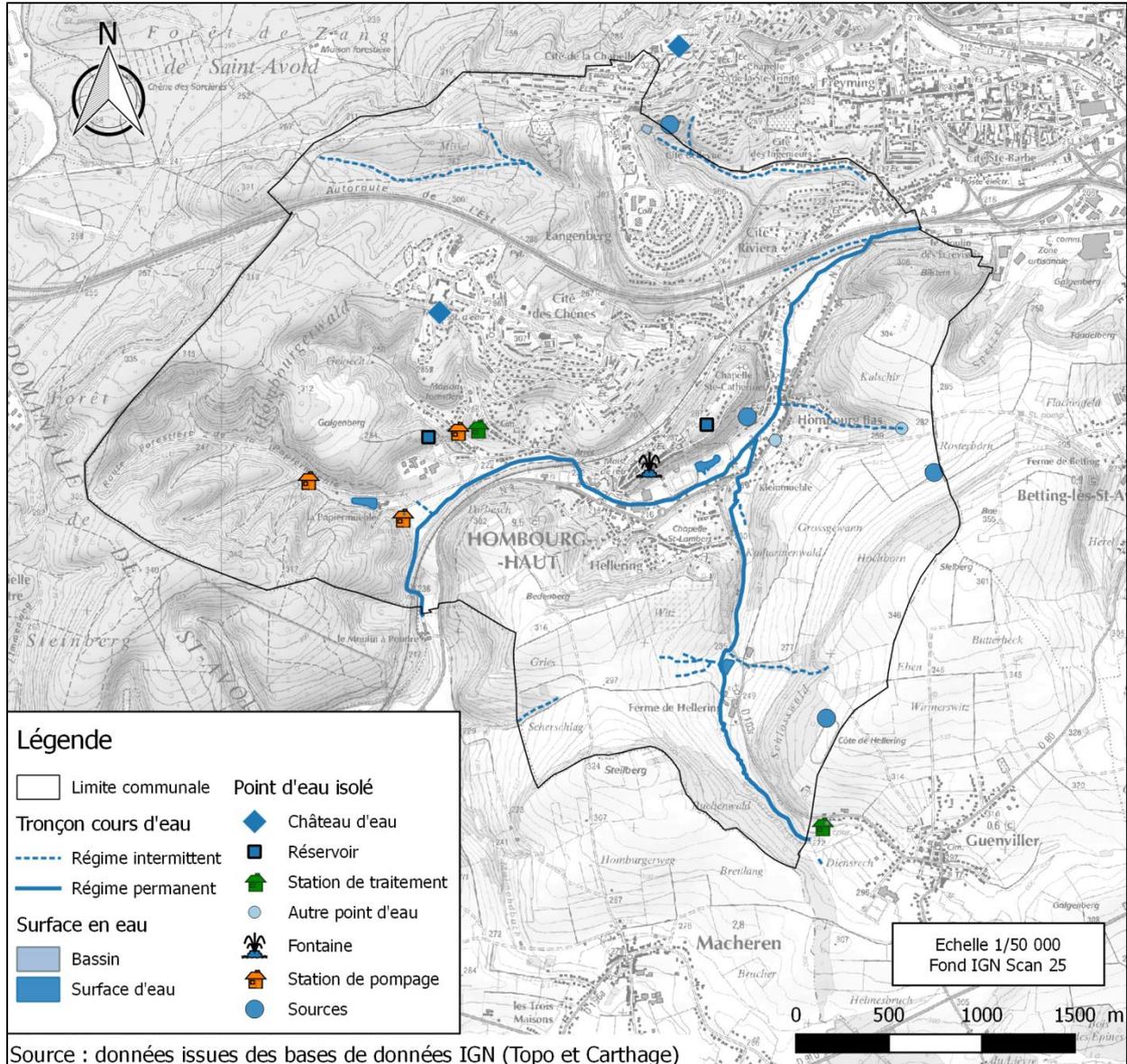


Illustration 49 : Cartographie des indices hydrogéologiques

6.2.3. Les facteurs déclencheurs

Les précipitations : les précipitations de longue durée ou les périodes de fonte de la neige sont le principal déclencheur naturel des glissements de terrain. Elles augmentent la teneur en eau des sols à matrice fine, et font chuter la résistance de ces sols au cisaillement. Le suivi des versants affectés par du fluage montre que chaque épisode pluvieux significatif se traduit au bout de quelques heures ou quelques jours par une reprise ou une accélération des déplacements. D'autre part, elles sont susceptibles d'augmenter le phénomène de remontée de nappes favorisant ainsi la mise en pression des aquifères captifs et donc le décollement de la masse potentiellement instable.

Les séismes : Les séismes peuvent être un facteur déclencheur des glissements de terrain. Il peut être pris en compte par différentes approches, notamment au sein de logiciel de calcul de stabilité (ex. Talren). Ce facteur n'est pas pris en compte dans cette étude car l'aléa sismique est très faible (zone de sismicité 1).

L'érosion naturelle (ruissellements, érosion des berges) : L'érosion de berges et le ruissellement peuvent saper le pied des talus et ainsi modifier l'équilibre naturel du versant à l'origine d'un glissement de terrain.

Un déboisement intempestif : il induit la suppression du système racinaire qui retenait les terrains, ce qui peut engendrer des mouvements de terrain superficiel.

Une action anthropique sur le relief : toute modification du relief contribue à changer les conditions naturelles d'équilibre du terrain. Un remblaiement, même limité, à l'amont du versant à pente modérée, peut parfois se traduire par le développement d'un mouvement de terrain. Un déblaiement en aval des terrains inclinés est souvent la cause d'initiation de glissements plans ou circulaires. Dans certains cas (formation argileuse saturée), un remblai en pied de talus peut créer des surpressions interstitielles propices à la mise en mouvement des terrains.

Une action anthropique sur l'eau : il s'agit essentiellement des dispositions anthropiques qui favorisent l'infiltration en masse des eaux météoriques dans le sol (drain perdu, retenue d'eau en amont du versant) et modifient les conditions d'équilibre du versant. Lorsqu'elles sont mal maîtrisées, elles peuvent engendrer des glissements.

6.2.4. Intensité

Le critère d'intensité traduit l'importance du phénomène (volume mobilisé). Les degrés d'intensité correspondent à des capacités de créer des préjudices (gravité vis-à-vis des vies humaines, dommageabilité vis-à-vis des constructions et coût des mesures confortatives à mettre en œuvre).

De façon pratique, il convient de retenir que le zonage d'intensité distingue des secteurs homogènes où le niveau d'exposition a été considéré constant. Dans chaque zone homogène, on retrouve un contexte géomorphologique similaire à celui existant au droit d'une zone ayant été affecté par l'évènement de référence connu ou prévisible. Cela signifie que des secteurs n'ayant fait l'objet d'aucun témoignage d'instabilité peuvent être considérés comme exposés s'ils présentent une configuration similaire à un ou plusieurs secteurs actifs ou historiquement touchés (notion de potentialité). Pour la commune de Hombourg-Haut :

- pour les faciès du Buntsandstein supérieur : La nature géologique des terrains laissent supposer que les glissements restent d'intensité limitée à modérée (altération sur la partie superficielle, environ 6 m maximum), ce que tend à confirmer l'analyse des phénomènes antérieurs. En effet, deux glissements de terrain sont repérés au niveau de ces formations. L'un de ces glissements relevé sur le terrain (noté 22 sur la carte des phénomènes) est un glissement d'un volume d'environ 3 m³ avec des blocs de 10 l environ. Le deuxième glissement (noté 10 sur la carte des phénomènes) est apparu suite à des précipitations et à la rupture d'une canalisation. Ce glissement, non repéré sur le terrain, est identifié dans la base de données Georisque comme glissement circulaire. Son ampleur est d'environ 1 000 m³ avec une largeur d'environ 15 m, une profondeur de la rupture de 15 m et une longueur de 40 m ;

- pour les faciès du Buntsandstein moyen : les glissements de terrain sont très variables dans ces formations. Pour les zones à proximité de route (talus routier), comme le glissement 17, l'intensité est limitée à modérée selon la hauteur du talus. Dans les secteurs boisés, l'intensité peut être plus importante, notamment dans les talwegs où le ravinement et la concentration des ruissellements viennent accentuer le phénomène d'instabilité. C'est le cas pour le glissement 21, survenu dans les années 1970. D'autres phénomènes d'intensité très limitée ont été observés (glissement et reptation superficiels pour les glissements 24 et 37) ;
- pour les faciès du Muschelkalk : des phénomènes de glissements de terrain dans le Muschelkalk sur la commune de Hombourg-Haut ont été observés sur le terrain (niche d'arrachement, sous cavage de 1 m environ). Ces phénomènes sont plutôt d'intensité modérée.

Il convient également de noter que dans les zones urbanisées des phénomènes de reptation peuvent se produire dans les niveaux superficiels de remblai. Ceci est notamment le cas pour le glissement 15 pour lequel les reconnaissances de terrain ont révélé une reptation sur le premier mètre (barrière affaissée, ressaut d'une dizaine de centimètres). Ces glissements restent d'intensité limitée. Le glissement 7, également sur des remblais, ne comprend pas de description (localisé d'après les informations communales).

6.2.5. Synthèse de l'évaluation de l'aléa

En fonction des différents paramètres retenus, quatre niveaux d'aléa ont été définis selon des critères d'intensité et de prédisposition :

		Facteurs aggravants ²	Intensité			
			Limitée	Modérée	Elevée	Très élevée
Prédisposition	Faible	non	Faible	Faible	Moyen	Très fort
		oui	Moyen	Moyen	Fort	
	Moyen	non	Faible	Moyen	fort	Très fort
		oui	Moyen	Fort		
	fort	non	Moyen	Fort	Fort	Très fort
		oui	Fort			Très fort

Illustration 50 : Matrice d'évaluation de l'aléa glissement de terrain

² Incrémentation du niveau d'aléa à l'appréciation de l'expert.

- aléa fort : phénomènes avérés ou potentiels dont le coût des parades est très élevé et/ou techniquement difficile à mettre en œuvre. En cas d'intervention anthropique, le phénomène peut apparaître ou s'amplifier de manière à dépasser très largement le cadre de la parcelle où les travaux étaient en cours ou ont été réalisés ;
- aléa moyen : les phénomènes avérés ou potentiels sont d'ampleur réduite. Les parades financières restent supportables par un groupe restreint de propriétaires (immeubles collectifs, petits lotissements). En cas de perturbation anthropique, un phénomène de même niveau ou de niveau inférieur peut se propager au-delà de la zone de travaux ;
- aléa faible : Les phénomènes avérés (rares) ou potentiels sont d'ampleur réduite. Concernant le budget des parades, il est acceptable par un propriétaire individuel. Une action humaine peut néanmoins entraîner un glissement de faible ampleur, qui restera en général limité à la zone de travaux ;
- aléa nul : Il n'y a pas de risque de mouvement connu. Cependant, cela n'exclut pas l'apparition d'instabilités que les moyens de cette étude n'auraient pas permis de reconnaître.

Il sera noté que le niveau d'aléa très fort, pour lequel aucune parade pérenne ou économiquement envisageable (Mate, 1999) n'a pas été atteint sur la commune de Hombourg-Haut.

6.3. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

Chaque zone distinguée sur la carte d'aléa est matérialisée par une limite et une couleur traduisant le degré d'aléa intéressant la zone.

De nombreuses zones, dans lesquelles aucun phénomène actif n'a été décelé, sont décrites comme étant exposées à un aléa de mouvement de terrain plus ou moins fort. Le zonage traduit un contexte topographique ou géologique dans lequel une modification des conditions actuelles peut se traduire par l'apparition de phénomènes. Les modifications peuvent être très variables tant par leur nature que par leur importance. Les causes les plus fréquemment observées sont les terrassements, les rejets d'eau et les épisodes météorologiques exceptionnels.

La propagation du phénomène de glissement a été pris en compte avec l'établissement d'une zone tampon correspondant à une zone de sécurité au sommet et au pied de versant. Ces zones correspondent en amont à l'aire d'entraînement des matériaux et en aval à l'aire d'atterrissement des matériaux. Le phénomène de propagation tient compte des caractéristiques suivantes :

- plus les masses susceptibles de glisser sont importantes et plus leur aire d'entraînement des matériaux en amont est élevée, et plus la zone de propagation potentielle en aval est étendue ;
- plus la pente est importante et plus la zone de propagation sera importante.

Il est nécessaire d'appliquer cette zone tampon aux limites des zones en aléa (selon la direction du glissement, zone en amont et zone en aval du glissement). Ainsi ont été retenus :

- environ 5 m pour les zones d'aléa de niveau faible ;
- environ 10 m pour les zones d'aléa de niveau moyen ;
- environ 20 m pour les zones d'aléa de niveau fort.

Il convient également de prendre en compte les incertitudes liées à la carte géologique (au 1/50 000) et au MNT (au pas de 25 m). Ainsi, les enclaves d'un niveau d'aléa donné, d'une largeur inférieure à 25 m (soit un pixel environ), englobées dans un aléa d'un niveau supérieur, seront rattachées au niveau d'aléa supérieur, au titre du principe de précaution.

Localement et suivant le contexte, une démarche de type expert conduit à tracer des zones tampons de plus faible ou de plus grande ampleur. En effet, un glissement de grande ampleur peut se propager en pied au-delà de 25 mètres. L'extension du tampon de pied est dans ce cas supérieure à celle du tampon de crête.

Ces zones sont déjà comprises dans la cartographie de la carte d'aléa présentée en Annexe 6.

La commune de Hombourg haut, d'une superficie de 12,25 km² est impactée par :

- 0,37 km² de la commune est concerné par un aléa glissement de terrain de niveau fort. Cette cartographie impacte environ 16 bâtiments ;
- 5,34 km² de la commune sont concernés par un aléa glissement de terrain de niveau moyen ;
- 5,82 km² de la commune sont concernés par un aléa glissement de terrain de niveau faible.

6.4. EXEMPLE DE PRECONISATIONS ET PRESCRIPTIONS REGLEMENTAIRES IMPACTANT L'URBANISME

L'étude menée à l'échelle du 1/5 000^{ème} montre que l'aléa glissements de terrain pourrait avoir certaines conséquences sur l'évolution de l'urbanisme de la commune. Bien que les préconisations et prescriptions réglementaires, restent du ressort des services de l'Etat, dans le cadre de la rédaction d'un règlement du PPR, ces dernières sont proposées pour chaque type d'aléa.

C'est sur cette base de travail que la concertation avec la collectivité permettra d'identifier et de positionner les enjeux ponctuels et zonaux, les futurs projets d'aménagements, à intégrer dans la réflexion du montage du règlement du PPR.

Lorsque le contexte le justifie, des mesures de prévention peuvent être prescrites sur les biens et activités existantes antérieurement à l'approbation du PPR, dans un délai fixé par ce plan. Passé ce délai, le préfet peut ordonner la réalisation de ces mesures aux frais du propriétaire. En application du 4° de la loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 issu de l'article 16 de la loi modificative n° 95-101 du 2 février 1995, titre II, ch. II :

- les travaux de prévention imposés sur de l'existant, constructions ou aménagements régulièrement construits conformément aux dispositions du code de l'Urbanisme, ne peuvent excéder 10 % de la valeur vénale du bien à la date d'approbation du plan ;
- les travaux d'entretien et de gestion courante des bâtiments implantés antérieurement à l'approbation du plan, ou le cas échéant à la publication de l'arrêté mentionné à l'article 6 du décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995, demeurent autorisés sous réserve de ne pas modifier le volume du bâtiment, ni sa destination (le principe étant de ne pas augmenter la vulnérabilité).

6.4.1. Pour les secteurs d'aléa fort

Il s'agit essentiellement des zones à pente supérieure à 50 %, des phénomènes avérés de grandes ampleurs, ou du contexte de fines sur marnes dans des pentes supérieures à 30 %. Ces zones sont également associées à des venues d'eau, facteurs déclencheurs et aggravants des glissements de terrain.

De manière générale, l'état boisé des terrains doit être maintenu et nous préconisons une étude sur la stabilité du sol par un bureau qualifié dans le cas de coupes rases de surface supérieure à 2 ares. L'étude technique devra évaluer l'impact du déboisement sur l'aléa érosion du sol et proposer des parades afin de réduire cet aléa (lutte contre les ravinements qui sont souvent à l'origine de glissement superficiels voire de coulées de boue).

Les principes généraux qui s'appliquent aux zones d'aléas forts sont les suivants :

- l'interdiction des nouvelles constructions ;
- la non augmentation de la population exposée ;
- la non aggravation des risques.

Cas de constructions nouvelles

Compte tenu de l'importance de l'intensité de l'aléa (fort), il est proscrit de construire toute nouvelle construction dans ces secteurs. Une urbanisation dans ces secteurs peut réactiver un ancien phénomène ou en provoquer un nouveau avec une extension de ce dernier en dehors des zones de travaux.

Sous réserve de ne pas pouvoir les implanter dans des zones moins exposées, qu'ils n'accroissent pas les risques et leurs effets, qu'ils ne provoquent pas de nouveau risque et qu'ils n'augmentent pas le nombre de personnes exposées, ni la vulnérabilité des biens et activités existants, peuvent être autorisés les constructions et les travaux suivants :

- les équipements légers de loisir et de plein air (kiosques, sanitaires publics), les installations à vocation sportive et les aménagements associés sans occupation permanente et dans la limite de 20 m² d'emprise au sol, sous réserve de la réalisation d'une étude technique préalable visant à adapter le projet à l'aléa considéré et sous réserve également de la mise en place d'une information à l'attention des futurs utilisateurs sur l'existence de risques naturels et indiquant les mesures de prévention et de sauvegarde à respecter ;
- les travaux d'infrastructures, réseaux techniques (eau, assainissement, électricité, télécommunication, etc.), locaux techniques et installations nécessaires au fonctionnement des services publics ou des services destinés au public, notamment les travaux de desserte routière ou piétonne, l'implantation de mobilier urbain à condition d'être ancré dans le sol, sous réserve que le maître d'ouvrage prenne les dispositions appropriées aux risques et en avertisse le public par une signalisation efficace (par exemple, site interdit en cas d'alerte « fortes pluies ») ;
- les travaux, ouvrages et aménagements destinés à réduire les conséquences des différents risques recensés (murs de soutènements, etc.) afin de protéger des zones déjà construites ou aménagées, sous réserve de mener une étude technique préalable qui précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré et ce sans préjudice du droit des tiers ;
- les carrières dans le respect des réglementations en vigueur (notamment réglementation ICPE), sous réserve qu'une étude d'impact intègre la gestion des risques ;
- les aménagements liés à la desserte collective de parcelles, à condition de démontrer la non-aggravation des risques naturels, sous réserve de mener une étude technique préalable qui précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré et ce sans préjudice du droit des tiers ;
- les espaces verts, sous réserve que toutes les dispositions techniques relatives à la nature du ou des risques soient prises en compte dès la conception. En outre, des panneaux d'information et de signalisation sur les risques destinés au public seront apposés.

Pour la plupart de ces mesures, il est préconisé de réaliser une étude technique préalable destinée à rendre compatible le projet avec le risque considéré. Dans le cadre de la demande d'autorisation de construire ou d'aménager, le pétitionnaire devra fournir une attestation, établie par l'architecte du projet ou un expert certifiant la réalisation de cette étude en application de l'article R431-16 du code de l'urbanisme (cf. chapitre spécifique au contenu des études techniques préalables).

Ces études viseront à évaluer l'impact du projet sur la stabilité de l'unité foncière et des parcelles circonvoisines et définiront les moyens de conserver cette stabilité y compris en phase de travaux.

La construction de toute retenue d'eau (piscine, bassin, étang, etc.) est proscrite du fait du risque d'apport massif d'eau susceptible de favoriser un mouvement de terrain, en cas de défaillance de l'ouvrage dans le temps (défaut d'entretien ou endommagement de la retenue d'eau). Par ailleurs, ce type d'aménagement augmenterait l'exposition des personnes.

Cas de constructions existantes

Compte tenu de l'importance de l'intensité de l'aléa (fort), il est proscrit toutes modifications pouvant entraîner une augmentation de l'importance de l'enjeu et sa vulnérabilité. Par corolaire, tous travaux et aménagements de nature à réduire le risque par la diminution de l'importance de l'enjeu, de la vulnérabilité ou de l'intensité du mouvement de terrain sont autorisés sous réserve de mener une étude technique préalable qui précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré et ce sans préjudice du droit des tiers.

En cas de modification ou de création d'ouvertures sur des bâtiments existants qui entraînent une modification de structure, une étude signée par un professionnel de la construction attestant de la prise en compte du problème de descente de charge est également préconisée.

Dans le cas de l'existant positionné sur une zone d'aléa fort, il est préconisé de réaliser une étude technique (cf. chapitre spécifique) qui spécifiera la nature et la stabilité des terrains, les modalités de drainage ou d'irrigation, ainsi que les moyens de confortement nécessaires pour réduire le risque.

Il est préconisé de maîtriser les eaux collectées et de ruissellement (suppression des puisards, obligation de raccordement aux réseaux des communes ou de mise en place de fosses étanches, drainage) afin de les rejeter hors de toutes zones sensibles à l'apport d'eau (notamment en dehors du pied de versant).

Sous réserve de ne pas pouvoir les implanter dans des zones moins exposées, qu'ils n'accroissent pas les risques et leurs effets, qu'ils ne provoquent pas de nouveau risque et de ne pas augmenter le nombre de personnes exposées et la vulnérabilité des biens et activités existants, sont autorisés les mesures suivantes :

- les travaux d'entretien, de réparation et de gestion courante des constructions et des installations implantées antérieurement à la publication du présent plan (notamment les aménagements intérieurs, les traitements et ravalements de façade, les modifications d'aspect extérieur, les réfections et réparations de toitures). Les travaux autorisés devront se faire à emprise au sol au plus égale à l'emprise initiale ;
- les travaux strictement nécessaires à la mise en sécurité des constructions recevant du public et ceux destinés à améliorer l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite, si aucune solution de délocalisation n'existe (la justification devra être apportée au moment de la demande d'autorisation) ;
- les changements de destination allant dans le sens d'une diminution de la vulnérabilité, sans création de logements supplémentaires ;

- les reconstructions de biens sinistrés en application de l'article L.111-3 du code de l'urbanisme, sauf en cas de sinistre dû à un des aléas naturel objet du PPR, autres que celles d'établissements sensibles, sous les conditions suivantes :
 - qu'il n'y ait pas d'augmentation de l'emprise au sol et que ce soit sur la même unité foncière ;
 - qu'il n'y ait pas d'augmentation du nombre de logements ;
 - que la construction ait été régulièrement édifiée ;
 - qu'une attestation établie par l'architecte du projet ou par un expert soit fournie, en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme, afin de s'assurer de la réalisation d'une étude technique préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions.

6.4.2. Pour les secteurs d'aléa moyen

Il s'agit essentiellement des zones où sont cartographiés :

- des formations marno-calcaires sur des pentes supérieures à 20 % ;
- des formations grossières sur grès sur des pentes supérieures à 30 % ;
- des phénomènes avérés de petites à moyenne ampleurs (reptation).

Les venues d'eau peuvent constituer un facteur aggravant pour les phénomènes de glissements de terrain.

De manière générale, l'état boisé des terrains devrait être maintenu et nous préconisons une étude sur la stabilité du sol par un bureau qualifié dans le cas de coupes rases de surface supérieure ou égale à 0,5 hectare. L'étude devra évaluer, l'impact du déboisement sur l'aléa érosion du sol et proposer des parades afin de réduire cet aléa (lutte contre les ravinements qui sont souvent à l'origine de glissement superficiels voire de coulée de boue).

Cas de constructions nouvelles

Les zones à aléa moyen sont réputées constructibles mais généralement subordonnées à la réalisation d'études techniques préalables à la construction.

Les principes généraux qui s'appliquent sur cette zone sont les suivants :

- permettre une densification de l'habitat ou l'ouverture de nouvelles opérations d'aménagement tout en intégrant les risques mouvements de terrain dès la conception des projets ;
- ne pas aggraver les risques et les conditions d'écoulement.

Sous réserve qu'ils n'accroissent pas les risques et leurs effets, qu'ils ne provoquent pas de nouveaux risques et qu'ils n'augmentent pas la vulnérabilité des biens et activités, sont autorisées les mesures suivantes :

- les travaux, ouvrages et aménagements destinés à réduire les conséquences des différents risques recensés (murs de soutènements, etc.) afin de protéger des zones déjà construites ou aménagées, sous réserve de mener une étude technique préalable qui précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré et ce sans préjudice du droit des tiers ;
- les aménagements liés à la desserte collective de parcelles, à condition de démontrer la non-aggravation des risques naturels, sous réserve de mener une étude technique préalable qui précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré et ce sans préjudice du droit des tiers ;
- les carrières dans le respect des réglementations en vigueur (notamment réglementation ICPE), sous réserve qu'une étude d'impact intègre la gestion des risques ;
- les talus et soutènements d'une hauteur n'excédant pas hors sol 2 m ou justifiés par une étude géotechnique de dimensionnement si leurs hauteurs dépassent hors sol les 2 m qui précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré et ce sans préjudice du droit des tiers ;
- les opérations d'aménagement au sens du code de l'urbanisme sous réserve de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des aménagements projetés. Au moment du dépôt du permis d'aménager, une attestation établie par l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions. Pour les opérations d'aménagement de type ZAC, l'étude d'impact du dossier de création de la ZAC devra intégrer un volet risques naturels qui explicitera les contraintes liées aux différents aléas et précisera les mesures de sécurisation nécessaires. Le programme des équipements publics joint au dossier de création de la ZAC devra comprendre les travaux et ouvrages de protections nécessaires à la sécurisation de la zone ;
- l'aménagement de stationnements individuels liés à un logement ou de surfaces imperméabilisées, sous réserve de ne pas empêcher le libre écoulement des eaux et de collecter et évacuer vers les réseaux publics les eaux pluviales et de ruissellement ;
- les piscines (bassin, étang) à condition de démontrer la non-aggravation des risques naturels, sous réserve de mener une étude technique préalable qui précisera les conditions dans lesquelles le projet sera rendu compatible avec l'aléa considéré. Cette étude devra traiter des questions de stabilité de la zone concernée avant et après travaux, ainsi que du recueil et du rejet des effluents vers des exutoires adaptés et existants en cas de fuite ;

- les systèmes d'épuration autonomes individuels sont autorisés sous réserve de la réalisation d'une étude de faisabilité. Une attestation établie par l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable traitant notamment de l'infiltration vis-à-vis des aléas mouvements de terrain, et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;
- les constructions et installations nécessaires à l'exploitation agricole ou forestière, sous réserve de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des constructions projetées. Au moment du dépôt du permis de construire ou d'aménager une attestation établie par un architecte ou un expert agréé sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;
- la création ou l'aménagement de stationnements souterrains et de sous-sols sous réserve de garantir une stabilité géotechnique, afin d'assurer une sécurité totale pour les biens et les personnes. Pour cela une étude préalable permettant de déterminer les conditions de réalisation et d'utilisation est exigée. En application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme, une attestation établie par l'architecte du projet ou l'expert certifiant la réalisation de cette étude est exigée lors du dépôt du dossier de demande d'autorisation ;
- les espaces verts, sous réserve que toutes les dispositions techniques relatives à la nature du ou des risques soient prises dès la conception ;
- les équipements légers de loisir et de plein air (kiosques, sanitaires publics), les installations à vocation sportive et les aménagements associés, sous réserve de la réalisation d'une étude technique préalable visant à adapter le projet à l'aléa considéré. Au moment du dépôt du permis, une attestation établie par un l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme ;
- les centres de gestion des déchets et des produits polluants ou dangereux (centre de tri, centre de transit, déchetterie, centre de stockage, centre de traitement, etc.) sous réserve d'une étude technique préalable. Une attestation sera établie par l'architecte du projet ou un expert, exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme, afin de s'assurer la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;
- les travaux d'infrastructures, réseaux techniques (eau, assainissement, électricité, télécommunication, etc.), locaux techniques et installations nécessaires au fonctionnement des services publics ou des services destinés au public, notamment les travaux de desserte routière ou piétonne, l'implantation de mobilier urbain à condition d'être ancré dans le sol, sous réserve que le maître d'ouvrage prenne les dispositions appropriées aux risques ;
- l'installation d'unités de production d'énergie renouvelable, sous réserve du respect de la prise en compte des prescriptions d'une étude technique préalable associée à une étude d'impact exigée réglementairement par le code de l'environnement, dont l'objectif est de minimiser l'impact du projet sur les différents aléas.

Il est préconisé que toute construction nouvelle soit conçue pour résister au fluage.

Cas de constructions existantes

Dans le cas d'une modification d'un logement qui augmente l'importance de l'enjeu ainsi que sa vulnérabilité, une attestation, signée d'un expert justifiant d'études techniques réalisées par un professionnel est préconisée.

En cas de modification ou de création d'ouvertures sur des bâtiments existants qui entraînent une modification de structure, une étude signée par un professionnel de la construction attestant de la prise en compte du problème de descente de charge est également préconisée.

De plus, afin de prévenir les apports d'eau accidentels pouvant altérer la stabilité des terrains, il est préconisé de suivre le risque de fuite des constructions de retenue d'eau (drainage périphérique notamment).

Sous réserve qu'ils n'accroissent pas les risques et leurs effets, qu'ils ne provoquent pas de nouveau risque et de ne pas augmenter la vulnérabilité des biens et activités, sont autorisées les mesures suivantes :

- les travaux d'entretien, de réparation et de gestion courante des constructions et des installations implantées antérieurement à la publication du présent plan, notamment les aménagements intérieurs, les traitements et ravalements de façade, les modifications d'aspect extérieur, les réfections et réparations de toitures ;
- les constructions et extensions nouvelles au sol à usage d'habitations, de locaux d'activités et de commerces sous réserve de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des constructions projetées. Au moment du dépôt de la demande, une attestation établie par l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;
- les extensions par surélévation des habitations, des hébergements, des commerces et activités sous réserve de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des constructions projetées. Une attestation établie par l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions ;
- la création et l'extension des établissements sensibles, en particulier les établissements recevant du public (ERP), à la condition de réaliser une étude technique préalable afin de déterminer les conditions de réalisation des constructions projetées. Une attestation établie par l'architecte du projet ou un expert sera exigée en application de l'article R.431-16 du code de l'urbanisme afin de s'assurer de la réalisation de cette étude préalable et de la conformité du projet avec ses prescriptions.

6.4.3. Pour les secteurs d'aléa faible

Il s'agit essentiellement des zones où sont cartographiés :

- des formations marco-calcaires sur des pentes inférieures à 20 % ;
- des formations grossières sur grès sur des pentes inférieures à 30 %.

Les venues d'eau peuvent augmenter la prédisposition aux glissements de terrain des secteurs d'aléa faible.

Dans les zones d'aléas faibles, d'une manière générale, les aménagements et constructions sont autorisées sous réserve de respecter les dispositions et mesures de prévention d'ordre générales détaillées dans le chapitre spécifique.

Pour les projets de grande ampleur tels que immeubles collectifs, surfaces commerciales ou lotissements qui peuvent entraîner des hauteurs de décaissement ou de remblaiement supérieures à 2 m (fondations, terrassements, remblais, etc.), il est préconisé d'apporter une attestation justifiant d'une étude technique qui visera à évaluer l'impact du projet sur la stabilité de l'unité foncière et des parcelles circonvoisines et définira les moyens de conserver cette stabilité y compris en phase de travaux.

La réalisation de retenues d'eau, de piscines et de bassins est envisageable sous réserve que le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre fassent apparaître dans le projet une étude justifiant de la prise en compte du risque par la mise en œuvre de drainage périphérique, avec rejet dans le réseau communal ou dans une zone non sensible en cas de fuite.

6.4.4. Pour les secteurs d'aléa nul

Il s'agit généralement des secteurs dont la pente est inférieure à 5 %. L'exploitation des données de l'inventaire départementale sur les mouvements de terrain montre l'absence de glissements au-dessous de cette valeur.

Aucune prescription particulière n'est édictée si ce n'est de respecter le principe de précaution qui consiste à éviter de générer des aléas par la réalisation d'aménagements non contrôlés. Les mesures et dispositions générales s'appliquent à tout le territoire y compris dans les zones d'aléa nul.

Même si ces zones ne sont pas réglementées, les règles de l'art et les règlements usuels en terme de construction s'y appliquent (Documents techniques Unifiées, Normes, etc.).

6.4.5. Dispositions générales applicables à tout le territoire

Par ailleurs les dispositions générales suivantes sont applicables à tout le territoire communal.

SONT INTERDITS

- la reconstruction de bâtiments détruits par un mouvement de terrain ;
- les déboisements et défrichements des pentes d'encaissement de ravines et versants supérieures ou égales à 50%, à l'exception de ceux réalisés en accord des services compétents (ONF, etc.) et concernant notamment les remises en terre agricole de friches.

PRESCRIPTIONS RELATIVES AUX REGLES DE CONSTRUCTION

- Prescriptions relatives aux eaux usées, pluviales ou de drainage

Les eaux récupérées par le drainage, les eaux pluviales éventuellement collectées ainsi que les eaux usées seront évacuées dans les réseaux existants ou vers un émissaire naturel capable de recevoir un débit supplémentaire sans aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, inondation, glissement ou effondrement de terrains).

Les ouvrages de collecte, de traitement et de rejet devront être entretenus et surveillés par leur propriétaire, et ce régulièrement et notamment après chaque forte précipitation.

- Prescriptions relatives aux aménagements extérieurs

Des soutènements, dispositifs anti-érosion ou toute autre disposition assurant la stabilité doivent être envisagés pour tout talus de déblai de hauteur supérieure à 2 m. Les ouvrages de soutènement qui seraient nécessaires doivent être calculés suivant les règles de l'art.

Lors de la création de talus de pente supérieure à 33°, des mesures de protection des personnes et des biens doivent être recherchées par le maître d'ouvrage :

- mesures actives telles que l'équipement des talus avec des grillages, boulonnages, etc. ;
- mesures passives telles que des murs et clôtures renforcés.

Dans tous les cas, les terrassements ou talutages seront réalisés avec des soutènements dimensionnés et adaptés au contexte géotechnique et géologique et seront drainés.

6.4.6. Mesures générales applicables à tout le territoire

Les recommandations générales qui suivent sont applicables sur l'ensemble du territoire communal quel que soit le classement réglementaire des terrains dans le PPR :

- d'une manière générale, les aménagements ne doivent pas aggraver les risques naturels existants et leurs effets (y compris durant la phase « chantier ») ;
- Il est préconisé de prendre en compte la présence de berges de plus d'un mètre de hauteur et les flancs de ravines et pente localement supérieure à 30 %. Toutes les zones de berges n'ont pas été cartographiées. Aussi, dans le cas des berges, il est préconisé soit une étude géotechnique dans le cas d'une construction en bordure même de la berge, soit d'éloigner l'enjeu d'au minimum 5 m de la berge ;
- les eaux pluviales doivent être collectées par des réseaux d'assainissement appropriés (fossés, drainage...) et évacuées vers des exutoires capables de les recevoir. Les gestionnaires de ces réseaux veilleront à assurer la surveillance et l'entretien des ouvrages ;
- les sols particulièrement soumis aux risques d'érosion doivent être plantés d'espèces végétales stabilisatrices et anti-érosives.

6.4.7. Etudes techniques préalables

Dans certaines zones du PPR, du fait de l'intensité et la fréquence de l'aléa, la constructibilité est conditionnée à la réalisation d'une étude technique préalable destinée à rendre compatible le projet (constructions, installations, ouvrages ou équipements) avec le risque considéré. Cette étude devra déterminer les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation du projet (adaptations du projet au site) et préciser que ce projet prend en compte ces conditions au stade de la conception.

Ainsi, le demandeur d'autorisation de construire ou d'aménager devra fournir une attestation, établie par l'architecte du projet ou par un expert, certifiant la réalisation de cette étude en application de l'article R 431-16 du code de l'urbanisme.

Cette étude devra être réalisée par un bureau d'études techniques spécialisé, conformément aux prescriptions de la norme NF P94-500 de novembre 2013. L'étude technique devra prendre en compte les données de ce présent rapport avec notamment les phénomènes qui y sont décrits.

L'étude devra en particulier répondre aux principaux objectifs suivants :

- préciser la nature et l'intensité des phénomènes à risque de mouvement de terrain (chutes de blocs, éboulements, glissements, fluages, solifluxion, effondrements, coulées de boue) pouvant affecter le projet ou qui pourraient être induits par le projet, ainsi que les conséquences qu'ils pourraient provoquer sur le projet ou sur son environnement (bassin de risque) ;

- proposer des principes généraux de construction, ainsi que des solutions techniques de mise en sécurité et d'aménagement, adaptées au projet et à son contexte d'exposition aux risques de mouvement de terrain, tant à long terme qu'en phase de travaux ;
- aborder les problématiques relatives aux fondations, aux terrassements et à la gestion des eaux (usées et pluviales) et définir les mesures appropriées relatives à ces problématiques pouvant affecter le projet ou qui pourraient être induits par le projet ;
- proposer les principes pour la mise en œuvre de l'assainissement non collectif quand l'équipement existant et/ou l'aménagement en projet est concerné.

Selon le contexte géomorphologique, les caractéristiques du projet, son ampleur, les moyens techniques à mobiliser in situ, cette étude pourra être de type G1 (étude géotechnique préalable), G2 (étude géotechnique de conception) ou G5 (diagnostic géotechnique) selon la norme NF P94-500 de novembre 2013. Le contenu de ces missions est détaillé dans les tableaux des Illustration 51 et Illustration 52.

On entend par bassin de risque :

- la parcelle sur laquelle sera réalisé le projet proprement dit ;
- les terrains en amont ou latéraux où :
 - tout mouvement de terrain en se propageant pourrait induire des conséquences préjudiciables sur le projet ;
 - le projet pourrait de lui-même générer des instabilités ;
 - des instabilités initiées sur la parcelle de projet pourraient régresser en amont.
- les terrains en aval ou latéraux où :
 - tout mouvement de terrain pourrait induire des conséquences préjudiciables sur le projet par régression dans la pente ;
 - le projet pourrait de lui-même générer des instabilités ;
 - des instabilités initiées sur la parcelle de projet pourraient se propager.

Le prestataire interprétera les résultats obtenus dans son analyse afin de définir les mesures de sécurisation adaptées au projet et qui permettront de ne pas aggraver les risques sur le long terme.

Le prestataire chargé de l'étude géotechnique procèdera, à l'échelle du bassin de risques considéré, à une analyse :

- du contexte géologique, hydrogéologique et géotechnique. Il s'agira de définir la nature et les caractéristiques des formations en place afin notamment d'identifier les formations sensibles à ces problématiques. Dans ce cadre, le prestataire définira la nécessité éventuelle, et le cas échéant le contenu (nombre, nature, localisation, etc.), de sondages et/ou d'essais in situ pour caractériser au mieux les formations en place ;
- des facteurs aggravants pouvant favoriser le déclenchement de ces aléas : par exemple la présence de surcharge amont (route, bâtiment, remblai), de rejets d'eau mal maîtrisés, d'assainissement non collectif pouvant induire une saturation permanente des terrains, de terrassements non contrôlés, etc. ;
- d'évaluer la stabilité des terrains à partir des hypothèses et informations recueillies au préalable, avec et sans le projet afin notamment de définir les mesures de sécurisation adaptées pour garantir la stabilité du projet et pour éviter d'aggraver la situation vis à vis des risques naturels.

Le prestataire ayant une obligation de résultat, il est de sa responsabilité d'apprécier la nécessité de recourir à un logiciel de modélisation (stabilité de pentes notamment) afin de déterminer la nature et la localisation des ouvrages de protection, ainsi que leur dimensionnement.

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage	Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux		
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Illustration 51 : Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (norme NF P94-500, 30/11/2013)

<p>L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.</p>
<p>ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)</p> <p>Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :</p> <p><u>Phase Étude de Site (ES)</u></p> <p>Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisnants avec visite du site et des alentours. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs. <p><u>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).
<p>ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)</p> <p>Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :</p> <p><u>Phase Avant-projet (AVP)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisnants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques. <p><u>Phase Projet (PRO)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisnants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités. <p><u>Phase DCE / ACT</u></p> <p>Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel). — Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

Illustration 52 : Classification des missions d'ingénierie géotechnique (norme NF P94-500, 30/11/2013)

7. Cartographie de l'aléa « Coulées de boue »

7.1. COULEE DE BOUE DEFINITION

D'après la norme GASPAR, l'aléa « coulées de boue » entre dans la catégorie de risque naturel d'inondation appelé « par ruissellement et coulée de boue » et codifiée « 1140000 ».

codeRisque	nomRisque
1120000	Inondation - Par une crue à débordement lent de cours d'eau
1130000	Inondation - Par une crue torrentielle ou à montée rapide de cours d'eau
1140000	Inondation - Par ruissellement et coulée de boue
1150000	Inondation - Par lave torrentielle (torrent et talweg)
1160000	Inondation - Par remontées de nappes naturelles
1170000	Inondation - Par submersion marine
1210000	Mouvement de terrain - Affaissements et effondrements liés aux cavités souterraines (hors mines)
1230000	Mouvement de terrain - Éboulement, chutes de pierres et de blocs
1240000	Mouvement de terrain - Glissement de terrain
1250000	Mouvement de terrain - Avancée dunaire
1260000	Mouvement de terrain - Recul du trait de côte et de falaises
1270000	Mouvement de terrain - Tassements différentiels

Illustration 53 : Liste d'une partie des risques naturels repertoriés dans la norme GASPAR

D'après Wikipédia, une coulée de boue est un mouvement de terrain très fluide composé d'au minimum de 30 % d'eau et d'au moins 50 % de limons et/ou argile.

Ou bien encore, une coulée de boue est une masse qui se propagent à grande vitesse (jusqu'à 80 km/h) et qui a franchi sa limite de liquidité (mélange d'eau et de matériaux aillant perdus leur cohésion).

7.2. COULEE DE BOUE VERSUS EROSION

Le travail consiste à étudier l'aléa « coulée de boue ». Un aléa c'est la probabilité d'occurrence d'un phénomène d'une intensité donnée. Dans le cadre des coulées de boue, la probabilité de retours des coulées de boue est en partie dictée par les événements climatiques. Dans cette étude, seul l'aspect de l'intensité des coulées de boue est abordé. Pour former une coulée de boue, il faut d'abord arracher du sédiment au sol qui sera ensuite transporté et déposé dans les zones en aval. C'est la quantité de matière transportée ainsi que le couple hauteur/vitesse qui constituent l'intensité de l'aléa coulée de boue. Nous nous intéresserons donc à l'érosion des sols qui fournissent la matière transportée.

L'objectif de cette étude étant ensuite de proposer des parades au niveau des zones très susceptibles à l'érosion pour freiner voir supprimer le phénomène d'érosion générateur de coulée de boue.

7.3. CHAMP DE L'ETUDE

L'emprise de l'étude porte sur la commune de Hombourg-Haut. Cependant, les ruissellements et sédiments transportés le long de chaque talweg proviennent de l'ensemble du bassin versant. Les limites d'un bassin versant sont définies dans ce cas par les lignes de crêtes (en bleu sur l'illustration 54).

C'est pourquoi au Sud-Est de la commune de Hombourg-Haut, le secteur d'étude a été étendu à quelques parcelles situées sur les communes de Betting et Guenviller. Sur ce secteur, la topographie permet l'écoulement des eaux de pluie vers la commune de Hombourg-Haut.

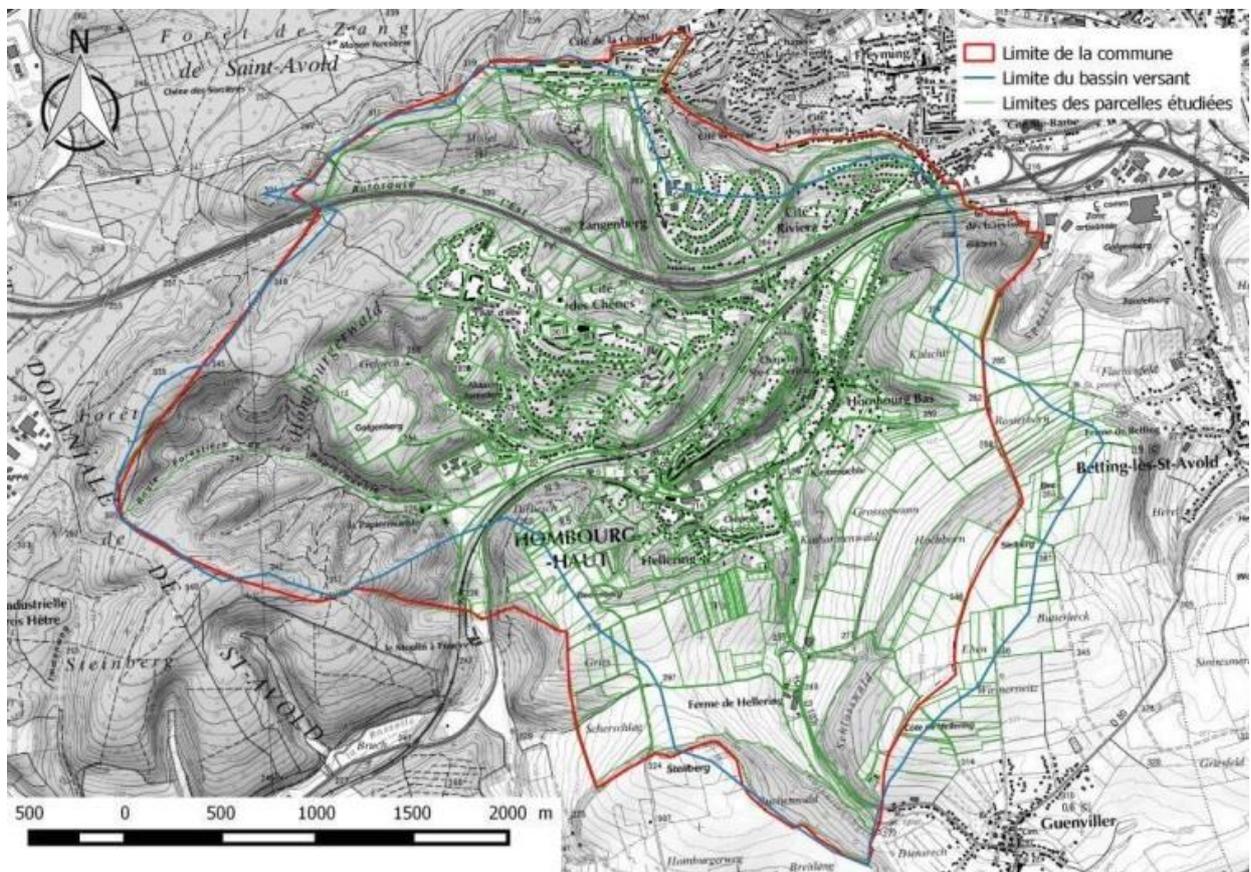


Illustration 54 : Localisation du bassin versant de Hombourg-Haut

7.4. TYPOLOGIE DES PHENOMENES ETUDIES

Avant d'être transportés par une coulée de boue, les particules de sol sont arrachées par l'érosion et transportées par le ruissellement de l'eau. Les différents types d'érosion des sols sont présentés ci-dessous, puis la définition des coulées de boue sera établie.

7.4.1. L'érosion des sols

L'érosion est due, entre autre, à l'arrachage et le transport par l'eau ou le vent, des particules du sol. Seule, l'érosion par l'eau sera prise en compte.

L'érosion du sol a lieu lorsque les eaux de pluie ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol et ruissellent sur le terrain en emportant avec elles des particules de sol. Le ruissellement des eaux de pluie à la surface du sol peut par exemple s'expliquer soit par l'intensité des pluies qui est supérieure à la capacité d'infiltration du sol, soit par le fait que le sol est déjà saturé en eau. Jusque dans les années 1970, l'érosion était expliquée uniquement par les fortes pentes et/ou les fortes précipitations. Actuellement, il est reconnu que l'érosion des sols est également influencée par l'occupation de ses sols. Par exemple, à pente équivalente, un vignoble s'érode plus rapidement qu'un terrain en forêt.

De manière schématique, il existe deux types d'érosion : l'érosion diffuse et l'érosion linéaire.

L'érosion diffuse est issue d'une lame d'eau d'une faible épaisseur qui s'écoule sur la surface du sol de manière diffuse. L'impact des gouttes de pluie est le principal acteur du détachement des particules du sol qui initie le début de l'érosion. Les particules de sol sont ainsi érodées sur l'ensemble de la surface du sol, d'où le nom d'érosion diffuse. Le transport des particules se fait à courte distance d'une part par la goutte de pluie qui projette les particules fines lors de son impact avec le sol et d'autre part par les flaques d'eau qui débordent les unes dans les autres.

La remontée de cailloux en surface est également un marqueur de l'érosion diffuse (Illustration 55). Les cailloux, trop lourds pour être emportés s'accumulent tandis que les particules fines du sol sont emportées. On parle alors de sélectivité.



Illustration 55 : « Il n'y a que des pierres qui poussent dans ce champs », un marqueur de l'érosion diffuse.

L'érosion linéaire est l'érosion des particules qui se concentre dans un talweg. Dans ce cas, c'est l'énergie de l'eau qui se déplace qui est à l'origine de l'arrachement des particules. L'érosion linéaire est en général localisée sur les lignes de plus grande pente ou dans les rigoles déjà existantes. Le ruissellement diffus à l'amont alimente le ruissellement linéaire à l'aval. En effet, lorsque la vitesse d'écoulement d'une flaque d'eau à une autre dépasse les 20 cm/s, l'arrachement des particules par le cours d'eau peut-être possible (fonction de la texture et de la structure des matériaux) et une rigole peut se former. La valeur d'écoulement de 20 cm/s est explicable par le diagramme de Hjulström (Illustration 56) :

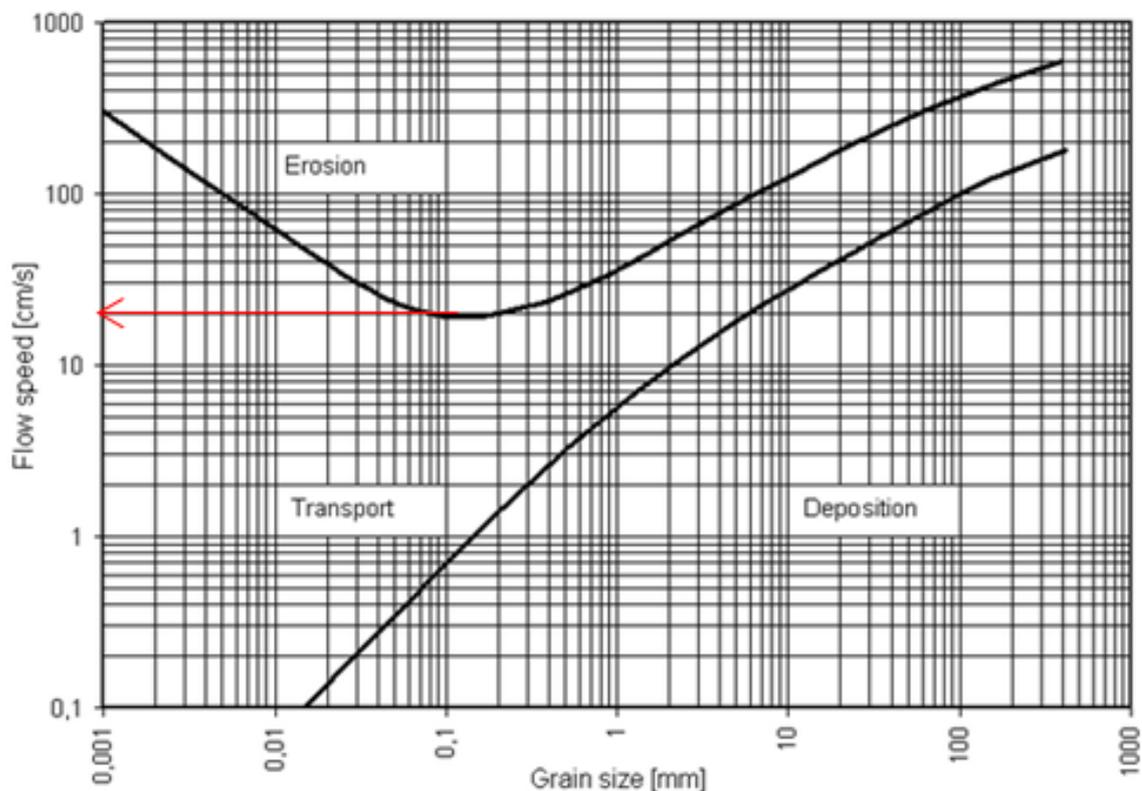


Illustration 56 : Diagramme de Hjulström montrant la phase d'érosion, de transport et de dépôt en fonction de la taille de la particule (abscisse) et de la vitesse d'écoulement de l'eau (ordonnée)

7.5. LES FACTEURS DE L'ÉROSION ET LES PRÉCIPITATIONS.

De ces facteurs va dépendre la probabilité plus ou moins forte d'occurrence des coulées boueuses. Il est donc indispensable de définir leur rôle et leur poids respectif dans l'initiation de ces phénomènes.

7.5.1. Les facteurs de prédisposition

La pente : une pente minimale est nécessaire pour l'érosion et la propagation des coulées de boue. Comme nous l'avons vu, une énergie minimale (vitesse d'écoulement) est nécessaire pour l'évolution de l'érosion diffuse en érosion linéaire. Cette énergie minimale dépend de la pente du terrain afin de propager la coulée de boue. Sur un terrain plat, l'eau va stagner et l'érosion pourra être négligeable.

Dans le cas de Hombourg-Haut, le calcul de direction et d'intensité des pentes est réalisé directement à partir du modèle numérique de terrain disponible au pas de 5 m.

Les seuils de pente pris en compte pour la modélisation par l'application STREAM qui est un logiciel simulant le ruissellement et l'érosion en contexte agricole, sont les suivants :

- 0 à 2 % de pente ;
- 2 à 4 % de pente ;
- 4 à 8 % de pente ;
- Plus de 8 % de pente.

Le faciès du sol : chaque faciès de sol présente une capacité d'infiltration qui lui est propre, ce qui influence l'intensité d'érosion. Par exemple, un sol ayant une capacité d'infiltration importante limitera le ruissellement et par corolaire l'érosion. Par contre, la formation d'une croûte de battance, phénomène dépendant du faciès du sol, empêchera l'eau de s'infiltrer dans le sol qui ruissellera donc et favorisera l'érosion.

La croûte de battance se forme principalement sur sols limoneux lors de fortes pluies. Les gouttes d'eau brisent mécaniquement les agrégats de sol, il en résulte de fines particules qui sont projetées alentour (phénomène appelé « effet splash »). Si ces particules restent sur place, elles vont s'agglomérer entre elles et fermer le sol à toutes infiltrations. A la prochaine pluie, l'eau ruissellera sur cette croûte, emportant des particules de sol avec elle.

Pour la modélisation avec le modèle stream, nous avons différencié sur le terrain quatre stades de fermeture du sol (Darboux et Algayer, 2013) :

- le stade fragmentaire, les mottes de sol sont parfaitement visibles. Il n'y a pas de dégradation du sol. Ce stade est nommé F0 (Illustration 57) ;
- le premier stade de dégradation, correspondant à la formation d'une croûte de battance. Ce stade est nommé F1 (Illustration 58) ;
- le second stade de dégradation, correspondant à la formation d'une croûte sédimentaire dans les dépressions et à une croûte de battance sur le restant du sol. Ce stade est nommé F12 (Illustration 59) ;
- le stade sédimentaire, la croûte sédimentaire est généralisée à toute la surface du sol. La croûte sédimentaire se différencie de la croûte de battance par sa séparation du sol sous-jacent. Ce stade est nommé F2 (Illustration 60).



Illustration 57 : Stade fragmentaire (F0).



Illustration 58 : Premier stade de dégradation (F1)



Illustration 59 : Second stade de dégradation (F12)



Illustration 60 : Stade sédimentaire (F2)

La couverture végétale : plus la couverture végétale est importante, plus l'érosion est limitée. Les plantes présentent trois caractéristiques importantes qui influencent l'érosion.

Premièrement, la couverture végétale amoindrit l' « effet splash ». L'énergie mécanique des gouttes est en partie absorbée par la couverture végétale, ce qui limitera la formation de la croûte de battance.

Les plantes jouent également un rôle important dans le retardement du ruissellement. L'énergie cinétique de l'eau est diminuée.

Enfin, les racines des plantes maintiennent la structure du sol en place et empêchent ainsi les particules d'être transportées par l'eau. Dans cette étude, la couverture végétale est divisée en trois catégories :

- couverture végétale comprise entre 0 % et 20 % de la surface ;
- couverture végétale comprise entre 21 % et 60 % de la surface ;
- couverture végétale comprise entre 61 % et 100 % de la surface.

Un taux de couverture végétale de 100 % est défini si toutes les gouttes de pluie touchent la végétation avant de toucher le sol nu (par exemple la forêt en zone tempérée).

L'occupation du sol : le pourcentage de surfaces de sol que les pratiques agricoles vont laisser nues dans l'espace ou le temps joue comme premier facteur dans l'érosion. En second lieu, le type de plante occupant une parcelle modifie l'intensité de l'érosion car les racines des plantes fixent le sol et permettent l'infiltration de l'eau. Les racines du blé sont différentes des racines des plans de maïs ou des plantes des sous-bois. Ainsi il est nécessaire de cartographier l'occupation des sols sur le secteur d'étude.

Sur la commune de Hombourg-Haut, nous avons recensé 17 types d'occupation du sol (Illustration 61) :

Maïs	Verger	Prairie permanente
Blé	Trèfle	Friche
Orge	Chantier de récolte de blé ou d'orge	Marre
Espace forestier	Chemin de terre tassé	Labour
Prairie fauchée	Ferme	Maison ou jardin
Bâtiments	Route	Chemin de terre tassé

Illustration 61 : Différents types d'occupation du sol référencé pour cette étude

Le travail du sol : le travail agricole d'un champ crée des chemins d'écoulement préférentiel. Les ornières des tracteurs et les sillons des labours sont des voies qui entraînent le ruissellement, surtout si les lignes de travail sont orientées dans le même sens que la pente.

L'importance du travail du sol dans l'érosion se retrouve aussi dans le temps après les récoltes et lorsque le labour n'est pas encore réalisé. Dans ce cas, l'infiltration de l'eau est très faible. L'eau ruisselle en érodant le sol. L'effet est d'autant plus important si une croûte s'est formée sur le terrain. Si le sol est labouré, la croûte sera brisée, l'eau s'infiltrera plus dans le sol. La rugosité du sol sera également augmentée, ralentissant le ruissellement et donc le départ des particules du sol.

L'azimut du sens de travail du sol est mesuré en degrés par rapport au Nord.

La rugosité du sol : la rugosité du sol est caractéristique de l'état de surface du sol qui traduit la présence d'aspérités et d'irrégularités topographiques. Il a été constaté que : plus la rugosité du terrain est élevée, plus l'érosion diffuse du sol est forte et plus l'érosion linéaire est faible.

Pour ce projet, six classes de rugosité du sol ont été définies :

- 0 à 1 cm ;
- 1 à 2 cm ;
- 2 à 5 cm ;
- 5 à 10 cm ;
- 10 à 15 cm ;
- Plus de 15 cm.

Les chemins d'eau : l'eau emprunte des chemins préférentiels tels que les fossés ou les routes.

Sur la commune de Hombourg-Haut, les fossés et les dérayures sont situés principalement en bordure de chemins. Sur les chemins de terre, les ornières des tracteurs sont également considérées comme des fossés car leur comportement vis-à-vis de la circulation de l'eau est le même.



Illustration 62 : Ornières de tracteur sur un chemin de terre

Les routes sont des surfaces imperméables, le ruissellement y est donc prononcé. La propagation des coulées de boue se fait donc de manière facilitée sur les routes.

7.5.2. Le facteur des précipitations

Les précipitations : Les précipitations les plus à même de provoquer une érosion sont les pluies violentes, de courtes durées telles que les orages d'été. Lors d'un orage d'été, sur un sol généralement sec, la capacité d'infiltration du sol est inférieure aux précipitations. L'eau va alors ruisseler en érodant le sol.

Les précipitations antécédentes (état de saturation du sol) : les pluies antécédentes sont responsables de la saturation en eau du sol. Pour notre projet, nous avons étudié les pluies tombés durant les 48 heures précédant l'évènement pluvieux simulé.

Si les précipitations précèdent l'évènement pluvieux étudié sont importantes, le sol est saturé en eau, la pluie ne peut donc plus s'infiltrer et ruisselle, provoquant l'érosion des sols.

7.6. LA CARTOGRAPHIE DE L'EROSION SUR LA COMMUNE (MODELE STREAM)

La cartographie de l'aléa érosion des sols se fait à l'aide d'une application de modélisation appelé : STREAM (« *Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management* » en français : imperméabilisation, transfert par ruissellement et érosion en relation avec la gestion agricole). Cette application a été développée par des ingénieurs de l'Institut National de Recherche Agronomique, l'INRA (Couturier et al. 2013).

STREAM est un logiciel simulant le ruissellement et l'érosion en contexte agricole. Il est utilisé par 70 structures (laboratoires de recherche français et étrangers ; agences de l'eau et chambres d'agriculture ; bureaux d'étude) pour notamment proposer des réaménagements au sein des bassins versants. Il a été conçu pour avoir peu de paramètres en entrées et pour que ces paramètres soient facilement mesurables. Il a pour autre originalité de simuler le réseau d'écoulement en prenant en compte les directions de travail du sol (et pas uniquement le MNT), améliorant ainsi le réalisme des simulations (Couturier et al., 2013).

STREAM est un modèle spatialisé (échelle du bassin versant jusqu'à l'échelle de la maille) qui calcule l'infiltrabilité, le volume de ruissellement et les pertes de terre pour une pluviométrie donnée (Illustration 63). Ce modèle est basé sur des dires d'experts qui classent et combinent des paramètres dominants connus grâce à des analyses sur le terrain et/ou en laboratoire.

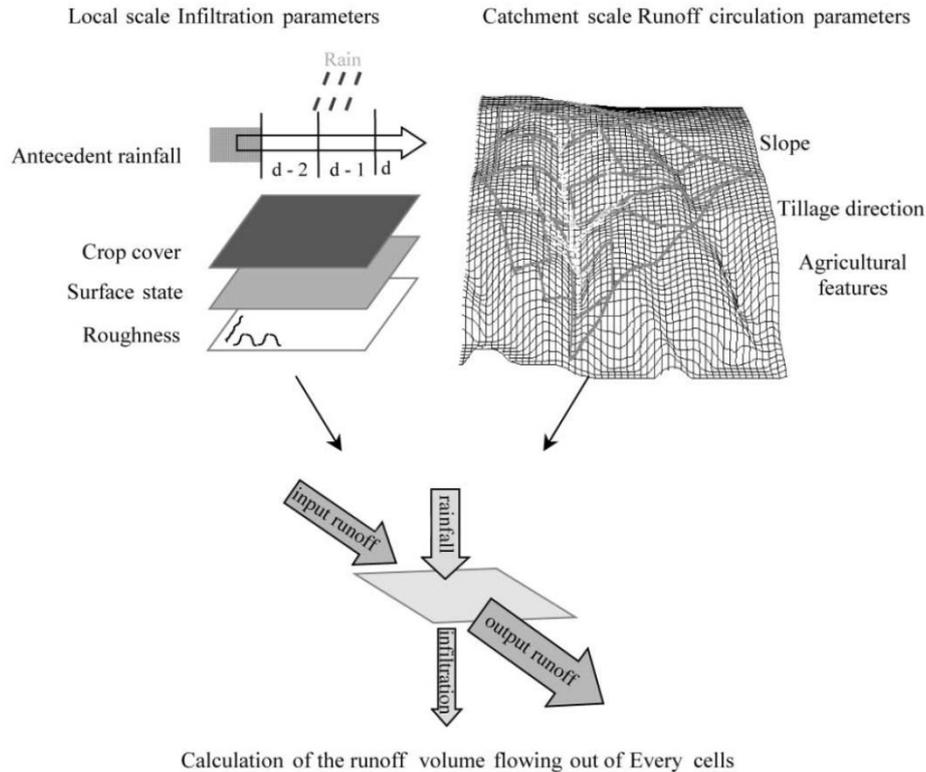


Illustration 63 : Calcul du ruissellement en chaque point du bassin versant (Couturier et al, 2013).

7.7. PRESENTATION DU PROCESSUS A L'ECHELLE D'UNE PARCELLE

STREAM est une application fonctionnant sur le logiciel ArcMap (version 9x). La modélisation est basée sur des résultats expérimentaux et des avis d'experts obtenus dans le bassin parisien sur des terrains loessiques. La méthodologie adoptée peut être transposée sur Hombourg-Haut.

Le tableau de l'illustration 64 synthétise chaque paramètre utilisé dans le logiciel STREAM et leur impact sur la susceptibilité à l'érosion. Ces paramètres ont été exposés ci-avant.

	Paramètres						
	Rugosité parallèle au sens de travail du sol	Couverture végétale	Occupation du sol	Sens de travail	Limite de parcelles	Faciès	Pente
ruissellement favorisé	0 - 1 cm	0 - 20 %	N'est pas pris en compte	Parallèle à la pente	Route / dérayure Fourrière	Croûte battance / sédimentaire Intermédiaire	Forte
ruissellement ralenti	> 15 cm	21 - 60 %		Perpendiculaire à la pente			
érosion linéaire favorisée	0 - 1 cm	0 - 20 %	Labour / champs récoltés Maïs Blé / colza Verger / prairie Forêt	Parallèle à la pente	Route / dérayure Fourrière	Croûte battance / sédimentaire Intermédiaire	Forte
érosion linéaire ralentie	> 15 cm	21 - 60 %		Perpendiculaire à la pente			
	Rugosité perpendiculaire au sens de travail du sol	Couverture végétale	Occupation du sol	Sens de travail	Limite de parcelles	Faciès	Pente
érosion diffuse favorisée	> 15 cm	0 - 20 %	N'est pas pris en compte	Parallèle à la pente	Limite normale	Croûte battance / sédimentaire Intermédiaire	Faible
érosion diffuse ralentie	0 - 1 cm	21 - 60 %		Perpendiculaire à la pente	Fourrière Route / dérayure		

Illustration 64 : Influence des différents paramètres sur la susceptibilité des sols au ruissellement, à l'érosion linéaire et diffuse

7.8. ETUDE DU CAS D'UNE PLUIE VIOLENTE DE COURTE DUREE SANS PLUIE ANTECEDENTE

Pour la modélisation sous STREAM, les données pluviométriques d'une pluie violente de courte durée ont été définies comme telles :

- hauteur de pluie : 100 mm ;
- durée efficace : 3 heures ;
- indice de pluie antécédente : 0 mm ;
- intensité maximale de la pluie : 50 mm/heure.

Source : communiqué de presse du Grand Nancy

http://www2.nancy.fr/documents/nancymag/2012-07/version_multimedia/documents/120622_inondations_nancy.pdf

Ces données sont celles d'un orage survenu à Nancy en mai 2012 et ayant provoqué des inondations boueuses très importantes. Cet événement de forte intensité est considéré comme exceptionnel. Même si l'agglomération nancéenne est éloignée d'une centaine de kilomètres de la ville de Hombourg-Haut, il nous est paru intéressant de réaliser la simulation avec ces valeurs de pluviométrie car l'ampleur du phénomène permet une bonne visualisation des ruissellements provoqués et de l'érosion engendrée.

7.9. ETUDE DU CAS D'UNE PLUIE VIOLENTE DE COURTE DUREE AVEC PLUIE ANTECEDENTE

Une seconde modélisation a été réalisée en prenant en compte une hauteur de pluie antécédente de 100 mm durant les 48 précédentes. Les résultats obtenus montre une érosion quasi similaire par rapport à l'absence de pluie antécédente (7770 tonnes au lieu de 6870 tonnes) et la répartition spatiale des zones érodées sont les mêmes. Aussi seuls les résultats de la première modélisation sont détaillés ci-après.

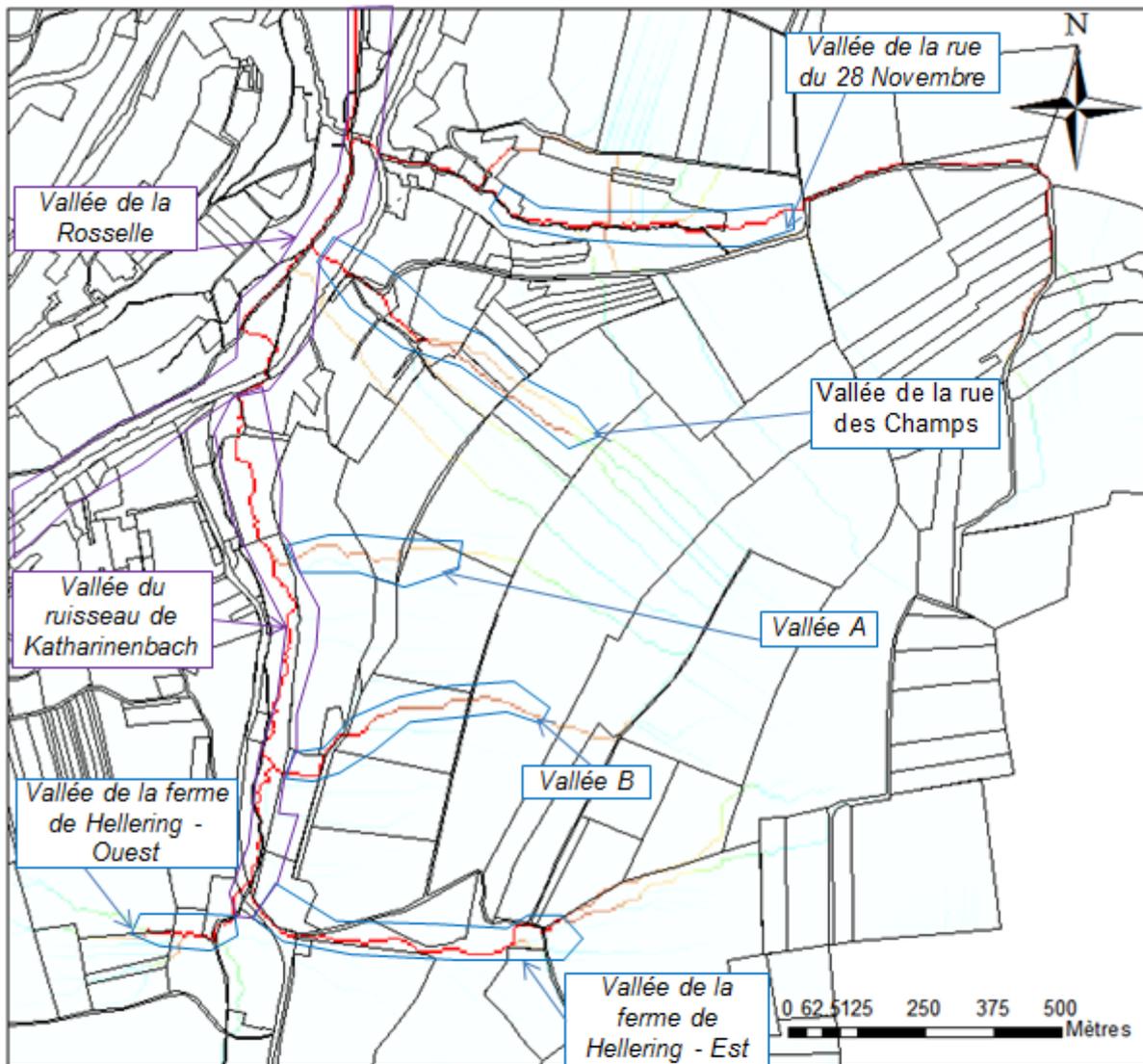
7.10. RESULTAT DE LA MODELISATION

7.10.1. Précaution d'emploi sur les résultats de la modélisation

Les résultats issus de la modélisation sont contraints par des données d'entrée uniquement valable à un instant « t ». De par le fait, que l'occupation du sol au cours de l'année change, ils sont illustratifs d'un scénario et ne sont en aucun cas transposables à un autre événement. De même, les résultats ne sont là que pour illustrer à titre indicatif les secteurs à grande échelle sensibles à l'érosion, ils ne peuvent être lus à l'échelle parcellaire.

7.10.2. La carte des masses de terre emportées par l'érosion diffuse et linéaire

Sur la carte des masses de terres emportées par l'érosion, nous constatons que seule la partie Est de la commune est affectée par l'érosion des sols (voir Annexe 16). L'analyse des résultats portera donc uniquement sur cette partie (Illustration 65).



Carte des masses de terre érodées par les érosions diffuses et linéaires (détail de l'Est du village)

▭ limite de parcelle

Masse de terre accumulée par érosion diffuse et linéaire en T (1)



Illustration 65 : Localisation des zones qui contribuent fortement à l'érosion diffuse et linéaire

Par ordre d'importance des masses de terres érodées, les zones étudiées ont été classées comme suit :

- vallée de la rue du 28 Novembre (2750 tonnes) ;
- vallée de la ferme de Hellering – Ouest (830 tonnes) ;
- vallée de la ferme de Hellering – Est (750 tonnes) ;
- vallée de la rue de Champs (680 tonnes) ;
- vallée B (530 tonnes) ;
- vallée A (200 tonnes).

Les ruissellements provenant des vallées A, B et de la ferme de Hellering – Ouest sont absorbés par le ruisseau de Katharinenbach et les sédiments transportés sont dilués dans la rivière sans qu'aucun enjeu de type bâti ou route ne soit impliqué. Le risque de coulées boueuses provenant de ces zones est donc considéré comme négligeable.

Lors de visites sur le terrain effectuées durant les mois de juillet et août 2015, nous avons constaté la présence d'aménagement le long du ruissellement de la vallée de la ferme de Hellering – Est. Ces aménagements consistent en deux marres de rétention successive, une mare avec fond en terre en amont et une mare avec fond bétonné en aval. Les deux mares sont reliées par un tuyau d'évacuation, une fois la mare amont remplie, l'eau s'écoule dans la seconde mare (Illustration 66 et Illustration 67).



*Illustration 66 : Mare amont de rétention en terre végétale
(altitude du tuyau d'évacuation plus bas que la route)*



Illustration 67 : Mare de rétention aval avec fond bétonné

Une mare de rétention avec un fond en terre permet l'infiltration de l'eau stagnante. Un fond de mare en béton ne permet pas l'infiltration et ce type de mare doit donc être vidé par pompage après chaque épisode pluvieux violent.

La masse de terre transportée par le lit du ruisseau de la vallée de la rue du 28 Novembre est la plus prononcée d'après nos observations réalisées sur le terrain. Les observations montrent des ravines importantes qui se sont formées dans le ruisseau (Illustration 68). Associées aux zones d'érosion, des zones de dépôts de terre argilo-sableuse se localisent dans les zones plates du lit de la rivière. En fait, cette vallée constitue la principale zone nourricière des matériaux susceptibles de créer une coulée de boue.

Ces observations sont confortées par des coulées de boue déjà répertoriées dans cette vallée, cette zone demandera donc le plus grand investissement en termes de parades contre les coulées boueuses.



Illustration 68 : Important creusement du lit du ruisseau débouchant rue du 28 Novembre

7.10.3. La carte de contribution des zones d'intégration (parcelle) à l'érosion linéaire

Chaque parcelle est considérée comme une zone d'intégration. Les cartes de contribution des zones d'intégration (parcelle) permettent de se faire une idée des parcelles s'érodant le plus. Elle n'est qu'informatrice et ne représente pas la réalité sur l'ensemble de l'année et à l'échelle parcellaire.

Sur cette carte, on constate l'effet des pratiques agricoles sur l'érosion des sols. Les champs contribuant le plus à l'érosion sont ceux :

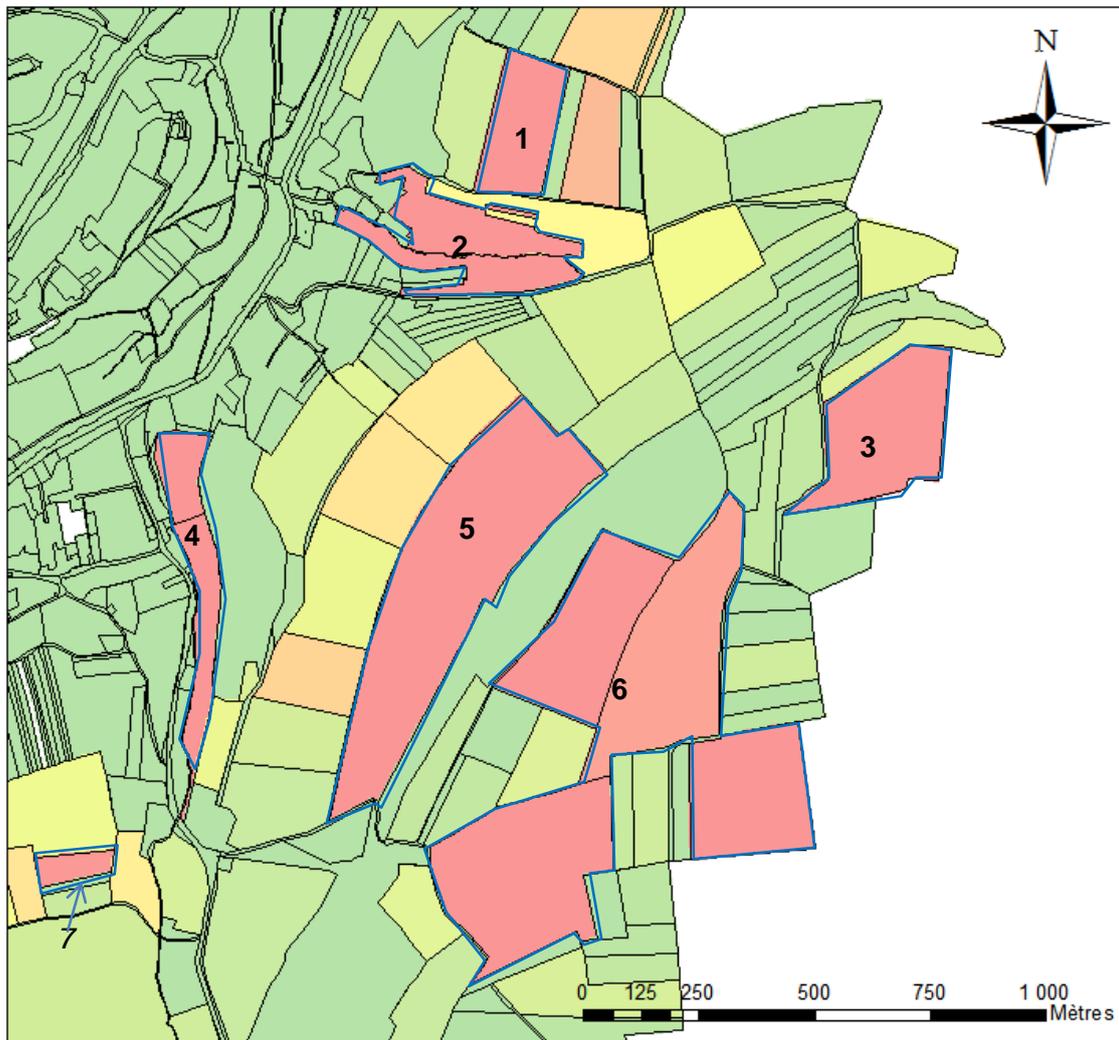
- situés dans les secteurs de pentes comprises entre 5 et 10° ;
- dont le type de culture laisse le sol nu, fixe peu le sol et est propice à l'érosion (maïs majoritairement sur le secteur d'étude) ;
- dont le travail du sol est propice à l'érosion (labour tardive et/ou sens de travail du sol parallèle au sens de la pente) ;
- situés aux abords du lit du cours d'eau (ruisseau temporaire : Illustration 68).

Les zones de parcelles de Hombourg-Haut participant le plus à l'érosion linéaire sont localisées sur l'illustration 70. Les causes de l'érosion prononcée des parcelles sont détaillées sur l'illustration 69.

Zone	Cause(s) de l'érosion prononcée
1	Culture fixant peu le sol Forte pente Sens de travail du sol parallèle au sens de la pente
2	Forte pente Erosion des berges du cours d'eau
3	Culture fixant peu le sol Forte pente
4	Forte pente Erosion des berges du cours d'eau
5	Forte pente
6	Culture récoltée mais champs non labouré donc l'infiltration par les plantes est faible Forte pente
7	Forte pente

Illustration 69 : Causes de l'érosion prononcée des zones détaillées.

Carte de contribution des parcelles à l'érosion linéaire Détail de l'Est de la commune



▭ limite de parcelle

Contribution des zones d'intégration à l'érosion linéaire en T (1)

Valeur



Illustration 70 : Carte d'interprétation des zones contribuant fortement à l'érosion linéaire. Cette carte est informative et ne représente que le résultat d'une modélisation issue de données d'entrées valables à un instant « t ». Les résultats ne peuvent pas être retranscrits à une autre période ni être utilisée à l'échelle cadastrale.

7.10.4. La carte de contribution des zones d'intégration à l'érosion diffuse

La distribution des parcelles contribuant le plus à l'érosion diffuse est similaire à celle des parcelles s'érodant de manière linéaire. Cependant les ordres de grandeurs des masses de terre érodées par les deux types d'érosion sont bien différents. L'érosion linéaire est responsable d'un plus grand départ des particules du sol par rapport à l'érosion diffuse (au maximum 678 tonnes érodées par érosion linéaire contre 92 tonnes par érosion diffuse).

7.10.5. Conclusion préliminaire

En conclusion, on constate deux contextes de zones où l'érosion est probable. La modélisation montre bien que les champs cultivés participent à l'apport de masse de terre érodée. Cependant, les observations de terrain ont montré que les rivières sous couverture forestière participent également à l'apport des masses de terre érodée (racines d'arbre mises à nue, etc.).

Aussi, à titre illustratif, la zone de la vallée de la rue du 28 Novembre, a été paramétrée de manière différente du point de vue de l'occupation du sol afin d'obtenir un résultat cohérent avec les observations de terrain. Le choix des paramètres est détaillé dans le paragraphe recommandation.

7.11. EXEMPLE DE RECOMMANDATIONS

L'étude menée montre que les pratiques agricoles conditionne l'érosion et donc par corolaire l'aléa « coulées de boue ». Afin de limiter au plus les coulées de boue, quelques exemples de recommandations sont présentés dans cette section avec notamment la modélisation de l'impact des paramètres de sens du travail et de l'occupation du sol.

7.11.1. Concernant le sens de travail du sol

a) Présentation des simulations sur la commune de Hombourg-Haut

Le travail du sol génère des chemins d'écoulement préférentiel de l'eau de ruissellement. Si le sol est travaillé dans le sens de la pente :

- l'eau de ruissellement rencontre peu de plante, elle peut donc moins s'infiltrer par les racines. Les érosions diffuse et linéaire sont donc favorisées ;
- les traces de machine agricoles sont des voies d'eau préférentielles, un écoulement peut donc s'y développer. Si la vitesse de l'écoulement est forte (peu de rugosité et/ou forte pente) l'érosion linéaire est alors accentuée.

Si le sol est travaillé dans le sens perpendiculaire au sens de la pente, les rangs de plantation peuvent créer des irrégularités dans le sens de la pente. La vitesse de l'eau de ruissellement est alors ralentie et le mode d'érosion linéaire sont retardés voir annulés.

Pour illustrer cet exemple, des simulations ont été réalisées avec STREAM. Les parcelles de simulation sont situées à l'est de la commune. Nous avons vu précédemment que l'érosion linéaire est responsable de la majorité de l'érosion, c'est pourquoi, seuls les résultats obtenus pour l'érosion linéaire sont présentés car ils sont significatifs.

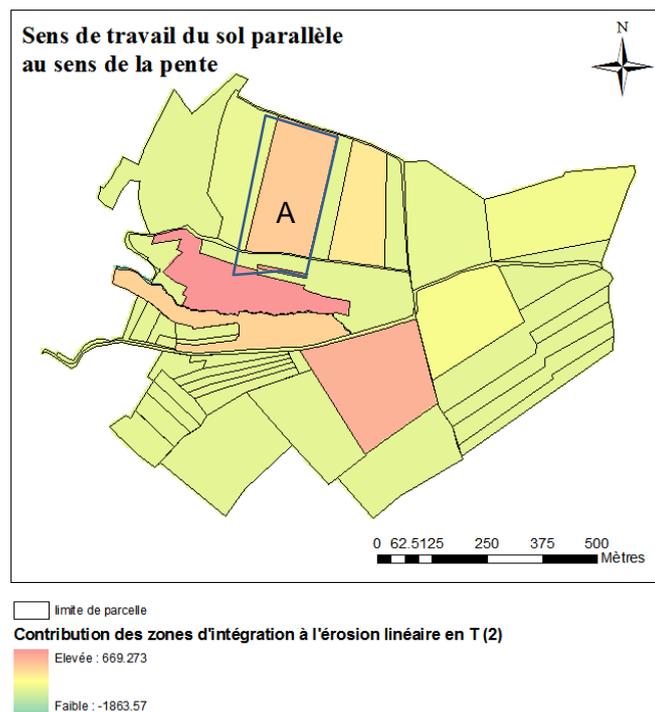
Deux simulations ont été réalisées afin de démontrer l'effet du sens du travail du sol sur l'érosion des sols.

Simulation 1 : le sens du travail du sol est parallèle au sens de la pente.

Simulation 2 : le sens du travail du sol est perpendiculaire au sens de la pente.

Les types de cultures, le faciès du sol, l'importance de la couverture végétale et les rugosités n'ont pas été modifiés entre les différentes simulations. Les valeurs de ces paramètres sont ceux relevés en juillet 2015.

b) Résultats



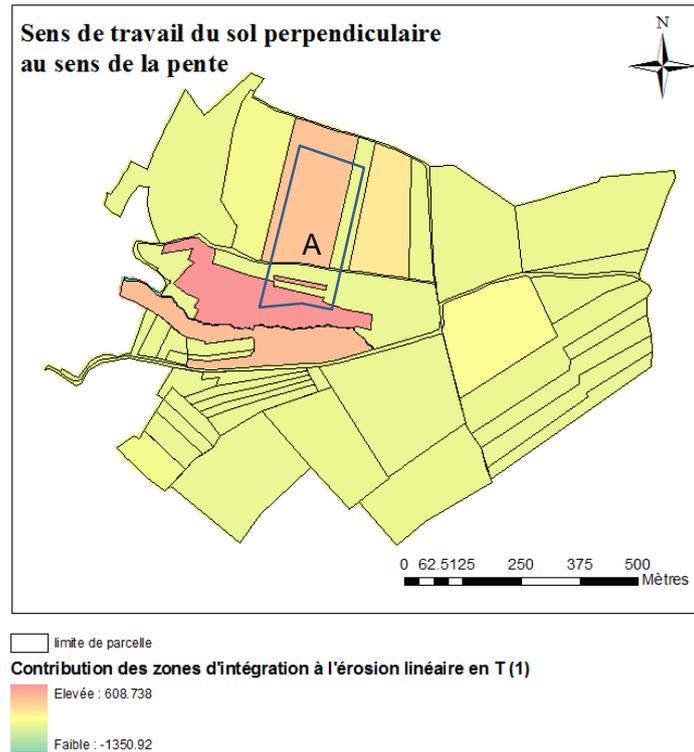


Illustration 71 : Impact du sens du travail sur l'érosion du sol (les résultats sont juste illustratifs d'un scénario donné valable à un instant « t » et ne peuvent pas être retranscrits à une autre période.

L'érosion de la parcelle A est de :

- 281 tonnes lorsque le sens de travail du sol est parallèle au sens de la pente ;
- 226 tonnes lorsque le sens de travail du sol est perpendiculaire au sens de la pente.

Pour remarque, une simulation de 30 mm au lieu de 100 mm montre que l'érosion de la parcelle A est encore plus atténué (de 50 %) par le sens de travail :

- 2,3 tonnes lorsque le sens de travail du sol est parallèle au sens de la pente ;
- 1,1 tonnes lorsque le sens de travail du sol est perpendiculaire au sens de la pente.

Les résultats montrent que le travail des champs réalisé dans le sens perpendiculaire à la pente permet de diminuer l'érosion des sols, surtout dans le cas de pluie orageuse non exceptionnelle (30 mm).

Cependant pour des raisons pratiques, il peut être difficile de réaliser un travail du sol perpendiculaire au sens de la pente sur certaines parcelles. En raison de la mécanisation des pratiques agricoles, le sens de travail du sol est souvent dicté par la forme du champ. Afin de limiter le nombre de manœuvres, les parcelles sont souvent travaillées dans le sens de la plus grande longueur de champ. Il arrive que cette longueur se trouve dans l'orientation de la pente, le sens de travail du sol accélérera donc l'érosion du sol.

Dans certain cas il serait judicieux de réarranger les parcelles afin d'orienter la plus grande longueur de champ dans le sens perpendiculaire au sens de la pente. Ainsi, il serait aisé de limiter l'érosion des sols tout en facilitant le travail des agriculteurs.

7.11.2. Concernant l'occupation du sol

a) *Présentation des simulations sur la commune de Hombourg-Haut*

Le type de culture présent sur le sol est un facteur prépondérant de l'érosion. Un type de culture influe sur :

- la couverture végétale et donc la diminution ou non de l'effet splash ;
- la présence de travail du sol ou non. Par exemple, une prairie destinée à être fauchée sera moins travaillée qu'un champ d'orge ;
- la rugosité du sol qui dépend majoritairement du type de travail du sol. Les engins agricoles sont responsables de la formation d'ornières qui permette le ruissellement de l'eau et donc engendre l'accélération de l'érosion du sol. Le travail du sol n'étant pas similaire pour chaque type de culture, un champ de blé présentera une rugosité plus faible qu'un champ de maïs ;
- pourcentage de sol nu dans l'année ou dans l'interrang.

Dans nos régions, les cultures reconnues pour avoir un effet important sur l'érosion des sols sont celles qui laissent le sol nu par exemple les cultures de blé en hiver et de maïs en hiver et au printemps. Aussi, ce sont sur ces deux cultures que nous avons réalisé des simulations. Les parcelles de prairies fauchées ont également été étudiées.

De même que pour les simulations du travail du sol, seuls les résultats de l'érosion linéaire sont présentés car c'est ce type d'érosion qui est responsable de la majorité des départs de particules de sol sur la commune de Hombourg-Haut.

Pour des raisons de réalisme, les parcelles occupées par des espaces forestiers, des habitations ou des routes ont été conservé comme telles. La localisation des espaces forestiers peut se faire sur la carte de l'illustration 72.

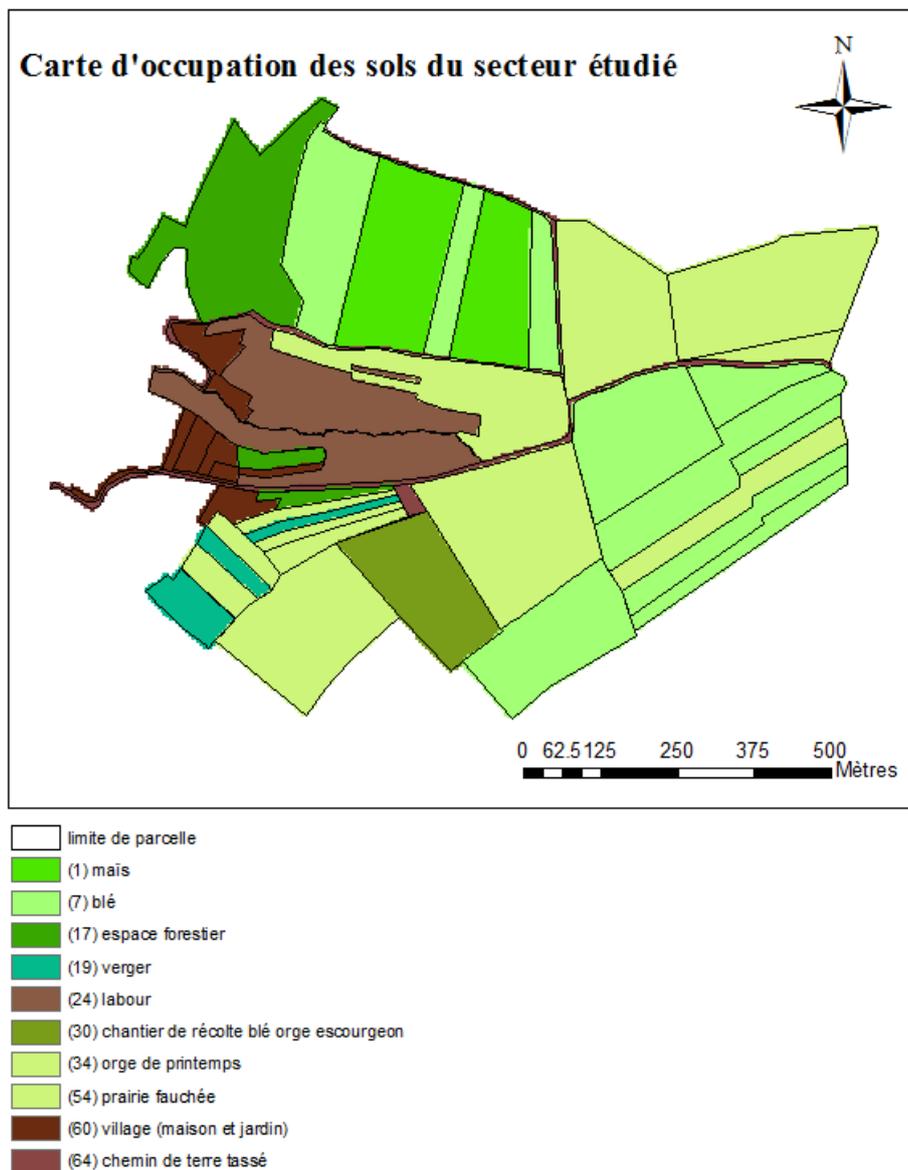


Illustration 72 : Carte d'occupation des sols des secteurs étudiés

b) Explication sur la parcelle « labourée »

Sur l'illustration 73, il peut être constaté que l'espace forestier situé aux abords du ruisseau débouchant rue du 28 Novembre est codé comme « labour ». Il a été décidé de procéder ainsi car lorsque ces parcelles étaient codées comme « espace forestier », les résultats obtenus étaient totalement incohérents comparés à nos observations réalisées lors de nos visites sur le terrain. Pour cette raison nous avons choisi de modifier les paramètres des parcelles comme présenté sur l'illustration 73.

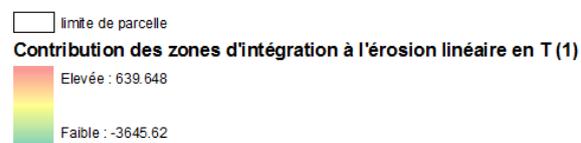
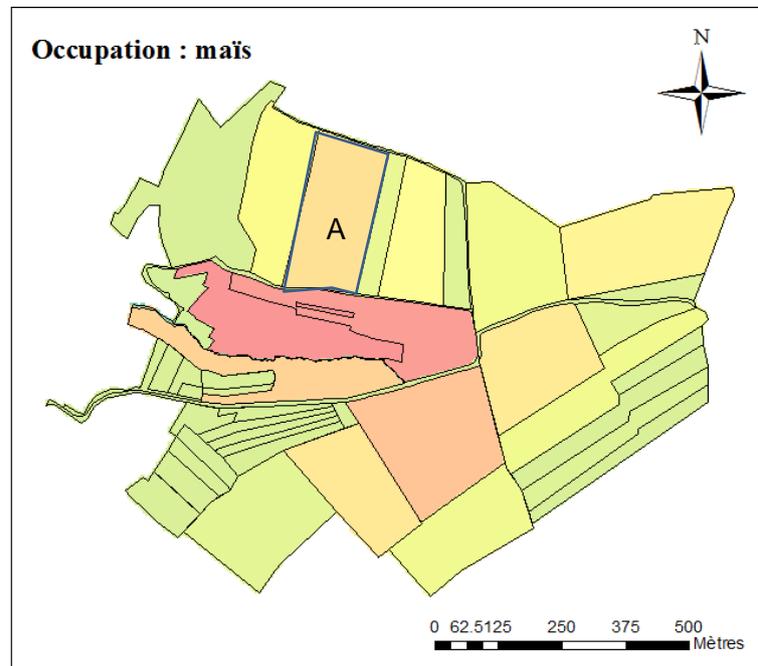
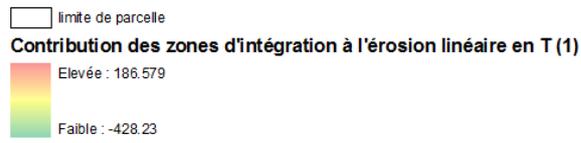
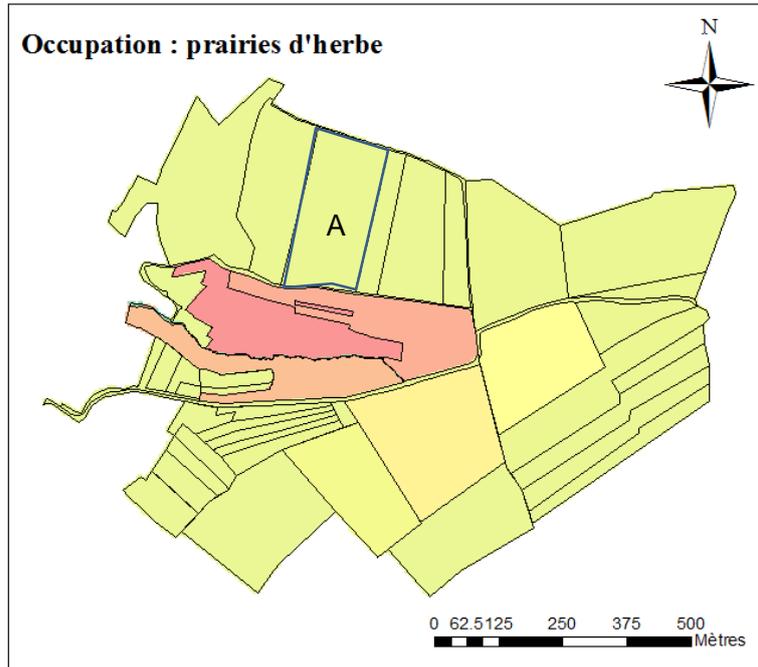
	Paramètres initiaux	Paramètres modifiés afin d'être cohérent avec les observations sur le terrain
Occupation du sol	Espace forestier	Labour
Couverture végétale	60 à 100%	0 à 20%
Sens de travail du sol	Aucun	Aucun
Rugosité parallèle au sens de travail du sol	0 à 1 cm	0 à 1 cm
Rugosité perpendiculaire au sens de travail du sol	0 à 1 cm	0 à 1 cm
Faciès	F0	F12
Limite de parcelle	Derayure	Limites normales

Illustration 73 : Comparaison entre les paramètres initialement choisis et les paramètres modifiés afin d'être cohérent avec les observations réalisées sur le terrain

Pour les simulations de l'occupation des parcelles avec du blé ou du maïs, les parcelles codées comme « labourées » ont donc été conservées comme telles.

Pour la simulation de l'occupation des parcelles par des prairies enherbées, les parcelles « labourées » ont été codées comme des parcelles de prairies enherbées. Cette simulation permet de mettre en évidence l'intérêt de l'enherbement de ces parcelles.

c) Résultats



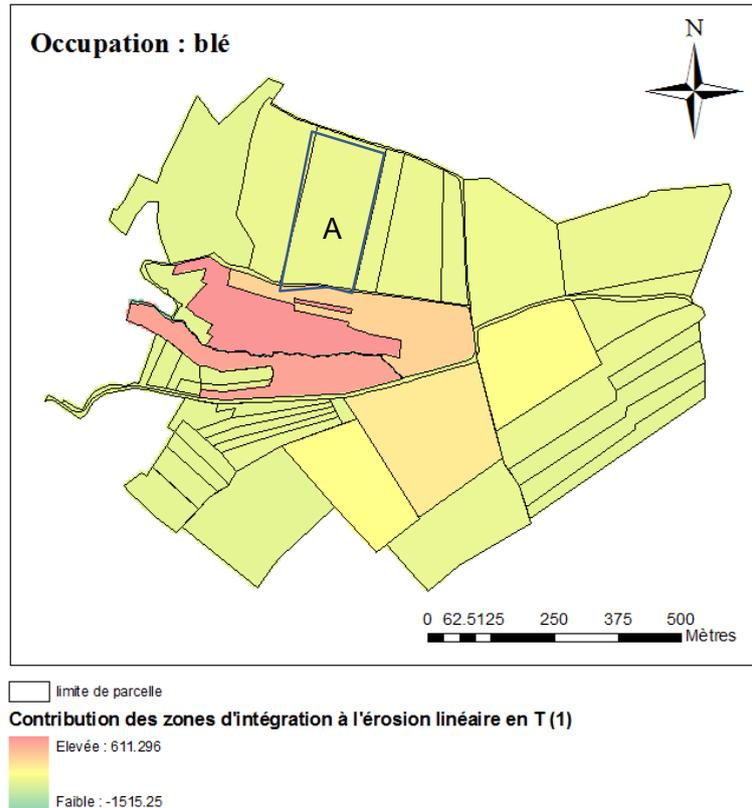


Illustration 74 : Simulations de l'érosion en fonction du type de cultures.

Ces simulations montrent que le type de cultures joue un rôle prépondérant l'érosion des sols.

L'érosion de la parcelle A est de :

- 0.68 tonnes lorsque la parcelle est occupée par de l'herbe ;
- 15 tonnes lorsque la parcelle est occupée par du blé ;
- 300 tonnes lorsque la parcelle est occupée par du maïs.

La culture du maïs est la plus favorable à l'érosion. Ces chiffres ne sont pas à prendre de manière stricte, ils suggèrent que les champs de maïs sont plus susceptibles à l'érosion des sols que les champs de blé. Il est donc recommandé de favoriser d'autre type de culture fixant mieux le sol. Le blé, l'orge, l'herbe sont des exemples de culture à favoriser. Les cultures à forte densité de plantation sont à préférer en général.

L'alternance des cultures est aussi à envisager. L'alternance sur les parcelles de culture fixant le sol (blé, orge...) et de cultures fixant moins le sol (maïs, colza...) peut être une solution pour limiter le départ des particules fines du sol.

Le labour des parcelles réalisé rapidement après la récolte permet au sol d'accroître sa rugosité et donc de limiter l'érosion en cas d'orage survenant après la récolte.

7.11.3. Mise en place de bandes enherbées

Les bandes enherbées sont de larges bandes de terrain de prairie qui permettent à l'eau de s'infiltrer et donc aux sédiments de se déposer et de ne pas encombrer le réseau hydrographique. Grâce à la forte couverture végétale et à l'infiltration de l'eau par le système racinaire de l'herbe, les bandes enherbées forment une barrière efficace contre le ruissellement et l'érosion des sols. Elle joue le même rôle que les prairies fauchées qui diminuent voire suppriment l'érosion linéaire.

Les bandes enherbées sont implantées perpendiculairement au sens de la pente, dans les parcelles (1) ou en bordure aval de celles-ci (2) afin d'intercepter le ruissellement. Le dispositif peut aussi être implanté uniquement dans les zones de concentration d'écoulement (3). Un chenal enherbé peut être implanté dans les zones propices à la formation de rigoles (4). Une parcelle de prairie est efficace pour les zones de ruissellement fort (5). Le long des cours d'eau, les bandes enherbées préviennent l'afflux important de particules boueuses dans le cours d'eau (6).

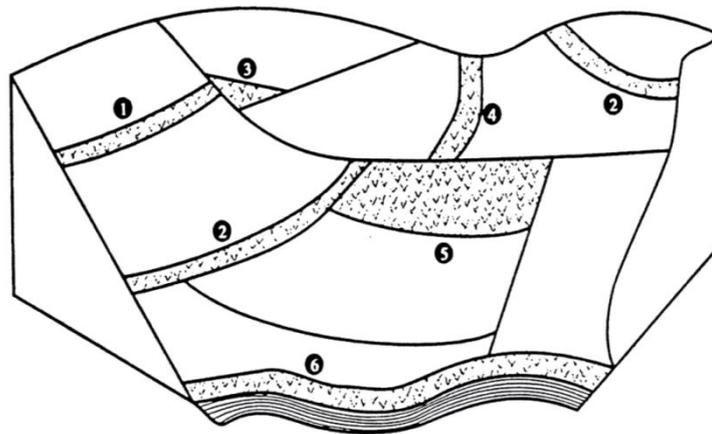


Illustration 75 : Localisation optimale des bandes enherbées.

Le semis des bandes enherbées se fait à forte densité. L'implantation se fait durant une période où l'herbe pousse rapidement (mars à juin ou août et septembre).

Pour une bonne efficacité des bandes enherbées, la végétation doit rester maintenue à une hauteur de 10 à 15 cm maximum. Le fauchage régulier de la parcelle est donc à prévoir.

7.11.4. Haies et fascines

Les haies répondent aux mêmes enjeux et objectifs que les zones enherbées, mais avec un effet de « barrière » contre le ruissellement plus important puisque la végétation est plus conséquente. Les tiges de la haie freinent les ruissellements. Cette diminution de la vitesse favorise l'infiltration et la sédimentation des particules. La présence de racine crée des conditions favorables à l'infiltration, renforcées en été, par le développement des parties aériennes.

Le rôle de frein de la haie dépend de 3 paramètres :

- la densité de la haie : la haie doit être la plus dense possible à sa base : pour que l'effet barrière soit réel, il faut que la haie soit très dense avec plus de 50 tiges à la base par mètre linéaire ;
- la pente du terrain en amont de la haie, elle doit être aussi faible que possible ;
- la façon dont le ruissellement traverse la haie : diffus ou concentrée.

Les haies se localisent aux mêmes endroits que les zones enherbées, et peuvent s'ajouter à une bande enherbée pour renforcer son rôle. Le dimensionnement recommandé pour les haies est de 30 à 50 cm entre chaque pied sur 2 ou 3 rangs, avec de l'enherbement sur 50 cm autour de la haie. Elles doivent être conduites en cépée les deux à trois premières années.

Les fascines sont des fagots de branchages morts et/ou vivants (Illustration 76) qui ont aussi un effet de «barrière» contre le ruissellement. Ce sont des dispositifs très proches des haies mais elles permettent une efficacité plus immédiate contre l'érosion. Elles sont donc utiles pour des besoins urgents à court terme, alors que les haies mettent davantage de temps à se développer et donc à être efficaces.

Les fascines sont notamment utilisées pour faire sédimenter la terre là où se forment des rigoles ou ravines d'érosion concentrée. La localisation des fascines est la même que celle des haies. Pour le dimensionnement, la longueur doit être au moins égale à la largeur des écoulements qui sont observés régulièrement. Plusieurs fascines en cascade sont plus efficaces qu'une seule grande fascine pour remédier à une situation qui présente une érosion concentrée importante.



Illustration 76 : Photos de fascines dites « mortes » à gauche et « vivantes » à droite

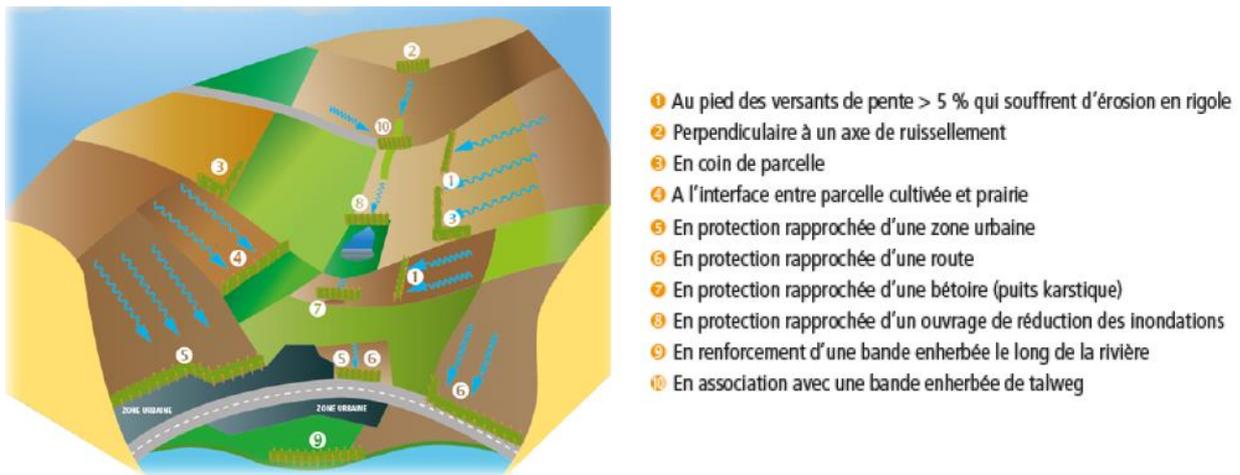


Illustration 77 : Localisation possible de fascines et haies sur un versant

La solution pour avoir une efficacité maximale dès la plantation, consiste à associer : zone enherbée, fascine et haie sur 5 mètres de large au minimum. De manière générale, il est recommandé de combiner fascines et haies. En effet, la durée de vie de la fascine est limitée à 7 ans, ce qui correspond au temps nécessaire pour une haie pour devenir dense et avoir le même impact que la fascine sur l'érosion. Aussi, dans le cadre de la mise en place des propositions d'aménagements réalisées sur un bassin versant, la mise en place d'une fascine est associée à la mise en place d'une haie directement en aval de la fascine.

7.11.5. Mare tampon

Une mare tampon a pour but de stocker les eaux de ruissellement. L'eau emmagasinée est ensuite rejetée en aval en contrôlant le volume et le débit de l'écoulement. Le risque d'inondation boueuse est ainsi limité. De plus, l'eau circulera plus lentement ce qui préviendra l'érosion linéaire forte.

Afin de réguler le flux d'eau, une mare tampon est constituée de deux niveaux :

- le fond de la mare (environ un mètre) est toujours en eau ;
- le second niveau stocke temporairement les eaux de ruissellement et est vidé progressivement grâce à un ouvrage de fuite.

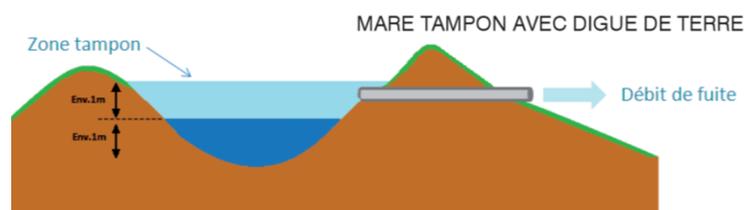


Illustration 78 : Schéma d'une mare tampon (Chambre d'agriculture de la région Nord-pas de Calais)

d) Mise en place sur la commune de Hombourg-Haut

7.11.6. Labourage rapide des parcelles après la récolte

Dans le but de briser l'éventuelle croûte de battance formée, il est recommandé de labourer le sol rapidement après la récolte des cultures. Cela permettra d'accroître la capacité d'infiltration du sol donc de diminuer le ruissellement et l'érosion.

7.12. ACTION SUR LA COMMUNE DE HOMBOURG-HAUT

En conclusion, on constate deux contextes de zones où l'érosion est probable. La modélisation montre bien que les champs cultivés participent à l'apport de masse de terre érodée. Cependant, les observations de terrain ont montré que les rivières sous couverture forestière participent également à l'apport des masses de terre érodée (racines d'arbre mises à nue, etc.).

7.12.1. Au niveau des champs cultivés en amont de la vallée de la rue du 28 Novembre

Sur les simulations étudiées dans le paragraphe 7.11.2, on peut constater que lorsque les parcelles situées sur les versants du ruisseau aboutissant rue du 28 Novembre sont enherbées, la quantité de terre érodée diminue considérablement (185 T contre 611 T pour l'occupation actuelle des sols). La mise en place de bandes enherbées, fascines et haies est conseillée sur les versants du ruisseau aboutissant rue du 28 Novembre (Illustration 81). De même, il est conseillé de réaliser un sens du travail perpendiculaire à la pente qui permettra de réduire l'érosion des sols.

7.12.2. Au niveau de la vallée de la rue du 28 Novembre

Lors des visites sur le terrain, il a été constaté que la grille de retenue empêchant les gros débris de se retrouver dans le réseau d'assainissement au niveau de la rue du 28 Novembre n'est curée que partiellement. Le curage de la grille et du fossé doit être réalisé dès que nécessaire afin d'éviter le débordement des eaux du cours d'eau (Illustration 79 et Illustration 80).



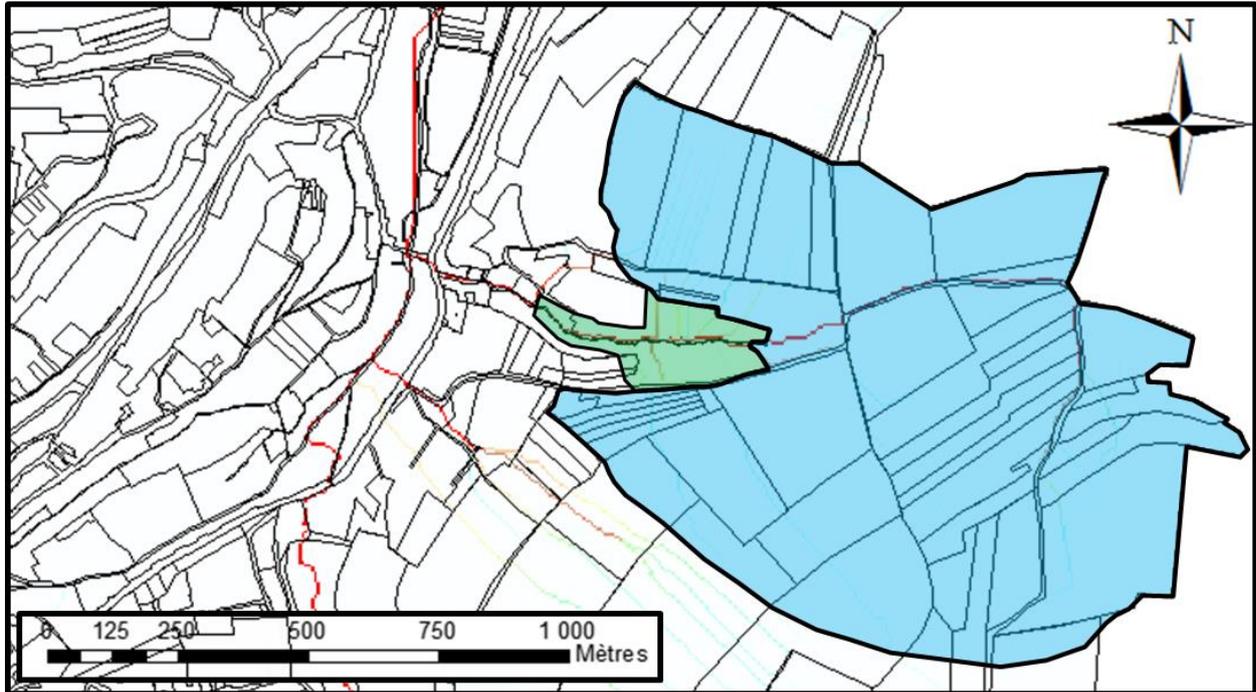
Illustration 79 : Le fossé situé juste avant l'entrée du réseau d'assainissement est curé.



Illustration 80 : Le fossé situé en amont de la grille de retenue est encombré de sédiments et de végétation

Il est conseillé de mettre en place plusieurs marres tampons le long du cours d'eau. On veillera à curer les mares régulièrement (Illustration 81).

La mise en place de fascines dans le lit et les berges du cours d'eau au endroit qui sont érodés (coudes sous-cavés et replats) devrait également diminuer l'apport de matière transporté par le cours d'eau.



- | | |
|--|---|
| <p>Champs :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bandes enherbées • Haies et fascines perpendiculaires au sens de la pente • Labourage rapide après récolte | <p>Vallée/ruisseau :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marres tampons dans le cours d'eau • Curage de la grille et du fossé • Fascines dans le lit du cours d'eau |
|--|---|

Illustration 81 : Recommandations d'actions à mettre en œuvre au niveau de la vallée de la rue du 28 Novembre

7.13. LIMITES DE L'INTERPRETATION

7.13.1. Limites de l'application STREAM

L'application STREAM a été conçue et approuvée pour le milieu agricole de Normandie. Les résultats expérimentaux sont issus de tests sur les terrains crayeux et loessique du Nord-Ouest de la France. La géologie de Hombourg-Haut est différente. Nous avons choisi de conserver le modèle développé par l'INRA car la méthodologie peut être transposable dans le contexte de Hombourg-Haut.

Les résultats obtenus sont donc qualitatifs et ne doivent pas être pris de manière stricte. C'est la démarche de caractérisation de l'érosion qui prévaudra sur les résultats numériques. De ce fait, les comparaisons réalisées pour les recommandations des parades sont valides et pertinentes.

Les résultats issus de la modélisation sont contraints par des données d'entrée uniquement valables à un instant « t ». De ce fait, l'occupation du sol au cours de l'année change, les résultats sont donc illustratifs d'un scénario et ne sont en aucun cas transposables à un autre événement. De même, ils ne sont là que pour illustrer à titre indicatif les secteurs à grande échelle sensibles à l'érosion, ils ne peuvent être lus à l'échelle parcellaire.

7.13.2. VALIDITE DANS LE TEMPS

La présente étude a été menée en juillet 2015. Elle se base sur l'analyse des sources documentaires disponibles et sur l'exploitation des événements connus. La prise en compte ultérieure de données non connues ou non disponibles en 2015 (investigations, phénomènes, archives, témoignages, *etc.*) peut conduire à une révision des critères d'analyse.

D'autre part, si les paramètres permanents (occupation des sols, topographie, *etc.*) sont relativement bien connus, les paramètres occasionnels que sont les conditions climatiques eux le sont beaucoup moins et peuvent évoluer.

Comment anticiper les conséquences d'un phénomène climatique exceptionnel pour lequel nous n'avons aucun retour d'expérience en termes de mouvements de terrain ?

Aussi, la révision périodique des aléas est nécessaire car les évolutions naturelles et / ou anthropiques des paramètres étudiés induisent des modifications de l'aléa.

La carte d'occupation des sols de la commune de Hombourg-Haut et de ses environs a été réalisée le 16 juillet 2015. La rotation annuelle des cultures, le travail régulier du sol ou encore l'extension urbaine entraînent un changement rapide de l'occupation des sols. Les cartes issues de la modélisation pourront donc être sensiblement différentes d'une année à l'autre, surtout dans les zones d'influence des parcelles agricoles.

Grâce aux simulations réalisées et aux exemples de recommandation, la commune de Hombourg-Haut est en mesure de réduire l'érosion et par conséquent l'aléa coulées de boue sur la commune de Hombourg-Haut.

7.14. CONCLUSION SUR L'ALEA « COULEES DE BOUE »

L'objectif de l'étude de l'aléa « coulée de boue » sur la commune de Hombourg-Haut n'a pas consisté en la cartographie d'un aléa sensu-stricto mais en la caractérisation de secteurs sensibles à l'érosion qui est la condition première à la formation de coulée de boue.

Les facteurs déclencheurs de l'érosion des sols sont les précipitations, celles se produisant à l'instant étudié et celles s'étant produites durant les 48 heures précédentes. Les facteurs de prédisposition du sol sont la pente et le faciès du sol. Ces paramètres sont intrinsèques au sol et sont difficilement modifiables. Les facteurs de l'érosion sont les pratiques agricoles du terrain : l'occupation des sols, la couverture végétale, le sens de travail du sol et la rugosité qui en découle. Les chemins d'eau jouent également un rôle majeur dans le ruissellement de l'eau de pluie et de ce fait influencent l'érosion des sols. Les paramètres précédents sont anthropiques, ils sont assez facilement modifiables par l'être humain, ce sera donc ces paramètres qui devront être adaptés en priorité afin de contrer les effets de l'érosion.

Grâce à l'application STREAM, des modélisations de l'érosion à l'échelle du bassin versant de la commune ont été réalisées. Différentes zones de concentration de l'érosion ont été identifiées. Il s'agit du lit du ruisseau de la vallée de la rue du 28 Novembre et des terrains agricoles en amont de cette vallée. La modélisation montre bien que les champs cultivés participent à l'apport de masse de terre érodée. De même les observations sur les terrains confirment le rôle du lit du cours d'eau.

Dans le but de proposer des parades à l'érosion des sols et donc des coulées boueuses, plusieurs simulations ont été réalisées sur le secteur avoisinant la vallée du 28 Novembre. Il est donc démontré que le sens de travail du sol et son occupation sont cruciaux pour la prévention de l'érosion. Il est conseillé de travailler le sol dans le sens perpendiculaire à celui de la pente. La mise en place de zones enherbées, de fascines et de haies, le long des principaux écoulements est également un moyen efficace de limiter le ruissellement et donc les coulées de boue. La création de mares tampon et de fascines le long du cours d'eau permettrait de réguler le débit des écoulements et de briser la cinétique de l'eau pour ainsi limiter l'arrachement des particules du sol. Le curage régulier des fossés permet l'absorption des écoulements par le réseau d'évacuation des eaux et permet ainsi d'éviter le débordement et la propagation de coulées de boues sur la voirie et dans les maisons.

Nous tenons à attirer une dernière fois l'attention du lecteur sur l'aspect qualitatif de notre étude. En aucun cas les valeurs présentées ne devraient être prises de manière stricte. L'application STREAM a été élaborée sur un terrain différent de celui de Hombourg-Haut. Afin d'obtenir des résultats qualitatifs sur un secteur d'étude forestier sur des formations géologiques principalement gréseuses, un programme de recherche devrait être élaboré pour calibrer précisément l'application STREAM à l'aide d'expériences en laboratoire et en grandeur réelle sur le terrain.

De même, les résultats issus de la modélisation sont contraints par des données d'entrée uniquement valables à un instant « t ». De par le fait, que l'occupation du sol au cours de l'année change, ils sont illustratifs d'un scénario et ne sont en aucun cas transposables à un autre événement. De même, les résultats ne sont là que pour illustrer à titre indicatif les secteurs à grande échelle sensibles à l'érosion, ils ne peuvent être lus à l'échelle parcellaire.

8. Bibliographie

Chute de blocs

A paraître : Proposition d'une note technique à l'attention des Services Déconcentrés de l'Etat en charge des procédures PPRn. Méthodologie de l'élaboration du volet « aléa rocheux » d'un PPRn. Rédaction du groupe de travail MEZAP du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie (BRGM, CETE, DGPR, DDT 06, DDT 38, DDT 74, IFSTTAR, Irstea, ONF-RTM). Version de janvier 2014.

Guide d'Agrément Technique Européen n° 027 « Kits de protection contre les chutes de blocs rocheux » (ETAG 027), EOTA, février 2008, 53 p. & avril 2013, 58p.

NF P95-308 « Équipements de protection contre les éboulements rocheux – Écrans de filets », AFNOR, décembre 1996, 11p.

Cartannaz C. (2012) – Avis sur les causes et le risque « chutes de blocs » sur la parcelle 134, commune de Hombourg-Haut. Rapport BRGM/RP-61506-FR. 23 pages, 10 figures, 1 annexe.

Cartannaz C. (2013) – Moyens techniques à utiliser et méthodologie à mettre en place pour surveiller les départs de blocs le long de la corniche de la parcelle 134 sur la commune de Hombourg-Haut. Lettre BRGM/LOR13L133.

Cartannaz C. (2014) – Aléa chutes de blocs sur la commune de Hombourg-Haut. Lettre BRGM/LOR14L358.

Colas B. (2015) – Commune d'Ocana (2A). Cartographie de l'aléa chute de blocs. Rapport final. BRGM/RP-65423-FR

Jaboyedoff M. (2003), Manuel du logiciel Conefall (<https://quanterra.ch/portfolio-items/conefall>), consulté le 7 Avril 2016

Jaboyedoff M. and Labiouse V.: Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 819-828, doi:10.5194/nhess-11-819-2011, 2011.

Glissements de terrain

CARTANNAZ C. (2014) - Méthodologie de la cartographie « aléa glissements de terrain » Côte du Dogger, Meurthe et Moselle. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-63803-FR, 31 p., 18 ill.

GRABENSTAETTER L., CARTANNAZ C. (2016) – Cartographie de l'aléa glissements de terrains sur la commune de Vitry sur Orne. Rapport final. BRGM/RP-65575-FR, 87 p., 13 fig., 6 ann., 1 planche hors texte.

Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement (MATE) (1999). Plan de Prévention des Risques Naturels : Risques de mouvement de terrain, 71 pages. Ed. La Documentation française.

Coulées de Boue

Cerdan O., Desprat J.F., Palvadeau E. (2005) – Contexte hydrodynamique des bassins versants du Nord de la Corse (Luri, Bastia, St Florent). BRGM RP-54217-FR, 37 p., 27 ill.

Cerdan O., Le Bissonnais Y., Couturier A., Saby N. (2002) – Modelling interrill erosion in small cultivated catchments – Hydrological Processes 16 – DOI : 10.1002/hyp.1098 – 12 p.

Cerdan O., Souchère V., Lecomte V., Couturier A., Le Bissonnais Y. (2001) – Incorporating soil surface processes in an expert-based runoff model : Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Modelling – Catena 46 (2001) 189-205 – 17 p.

Couturier, A.; Daroussin, J.; Darboux, F.; Souchère, V.; Bissonnais, Y. L.; Cerdan, O. & King, D. (2013) Improvement of surface flow network prediction for the modeling of erosion processes in agricultural landscapes. *Geomorphology*, 183, 120-129

Chambre d'agriculture région Nord-pas de Calais – *Guide de l'érosion, Lutter contre l'érosion* – 32 p.

Darboux F. (2009) – *L'érosion, un acteur majeur de la dégradation des sols et de l'environnement* dans « *Le Sol* » - Dossier INRA – p.128-131.

Darboux, F. ; Algayer, B. (2013) Les sols et leurs structures. Versailles (FRA) : Editions Quae (Croûtes de battance, ruissellement, érosion hydrique. Chapitre 10). **p141-153**

Darboux F. (2011) – *Les pertes en sol* dans « *L'état des sols de France* » - GIS Sol – p.122.

Dubreuil N., King C., Lecomte L., Souchère V., Le Bissonnais Y. - Régionalisation d'un modèle de ruissellement en zone agricole (STREAM). BRGM/RP-51115-FR, 150 p., 27 fig., 11 tabl., 2 ann.

Le Bissonnais Y. (1998) – Cartographie de l'aléa « érosion des sols » en France – Collection Etudes et Travaux, vol. 18, 77 p.

Nearing M.A., Jetten V., Bauffaut C. and al (2005) – Modelling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover – Catena 61 (2005) 131 – 154 – 24 p.

Souchère V., Cerdan O., Couturier A. (2006) – Utilisation du modèle STREAM sur un cycle hydrologique : poursuite de l'application sur le bassin versant de l'Austreberthe – 11 p.

Souchère V., Sorel L., Couturier A., Le Bissonnais Y., Cerdan O. (2005) – Application du modèle STREAM à l'échelle d'un bassin versant au cours d'un cycle hydrologique – 32 p.

Y. Thuon, J.F. Desprats (2009) – *Sensibilité et risques potentiels des sols à l'érosion des sols dans le département de l'Aube* – BRGM/RP-57824-FR – 100 p., 67 ill.

Annexe 1 :

Forages de la BSS

Forage : 01654X0004

Echelle : N.N.C. M. :
^ 65 | 4 | 4

DÉPARTEMENT : MOSELLE Pièce n° 1

COMMUNE : HOMBURG-HAUT Indice de classement : 165 | 4 | 4

DÉSIGNATION : Sondage de Hombourg-Sud = *Siviard N°321* Cote du sol (z) = +235,80

Coupe établie par : d'après la coupe H.B.L. au 1/250°
 Interprétation de : M.

PROFONDEURS DE A	NATURE DES TERRAINS	INTERPRÉTATION	COTE DU FOIT ÉPAIS.
0,00 à 3,80	Diluvions - sables rouges argileux		3,80
- 12,10	Grès rouge compact		8,30
- 12,90	Grès dur, surtout d'un côté.		0,80
- 48,00	Grès dur		35,10
- 52,00	Grès dur avec passées plus ou moins dures.		4,00
- 53,80	Grès dur		1,80
- 55,90	Grès très dur		2,10
- 61,60	Grès très dur, avec passées plus ou moins dures.		5,70
- 70,50	Grès tendre		8,90
- 74,00	Grès tendre, avec passées très dures		3,50
- 84,90	Grès tendre		10,90
- 89,40	Grès tendre avec passées dures		4,50
- 106,75	Grès dur rose grossier		17,35
- 123,25	Grès tendre grossier et rouge. Trépan a rencontré probablement beaucoup de galets de quartz et de quartzite.		16,50


 053203
 01654X0004

Forage 01398X0009

Indice B.R.G.M. :

139	8	9
-----	---	---

117963
01398X0009

DÉPARTEMENT : Moselle Pièce n° 1

COMMUNE : HOMBOURG-HAUT Indice de classement :

139	8	9
-----	---	---

DÉSIGNATION : Sondage de la Cité de la Chapelle = Siviard N° 369 Cote du sol (z) = +284,21 RN

Coupe établie ^{Coupe} par H.B.L. N° 369
Interprétation de : M.

PROFONDEURS DE A	NATURE DES TERRAINS	INTERPRÉTATION	COTEX XXX XXX XXX
0,00 à 3,00	Grès conglomératique assez friable parsemé de galets de quartz et de quartzite		3,00
3,00 - 25,00	Poudingue peu cohérent constitué de sable jaune et de galets de quartzite ample conglomérat		22,00
25,00 - 42,40	Grès conglomératique		17,40
42,40 - 74,00	Grès ^{VOSGIEN} jaune blanchâtre stratifié		31,60
74,00 - 106,00	Grès rose et jaune		32,00
106,00 - 107,10	Grès argileux au clivage facile		1,10
107,10 - 107,50	Grès imprégné de pyrites		0,40
107,50 - 131,00	Grès gris rouillé très ferrugineux avec cassures		23,50
131,00 - 142,00	Grès rouge ferrugineux		11,00
142,00 - 148,00	Grès gris blanc		6,00
148,00 - 153,00	Grès rouge ferrugineux		5,00
153,00 - 207,50	Grès jaune, nombreuses cassures		54,50
207,50 - 207,70	Argile rouge		0,20
207,70 - 213,00	Grès jaune blanchâtre, assez dur, avec concrétions pyriteuses		5,30

Annexe 2 :

Indice d'activité, indice d'intensité et proposition de parade de chaque zone de départ. Les coordonnées sont en Lambert 93 et correspondent au milieu de la zone de départ cartographié

Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade
Z1	975310,1	6899964,9	> 100 ans	X	-
Z2	975356,4	6899608,2	> 100 ans	X	-
Z3	976809,4	6899590,8	1/an	Très Elevé	Fosse de réception + Merlon et Surveillance --> Purge
Z4	977159,6	6899533,7	1/100 ans	Elevé à très Elevé	Ecran et/ou fosse de réception
Z5	976806,0	6899522,6	> 100 ans	X	-
Z6	976765,7	6899488,6	1/100 ans	Elevé à très Elevé	Ecran et/ou fosse de réception
Z7	976717,8	6899410,9	1/100 ans	Elevé à très Elevé	Ecran ou Surveillance --> Ancrage/Soutènement/Purge
Z8	975697,4	6899208,3	1/10 ans	Faible	Ecran ou Fosse de réception et Surveillance --> Purge
Z9	976236,6	6899202,1	?	?	Non cartographié
Z10	975747,1	6899199,8	1/an	Faible	Surveillance --> Purge
Z11	975488,0	6899150,3	1/an	Faible	Ecran ou Fosse de réception
Z12	976247,4	6899125,2	?	?	Non cartographié
Z13	976564,6	6899123,0	1/an	Faible	Ecran
Z14	976240,5	6899103,3	1/an	Faible	Surveillance --> purge si nécessaire
Z15	976191,6	6899096,5	?	?	Non cartographié
Z16	976235,0	6899092,6	1/10 ans	Très Elevé	Ancrage/Soutènement/Purge + dévégétalisation + Surveillance
Z17	976218,9	6899085,9	1/10 ans	Faible	Grillage plaqué
Z18	976137,5	6899067,3	1/an	Faible	Grillage plaqué
Z19	976195,4	6899064,6	1/10 ans	Faible	Grillage plaqué
Z20	976547,5	6898986,8	> 100 ans	X	-
Z21	974209,8	6898950,4	> 100 ans	X	-
Z22	976469,5	6898901,6	1/100 ans	Modéré	Surveillance --> Ancrage/Soutènement/Purge
Z23	976490,3	6898897,5	1/an	Elevé	Ecran ou Purge
Z24	974312,4	6898897,0	1/10 ans	Faible	Ecran ou Fosse de réception
Z25	976465,5	6898868,4	1/10 ans	Faible	Grillage plaqué ou Ecran
Z26	976528,4	6898838,0	1/an	Faible	Ecran ou Grillage plaqué
Z27	976445,4	6898815,2	1/an	Faible à modéré	Grillage plaqué ou Ecran
Z28	976288,8	6898809,9	> 100 ans	X	-

Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade
Z29	976468,8	6898806,4	1/an	Faible	Grillage plaqué ou Ecran
Z30	976486,3	6898797,6	1/10 ans	Faible	Ecran
Z31	974663,5	6898793,3	1/an	Faible	Surveillance --> Purge
Z32	976587,7	6898777,2	> 100 ans	X	-
Z33	976433,8	6898735,0	1/10 ans	Faible	Grillage plaqué ou Ecran ou Surveillance --> Purge
Z34	976581,5	6898721,6	1/an	Faible	Grillage plaqué ou Ecran
Z35	975845,5	6898694,5	> 100 ans	X	-
Z36	974461,3	6898693,1	1/10 ans	Faible	Ecran
Z37	975808,7	6898617,2	1/an	Faible	Ecran ou grillage plaqué ou éloigner les enjeux
Z38	975215,7	6898579,2	1/10 ans	Faible	Ecran ou Surveillance --> Purge
Z39	976502,2	6898573,8	1/10 ans	Faible	Ecran ou Surveillance --> Purge
Z40	976572,5	6898570,2	> 100 ans	X	-
Z41	976461,4	6898561,9	1/10 ans	Faible	Grillage plaqué et/ou Ecran et Purge
Z42	976631,9	6898557,4	> 100 ans	X	-
Z43	975555,5	6898547,7	1/100 ans	Faible	Pas d'enjeux
Z44	975897,7	6898531,0	1/10 ans	Faible	Ecran ou Surveillance --> purge si nécessaire
Z45	975518,7	6898522,1	1/10 ans	Elevé	Pas d'enjeux
Z46	975170,1	6898509,6	1/10 ans	Faible	Surveillance --> Purge
Z47	975510,3	6898488,4	1/10 ans	Faible	Ecran ou Fosse de réception
Z48	975142,1	6898456,6	1/an	Faible	Grillage plaqué
Z49	975181,1	6898439,8	1/an	Faible	Grillage plaqué
Z50	975358,8	6898422,6	1/an	Faible	Ecran ou Fosse de réception
Z51	975257,0	6898422,0	1/10 ans	Modéré	Grillage plaqué
Z52	974414,7	6898401,1	1/an	Faible	Fosse de réception ou Grillage plaqué ou déplacer les futurs enjeux
Z53	973651,0	6898391,5	1/10 ans	Faible	Ecran ou Fosse de réception
Z54	972846,5	6898311,4	1/100 ans	Elevé	Pas d'enjeux
Z55	975500,5	6898294,9	> 100 ans	X	-
Z55b	975543,9	6898248,0	1/an	Faible	Grillage plaqué

Code zone	X Lambert 93	Y Lambert 93	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade
Z56	975501,1	6898269,5	> 100 ans	X	-
Z57	974991,4	6898259,1	1/100 ans	Modéré	Ecran ou Surveillance --> Purge
Z58	975099,8	6898258,1	1/an	Faible	Grillage plaqué ou Fosse de réception
Z59	975922,6	6898212,7	1/10 ans	Faible	Grillage plaqué
Z60	973840,4	6898201,5	1/an	Faible	Purge
Z61	974762,3	6898151,9	1/100 ans	Elevé à très Elevé	Grillage plaqué ou Ecran ou Fosse de réception
Z62	974201,4	6898143,1	1/100 ans	Faible	Soutènement
Z63	974175,1	6898082,1	1/100 ans	Faible	Ecran ou Purge
Z64	975742,6	6898075,7	1/an	Faible	Grillage plaqué
Z65	974159,9	6898012,9	> 100 ans	X	-
Z66	975593,3	6897978,5	1/10 ans	Modéré	Grillage plaqué et Soutènement et Maitrise des eaux pluviales
Z67	975592,8	6897956,6	1/10 ans	Faible	Grillage plaqué
Z68	975532,5	6897922,3	> 100 ans	X	-
Z69	975506,4	6897914,1	1/10 ans	Faible	Surveillance --> purge si nécessaire
Z70	975922,9	6897806,0	?	?	Non cartographié
Z71	976114,8	6897645,3	1/100 ans	Elevé	Pas d'enjeux
Z72	976452,2	6896744,0	1/an	Elevé	Pas d'enjeux

Annexe 3 :

Indice d'activité, indice d'intensité, volume approximatif et proposition de parade de chaque bloc remarquable. Les coordonnées sont en Lambert 93.

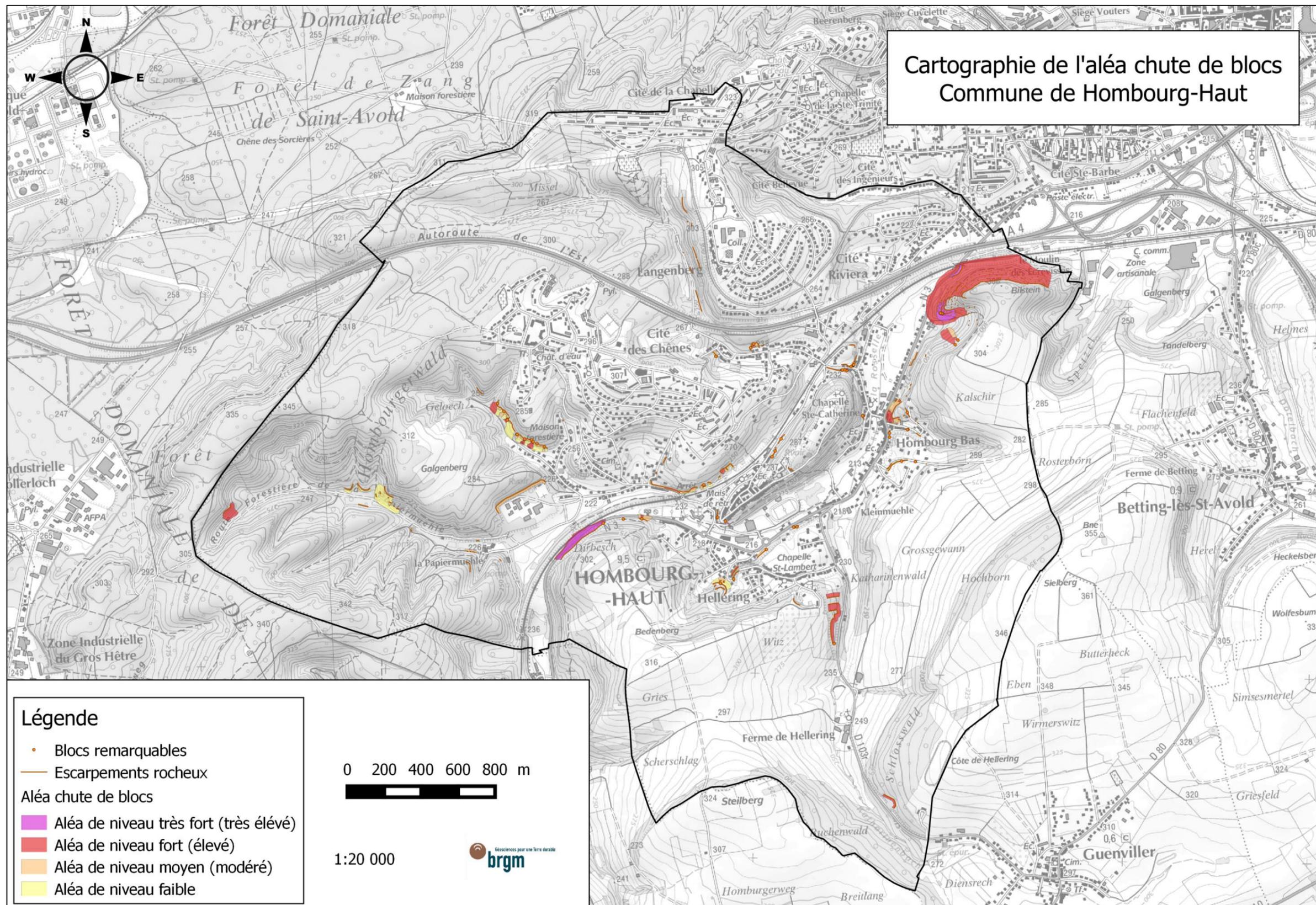
Code bloc	X Lambert 93	Y Lambert 93	Zone de départ	Volume [m ³]	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade	Dégradation Classe Aléa
B4	976720,3	6899370,8	Z7	0,2	1/10 ans à 1/100 ans	Faible	Purge	Non
B3	976716,6	6899372,4	Z7	0,3	1/10 ans - 1/100 ans	Faible	Purge	Non
B2	976708,7	6899373,6	Z7	1,3	1/10 ans	Modéré	Purge	Non
B1	976708,9	6899373,8	Z7	0,3	1/10 ans	Faible	Purge	Non
B8	975689,5	6899203,0	Z8	0,5	1/10 ans	Modéré	Purge	Oui
B6	975696,4	6899207,9	Z8	1	1/an	Elevé	Purge	Oui
B9	975680,6	6899187,2	Z8	0,1	1/10 ans	Faible	Purge	Non
B10	975492,1	6899140,1	Z11	0,5	1/10 ans	Modéré	Purge	Oui
B11	976240,6	6899103,4	Z14	0,1	1/an	Faible	Purge	Non
B14	976234,1	6899091,6	Z16	3	1/10 ans à 1/100 ans	Très Elevé	Purge	Non
B15	976235,7	6899090,4	Z16	1,5	1/10 ans à 1/100 ans	Elevé	Soutènement/Purge	Non
B16	976234,8	6899089,7	Z16	1	1/10 ans à 1/100 ans	Modéré	Soutènement/Purge	Non
B13	976237,1	6899092,2	Z16	0,4	1/10 ans à 1/100 ans	Faible	Soutènement/Purge	Non
B12	976238,1	6899094,2	Z16	0,4	1/10 ans à 1/100 ans	Faible	Soutènement/Purge	Non
B17	976223,9	6899085,7	Z17	0,1	1/10 ans	Faible	Purge	Non
B20	976175,0	6899065,8	Z18	0,1	1/10 ans	Faible	Purge	Non
B19	976177,3	6899066,4	Z18	0,1	1/10 ans	Faible	Purge	Non
B21	976204,3	6899062,6	Z19	1,5	1/10 ans	Très Elevé	Soutènement/Purge	Oui
B18	976190,2	6899067,2	Z19	10	1/10 ans	Très Elevé	Soutènement/Purge	Oui
B22	974309,9	6898884,1	Z24	30	1/10 ans à 1/100 ans	Très Elevé	Soutènement/Purge	Oui
B23	974344,1	6898843,1	Z24	1	1/100 ans	Elevé	Purge	Oui
B26	974361,4	6898799,1	Z24	5	1/100 ans	Très Elevé	Surveillance --> Purge	Oui

Code bloc	X Lambert 93	Y Lambert 93	Zone de départ	Volume [m³]	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade	Dégradation Classe Aléa
B27	974362,1	6898795,7	Z24	2	1/100 ans	Elevé	Surveillance --> purge	Oui
B24	976529,1	6898836,2	Z26	1	1/10 ans	Modéré	Purge	Oui
B25	976286,9	6898818,6	Z28	1	1/100 ans	Elevé	Soutènement/Purge	Oui
B33	976432,4	6898703,0	Z33	0,5	1/an	Modéré	Purge	Oui
B30	976432,0	6898724,8	Z33	0,5	1/100 ans	Modéré	Purge	Oui
B28	976532,4	6898744,6	Z34	0,1	1/10 ans	Faible	Purge	Non
B29	976529,7	6898743,3	Z34	1	1/100 ans	Modéré	Purge	Oui
B34	975844,9	6898693,5	Z35	1	1/10 ans	Modéré	Purge	Oui
B31	974414,0	6898718,7	Z36	1,5	1/100 ans	Modéré à Elevé	Surveillance --> Soutènement/Ancrage	Oui
B32	974415,5	6898717,8	Z36	1,5	1/100 ans	Modéré à Elevé	Surveillance --> Soutènement/Ancrage	Oui
B35	974456,3	6898692,9	Z36	5	1/100 ans	Elevé à très élevé	Surveillance --> Soutènement/Ancrage	Oui
B36	974494,1	6898688,7	Z36	0,5	1/10 ans	Faible à modéré	Soutènement/Purge	Oui
B38	974522,6	6898667,6	Z36	0,2	1/10 ans	Faible	Purge	Non
B39	974562,9	6898651,3	Z36	1	1/100 ans	Modéré	Surveillance --> Soutènement/Ancrage	Oui
B37	974501,7	6898678,0	Z36	3	1/100 ans	Elevé	Surveillance --> Soutènement/Ancrage	Oui
B41	975796,0	6898596,9	Z37	1	1/10 ans	Modéré	Purge	Oui
B40	975813,0	6898627,9	Z37	1	1/an	Modéré	Purge	Oui
B42	976497,7	6898573,0	Z39	0,25	1/10 ans	Faible	Purge	Non
B43	976572,2	6898570,3	Z40	1	1/100 ans	Modéré	Purge	Oui
B44	975426,9	6898445,8	Z50	2	1/10 ans	Faible à modéré	Purge	Oui
B55	975542,1	6898248,2	Z55b	35	1/100 ans	Très Elevé	Soutènement	Oui
B45	975500,9	6898269,2	Z56	0,1	1/100 ans	Faible	Purge et Soutènement du bloc sus-jacent	Oui
B47	974990,0	6898259,6	Z57	1	1/100 ans	Modéré	Purge	Non
B46	975090,4	6898260,7	Z58	1	1/100 ans	Elevé	Purge	Oui

Code bloc	X Lambert 93	Y Lambert 93	Zone de départ	Volume [m ³]	Indice Activité	Indice Intensité	Proposition de parade	Dégradation Classe Aléa
B50	975913,0	6898216,5	Z59	1	1/100 ans	Modéré	Soutènement	Oui
B49	975931,0	6898217,5	Z59	0,5	1/10 ans	Modéré	Purge	Oui
B48	974882,0	6898237,8	Z61	3	1/100 ans	Très Elevé	Surveillance --> Soutènement/Ancrage	Non
B51	975765,5	6898094,9	Z64	0,1	1/an	Faible	Purge	Non
B52	975588,1	6897935,2	Z67	0,3	1/100 ans	Faible	Surveillance --> Purge	Non
B53	975516,4	6897911,8	Z69	1	1/10 ans	Modéré	Soutènement/Purge	Oui
B54	976132,5	6897585,0	Z71	1	1/an	Modéré	Purge	Non
B5	976802,7	6899228,0	-	0,4	1/10 ans	Modéré	Purge	Oui
B7	976788,1	6899203,2	-	1	1/10 ans	Elevé	Purge	Oui

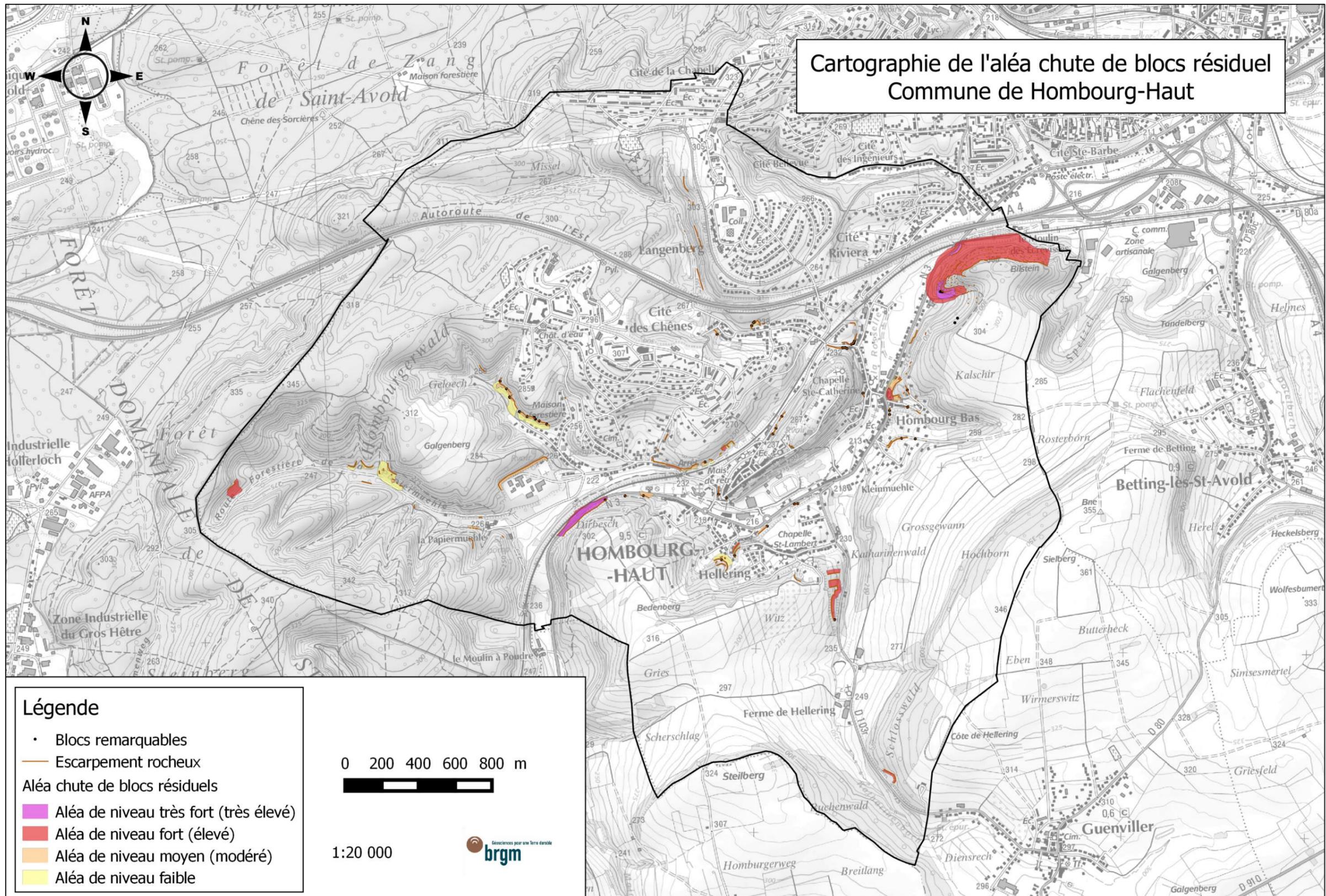
Annexe 4 :

Cartographie de l'aléa chutes de blocs



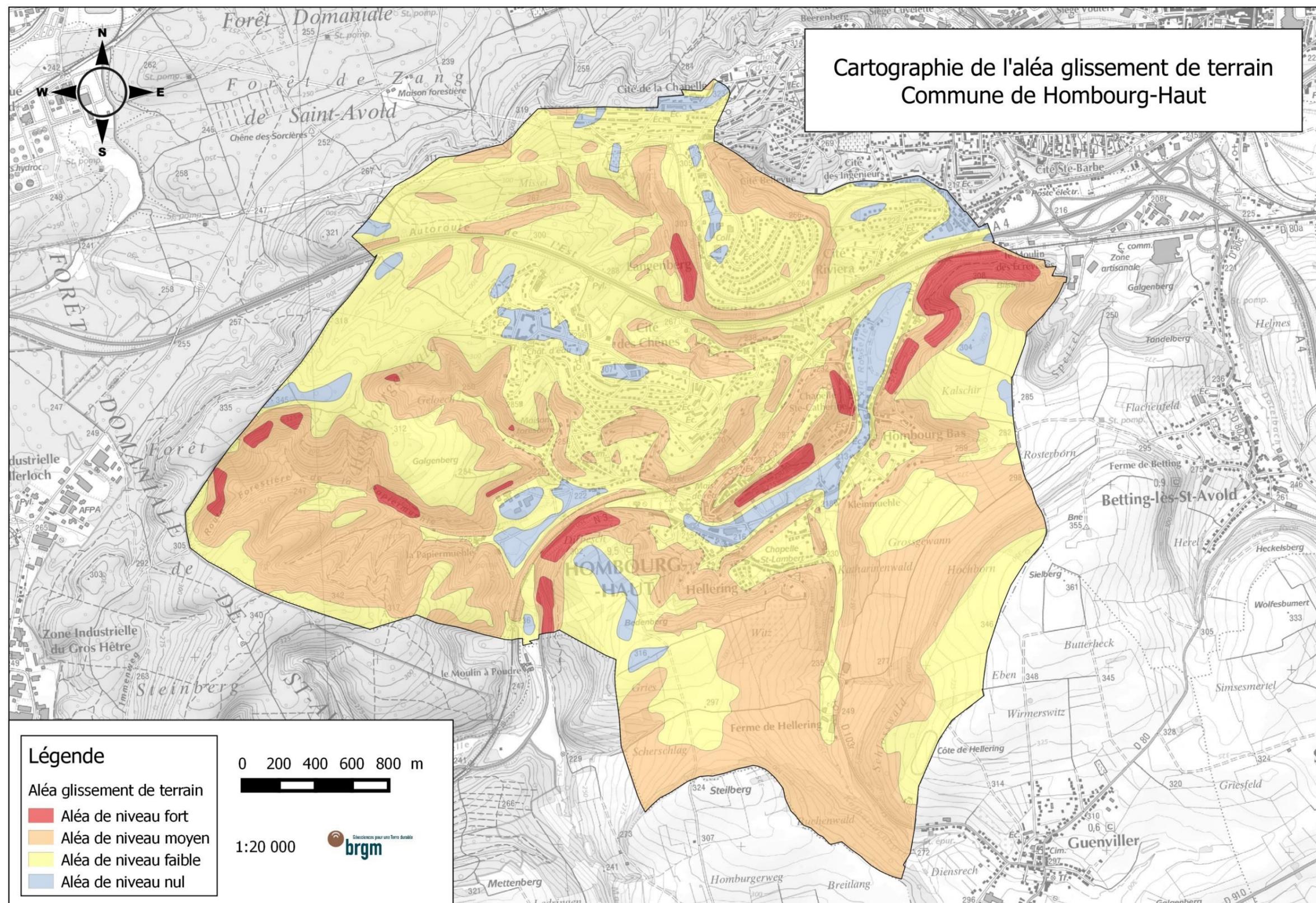
Annexe 5 :

Cartographie de l'aléa résiduel chutes de blocs



Annexe 6 :

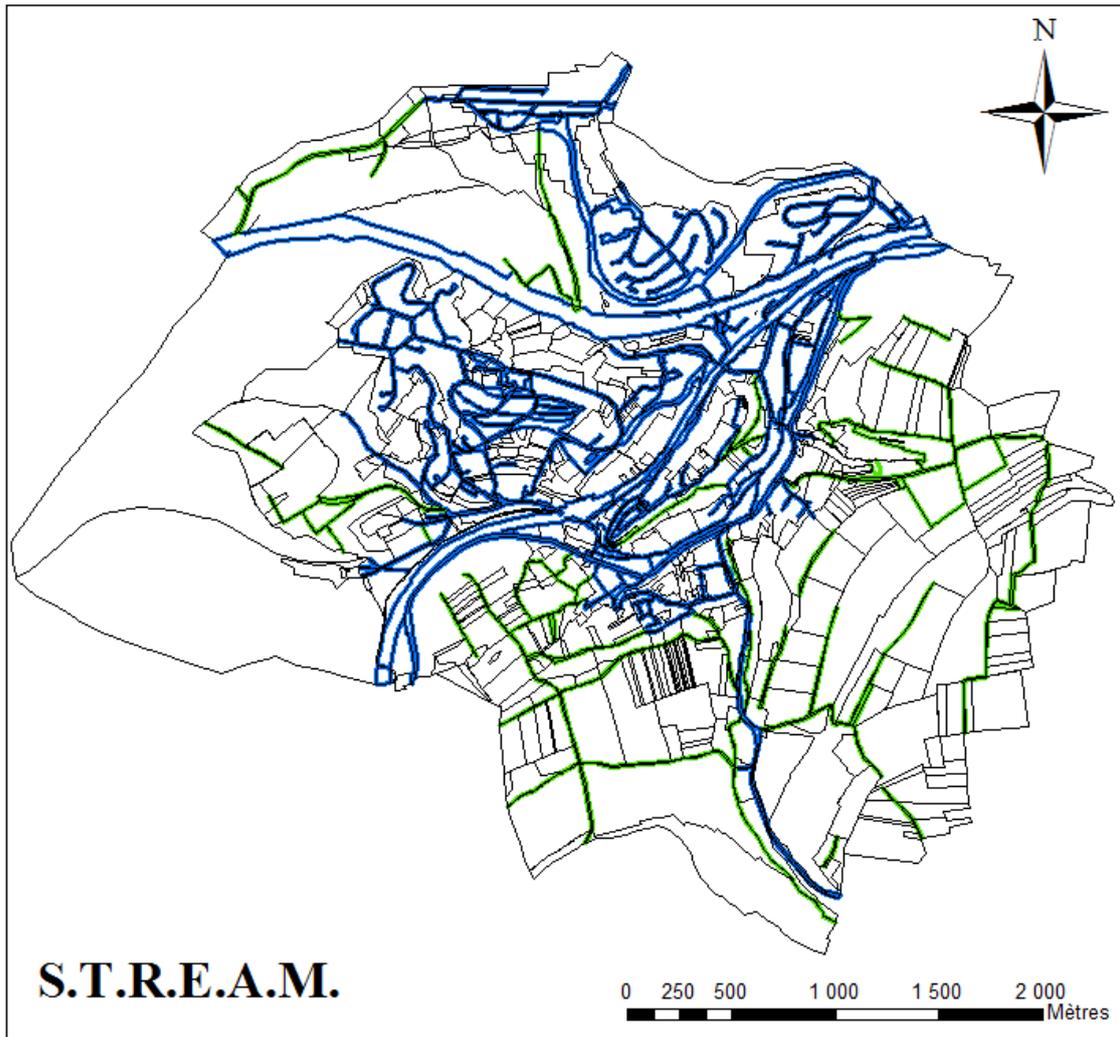
Cartographie de l'aléa glissement de terrain



Annexe 7 :

Carte des limites de parcelles étudiées

Carte des limites de parcelles



- limite de parcelle
- route
- dérayure



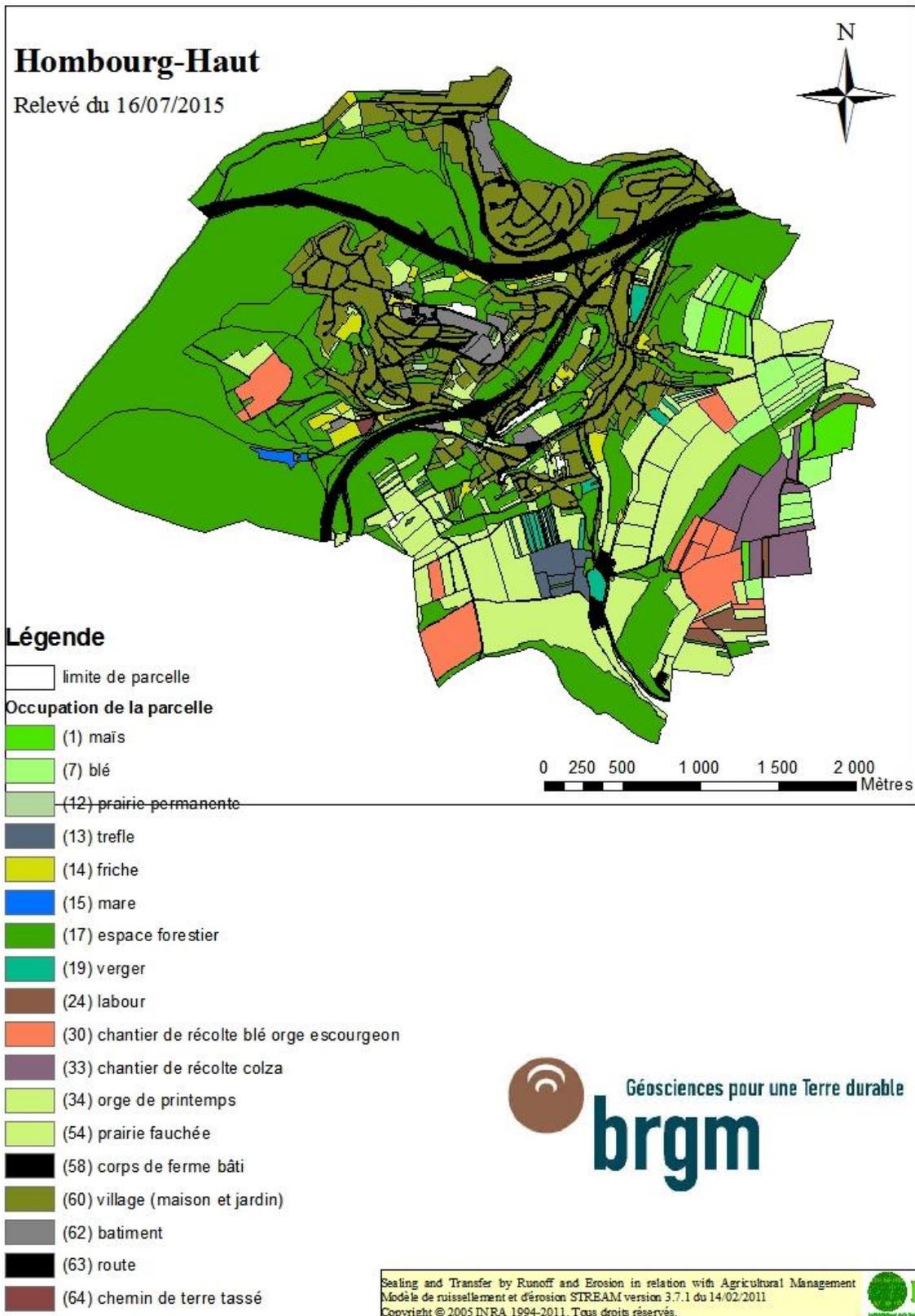
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



Annexe 8 :

Carte d'occupation des sols de la commune de Hombourg-Haut, relevé le 16/07/15

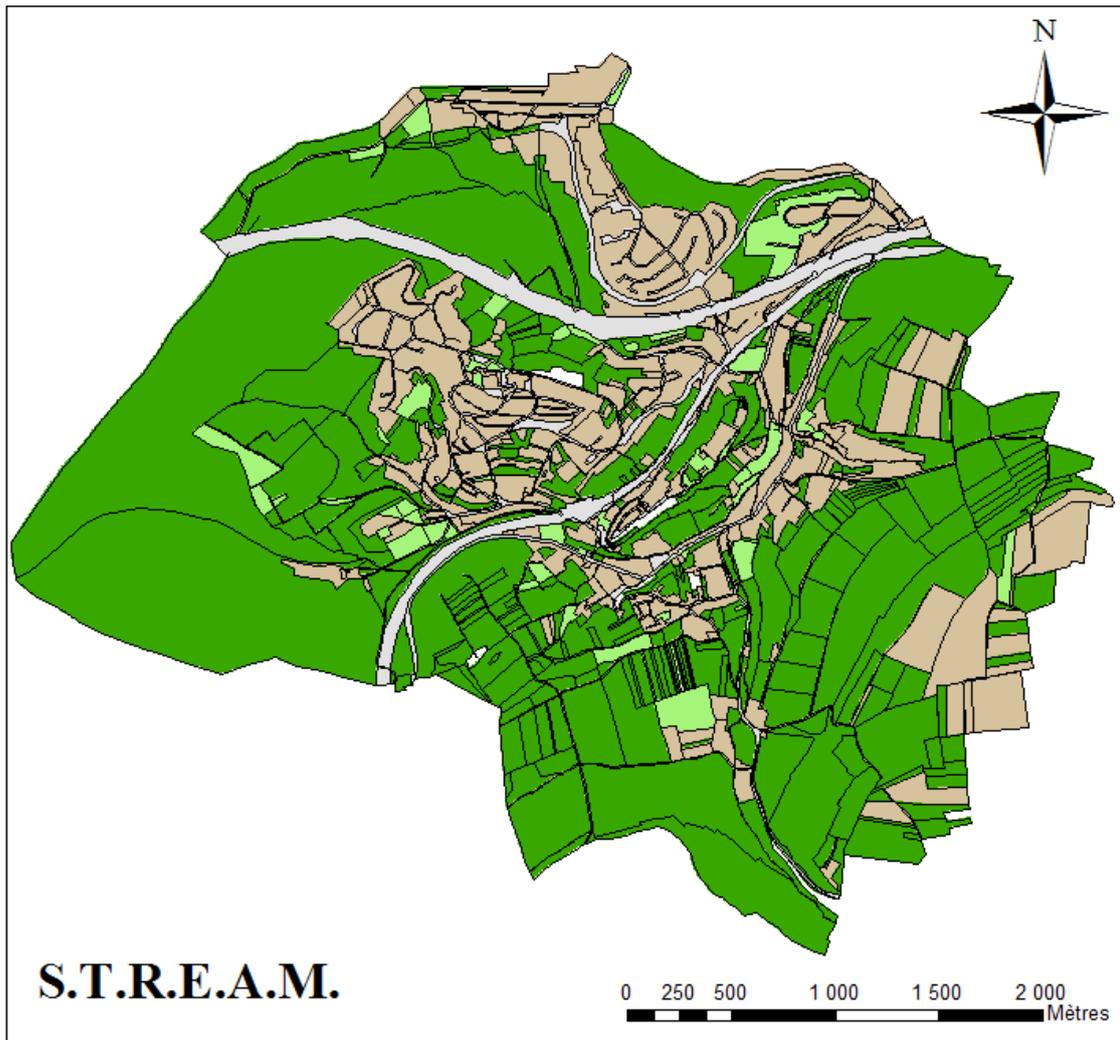
Carte d'occupation des sols



Annexe 9 :

Carte du pourcentage de couvert végétal

Carte du pourcentage de couvert végétal observé



□ limite de parcelle

Couvert végétal observé

(-1,1,2,3)

□ (-1) non relevé

□ (1) < 20 %

□ (2) 21 - 60 %

□ (3) > 60 %



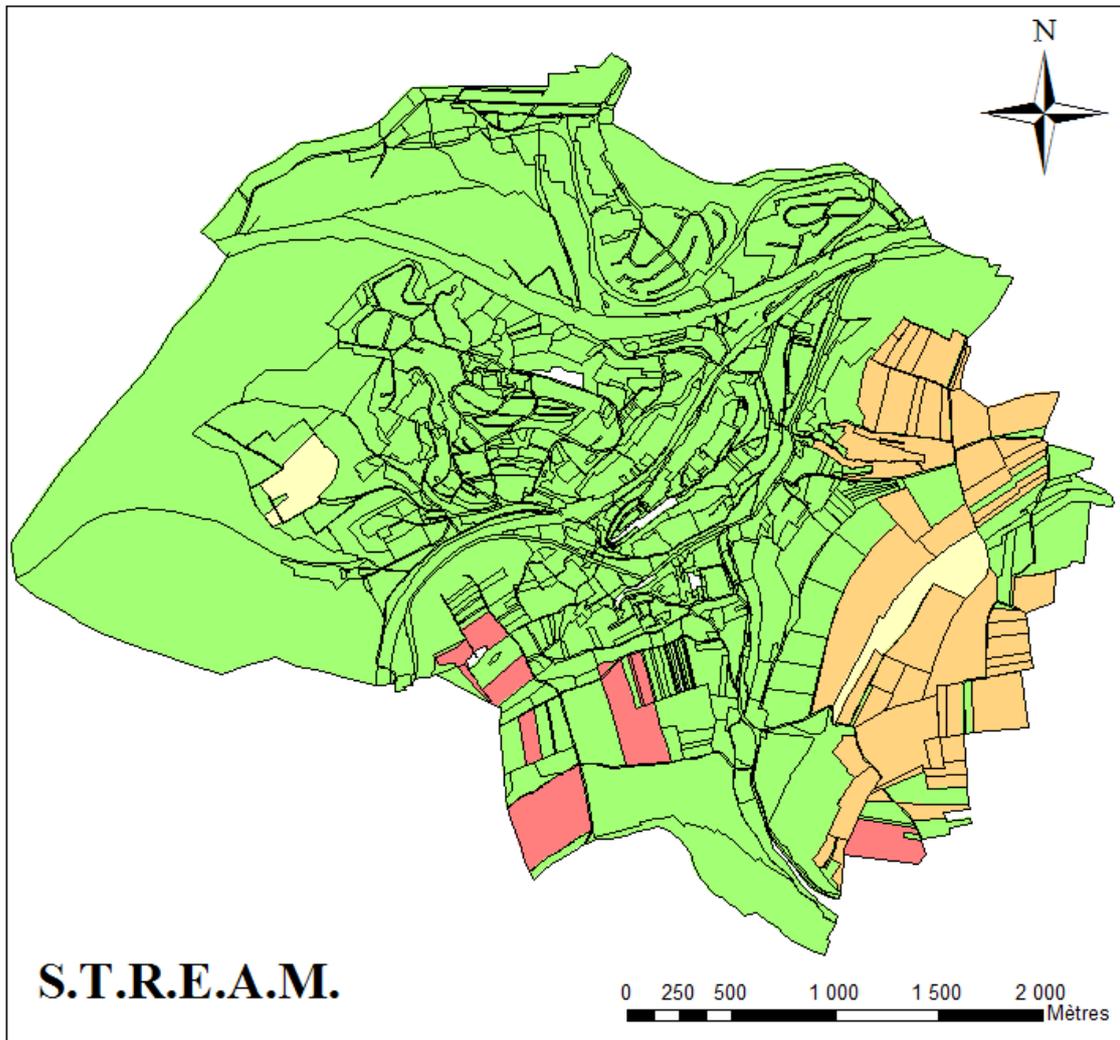
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



Annexe 10 :

Carte des faciès des parcelles étudiées

Carte des faciès du sol



□ limite de parcelle

Stade de fermeture de la surface du sol observé

(-1, 0, 1, 12, 2)

- (-1) non relevé
- (0) F0 - stade fragmentaire
- (1) F1 - 1er stade de dégradation
- (2) F2 - stade sédimentaire
- (12) F12 - 2ème stade de dégradation



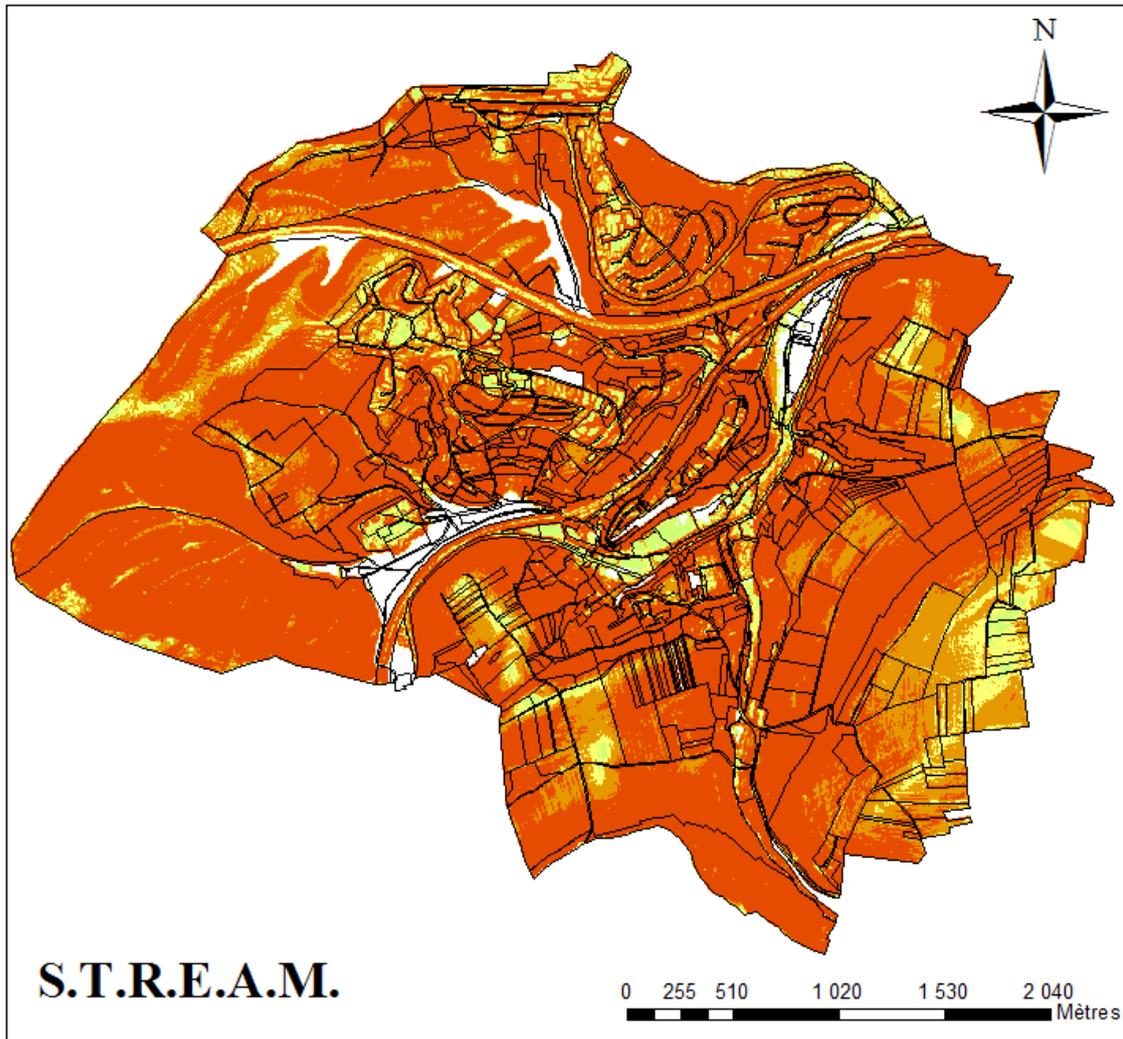
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



Annexe 11 :

Carte des pentes

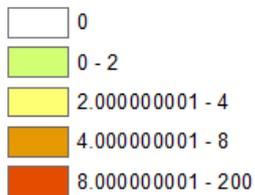
Carte des pentes en pourcentage



 limite de parcelle

Intensité de la pente en %

<VALEUR>



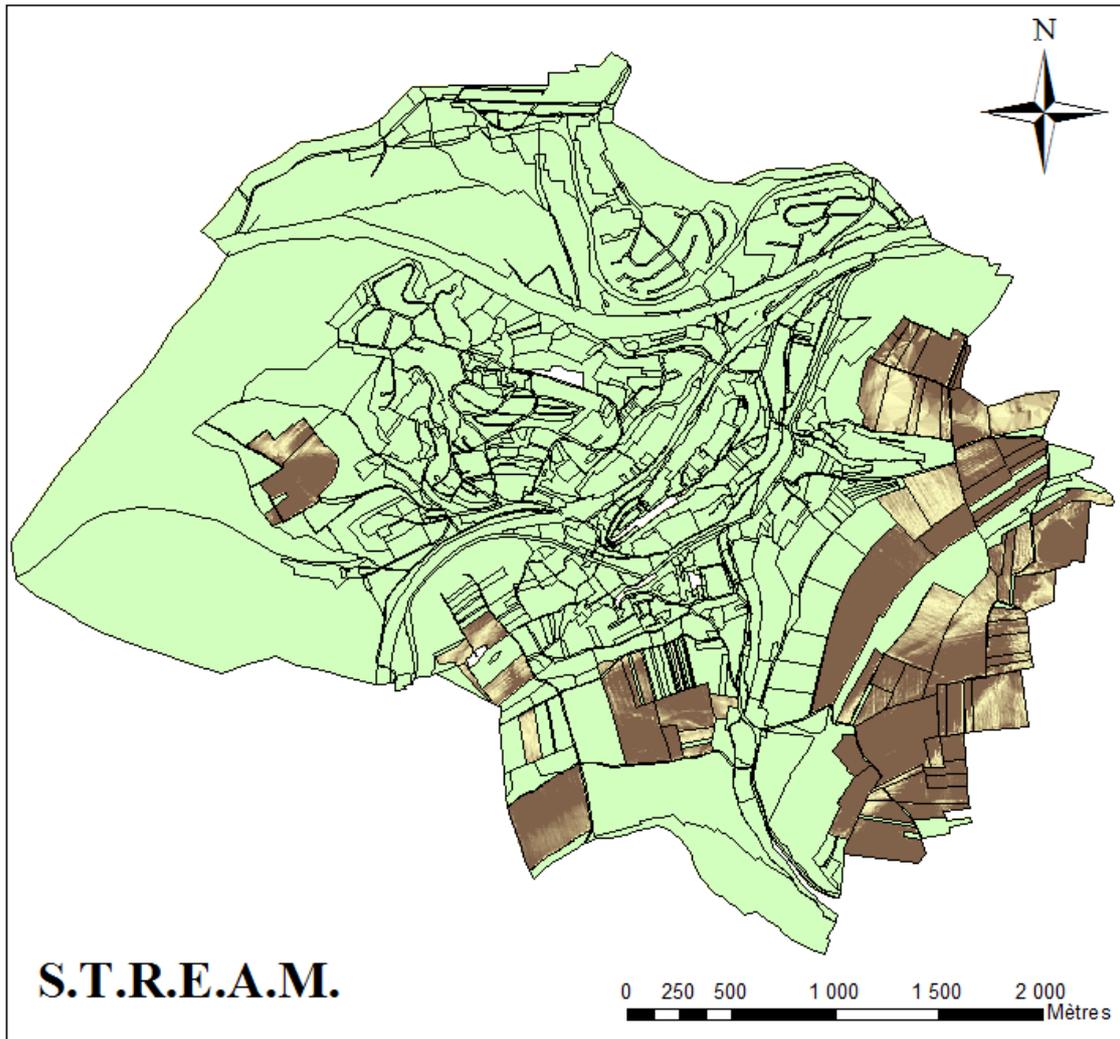
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



Annexe 12 :

Carte de l'angle entre le sens du travail du sol et le sens de la pente

Carte de comparaison entre le sens de travail du sol (si présent) et le sens de la pente



 limite de parcelle

 Pas de sens de travail du sol

Angle entre orientations du travail du sol et de la pente en degrés

Valeur

 Elevée : 90

 Faible : 0



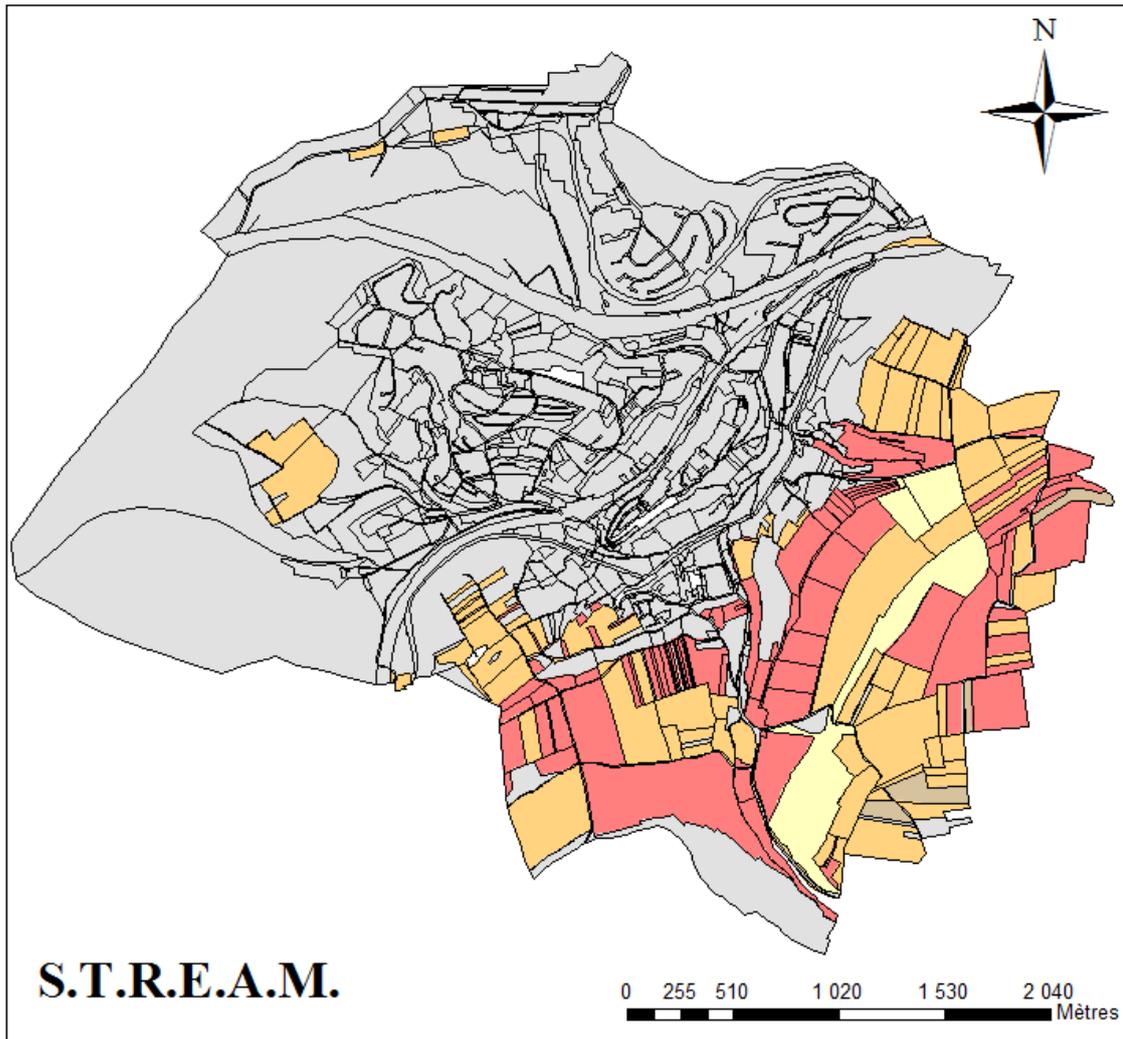
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



Annexe 13 :

Carte de la rugosité parallèle au sens de travail du sol

Carte de la rugosité parallèle au sens de travail du sol



 limite de parcelle

Rugosité dans le sens du travail du sol observée

(-1, 0, 1, 2, 3, 4, 5)

 (-1) non relevé

 (0) 0 - 1 cm

 (1) 1 - 2 cm

 (2) 2 - 5 cm

 (4) 10 - 15 cm



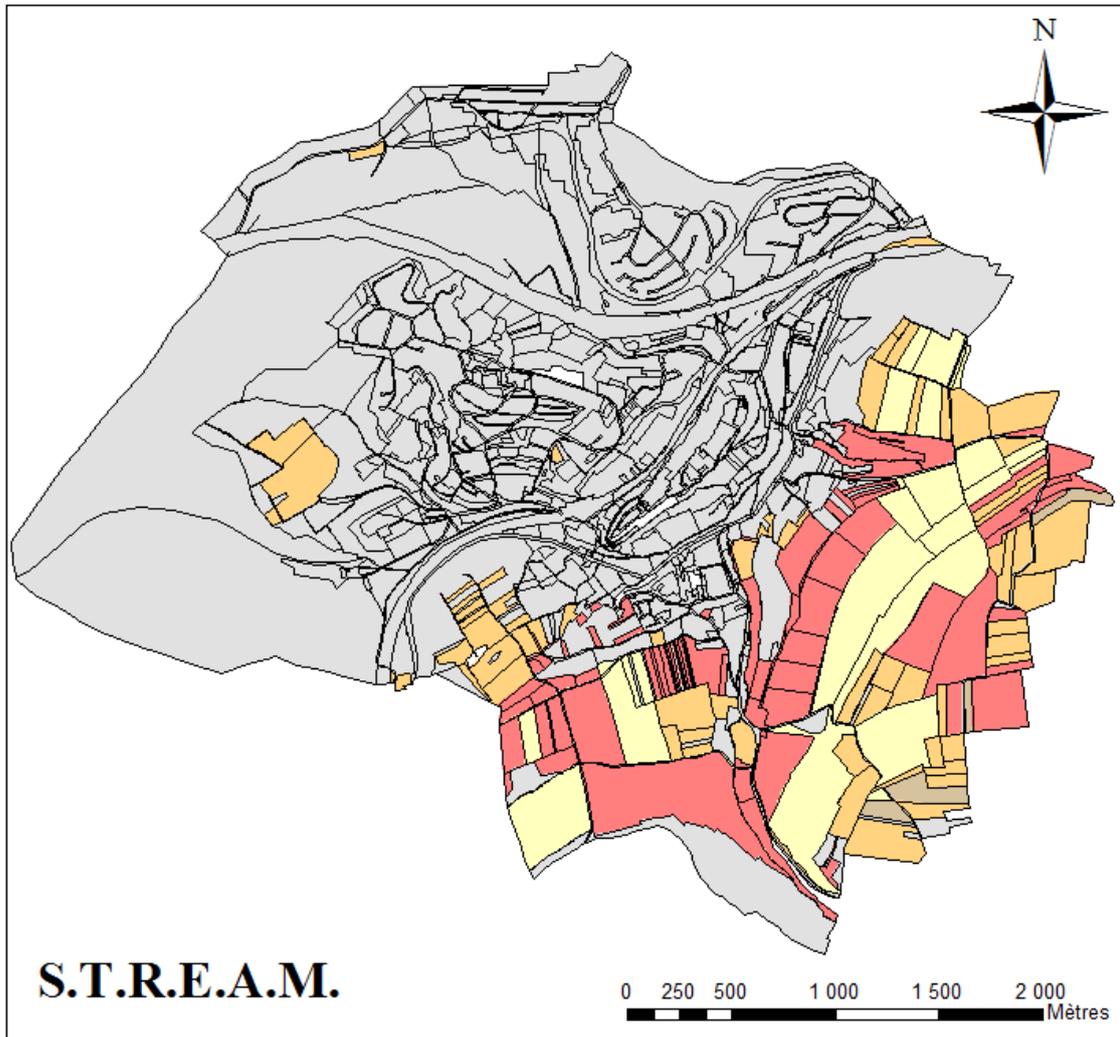
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



Annexe 14 :

Carte de la rugosité perpendiculaire au sens de travail du sol

Carte de la rugosité observée du sol dans le sens perpendiculaire à celui du travail du sol



 limite de parcelle

Rugosité dans le sens perpendiculaire à celui du travail du sol observée

(-1, 0, 1, 2, 3, 4, 5)

 (-1) non relevé

 (0) 0 - 1 cm

 (1) 1 - 2 cm

 (2) 2 - 5 cm

 (4) 10 - 15 cm



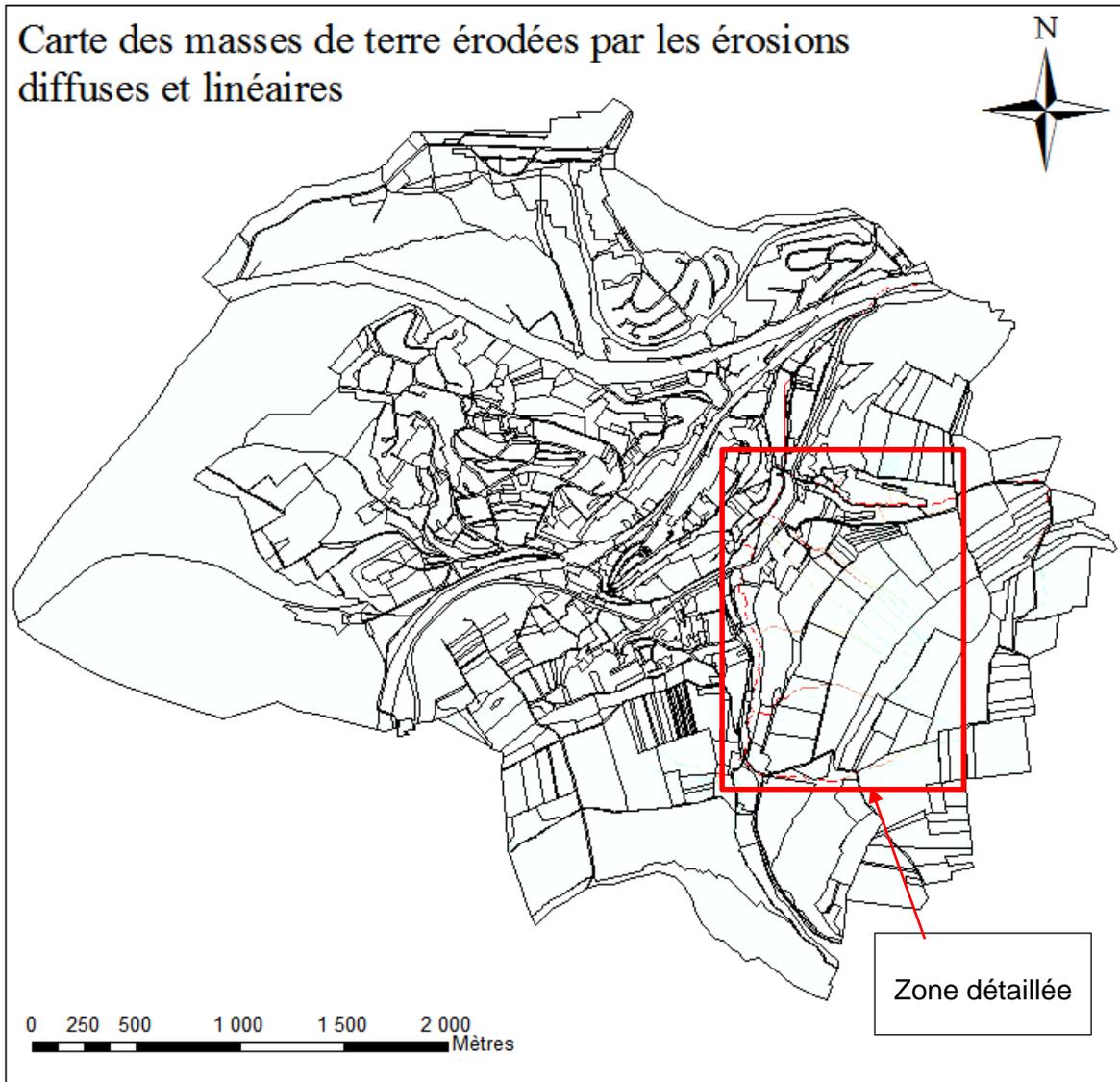
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
 Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
 Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



Annexe 15 :

Cartes des masses de terre emportées par l'érosion diffuse et linéaire (sans pluie antécédentes)

S.T.R.E.A.M.



 limite de parcelle

Masse de terre accumulée par érosion diffuse et linéaire en T (1)



Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.

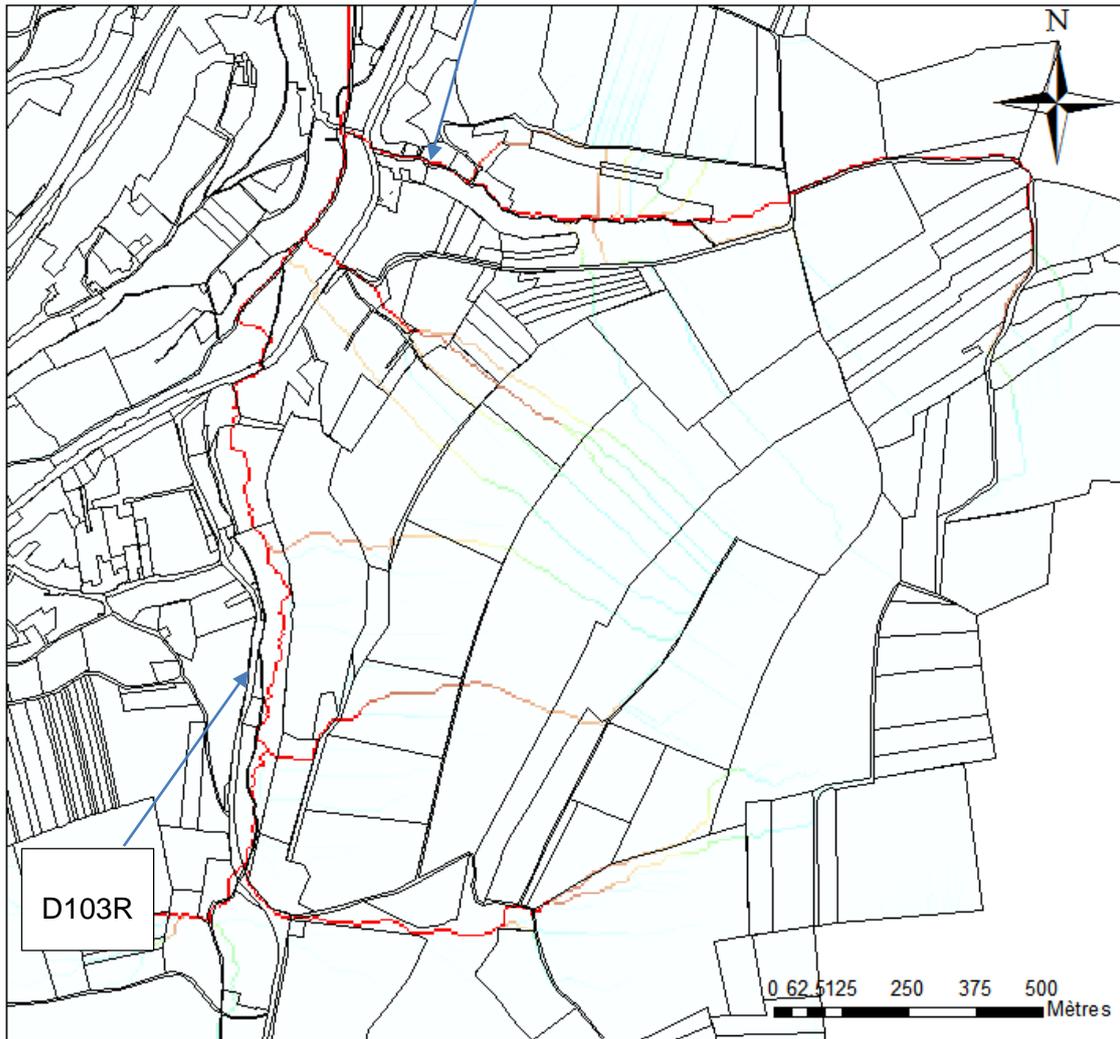


Annexe 16 :

Cartes des masses de terre emportées par l'érosion diffuse et linéaire (sans pluie antécédente) – détails de l'Est de la commune

S.T.R.E.A.M.

Rue du 28 Novembre



Carte des masses de terre érodées par les érosions diffuses et linéaires (détail de l'Est du village)

limite de parcelle

Masse de terre accumulée par érosion diffuse et linéaire en T (1)



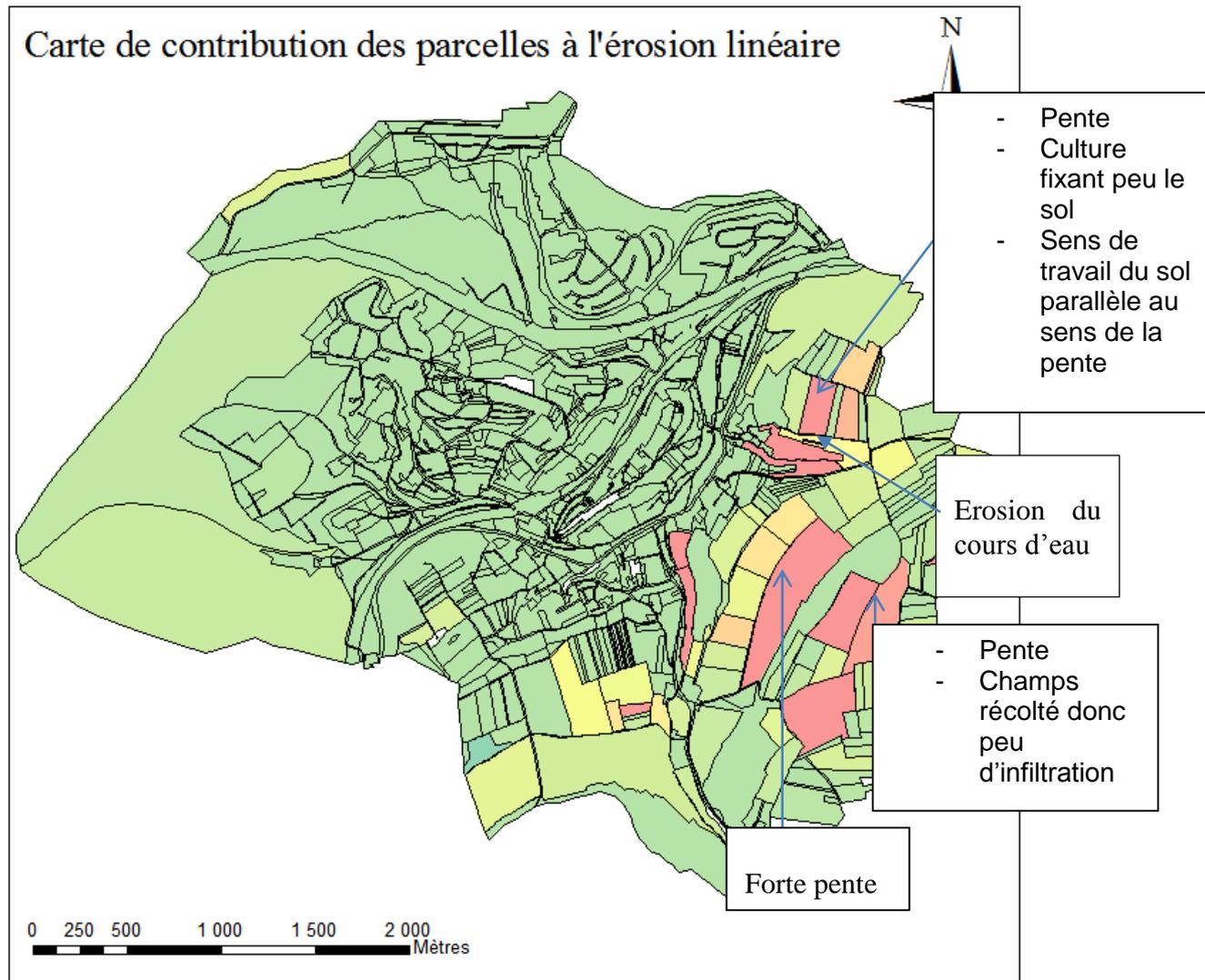
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



Annexe 17 :

Carte de contribution des zones d'intégration à l'érosion linéaire (sans pluie antécédente)

S.T.R.E.A.M.



▭ limite de parcelle

Contribution des zones d'intégration à l'érosion linéaire en T (1)



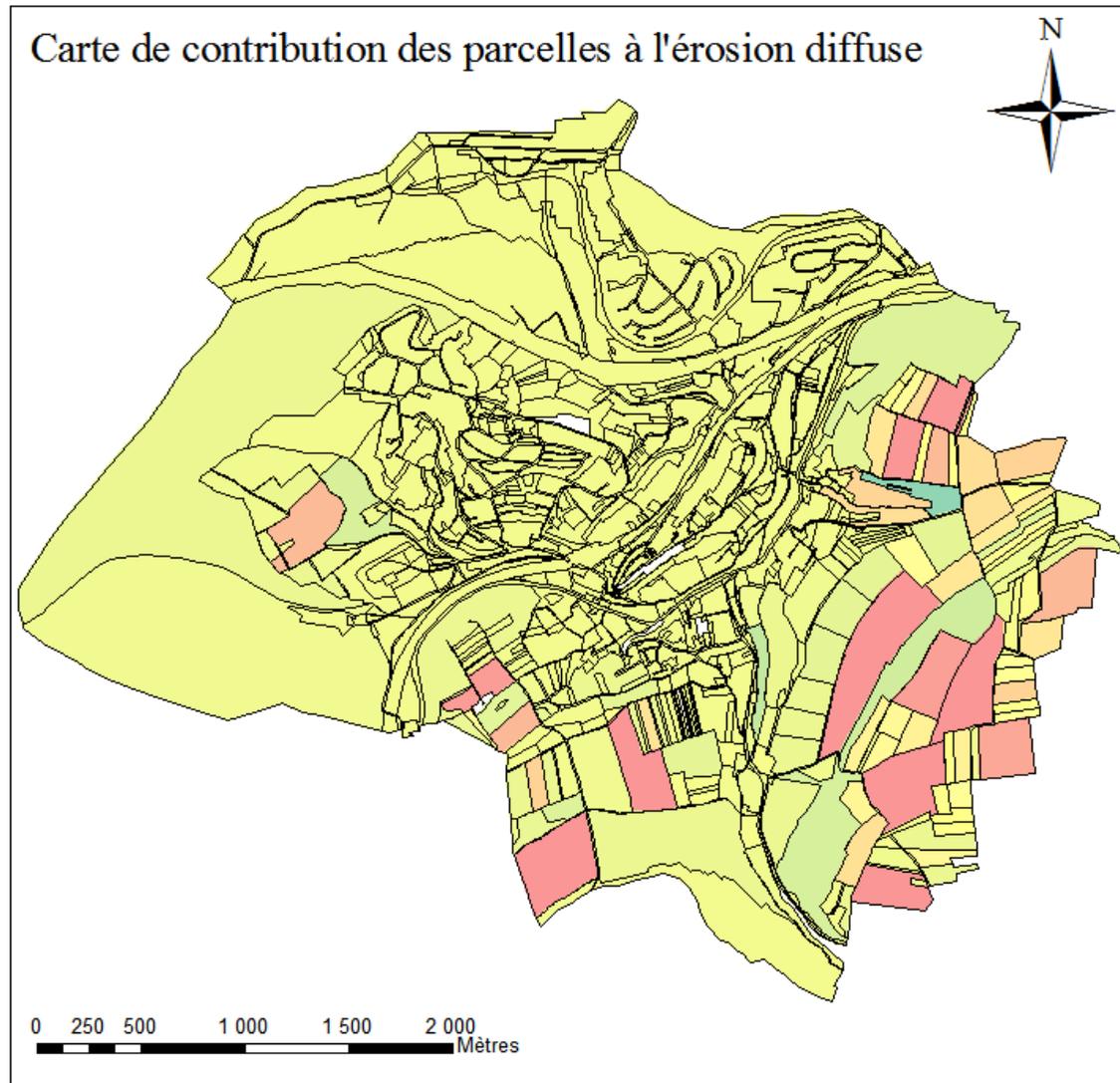
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



Annexe 18 :

Carte de contribution des zones d'intégration à l'érosion diffuse (sans pluie antécédente)

S.T.R.E.A.M.



 limite de parcelle

Contribution des zones d'intégration à l'érosion diffuse en T (1)

 Elevée : 92.5155

 Faible : -26.8154



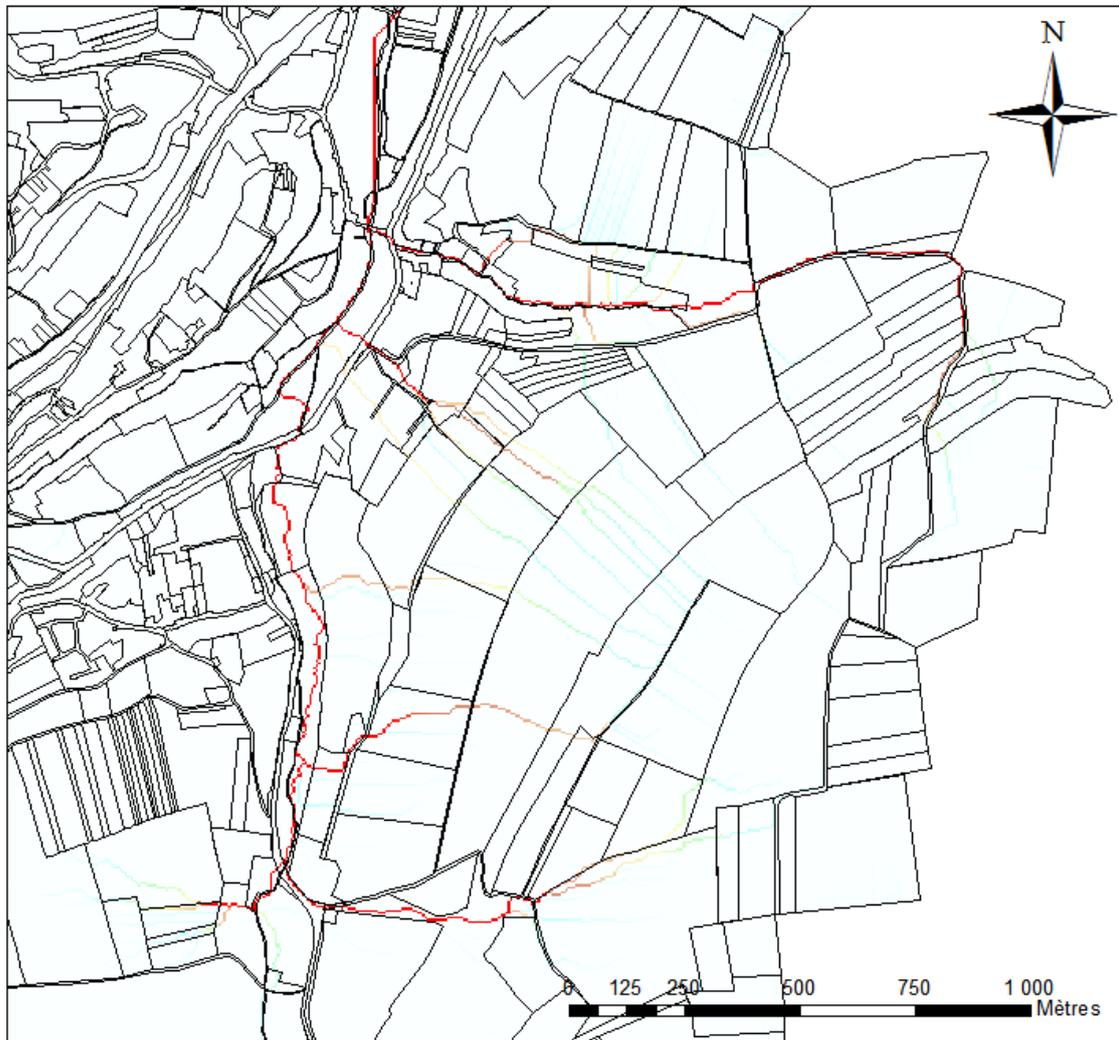
Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



Annexe 19 :

Cartes des masses de terre emportées par l'érosion diffuse et linéaire (avec pluie antécédente de 100mm) – détails de l'Est de la commune

Carte des masses de terre cumulées par érosion diffuse et linéaire (simulation numéro 2 : pluie antécédente de 100mm) Détail de l'Est de la commune



▭ limite de parcelle

Masse de terre cumulée par érosion diffuse et linéaire en T (2)



Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management
Modèle de ruissellement et d'érosion STREAM version 3.7.1 du 14/02/2011
Copyright © 2005 INRA 1994-2011. Tous droits réservés.



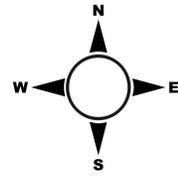


Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain - BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Grand-Est
1 avenue du Parc de Brabois
54500 - Vandoeuvre les Nancy – France
Tél. : 03.83.44.81.49



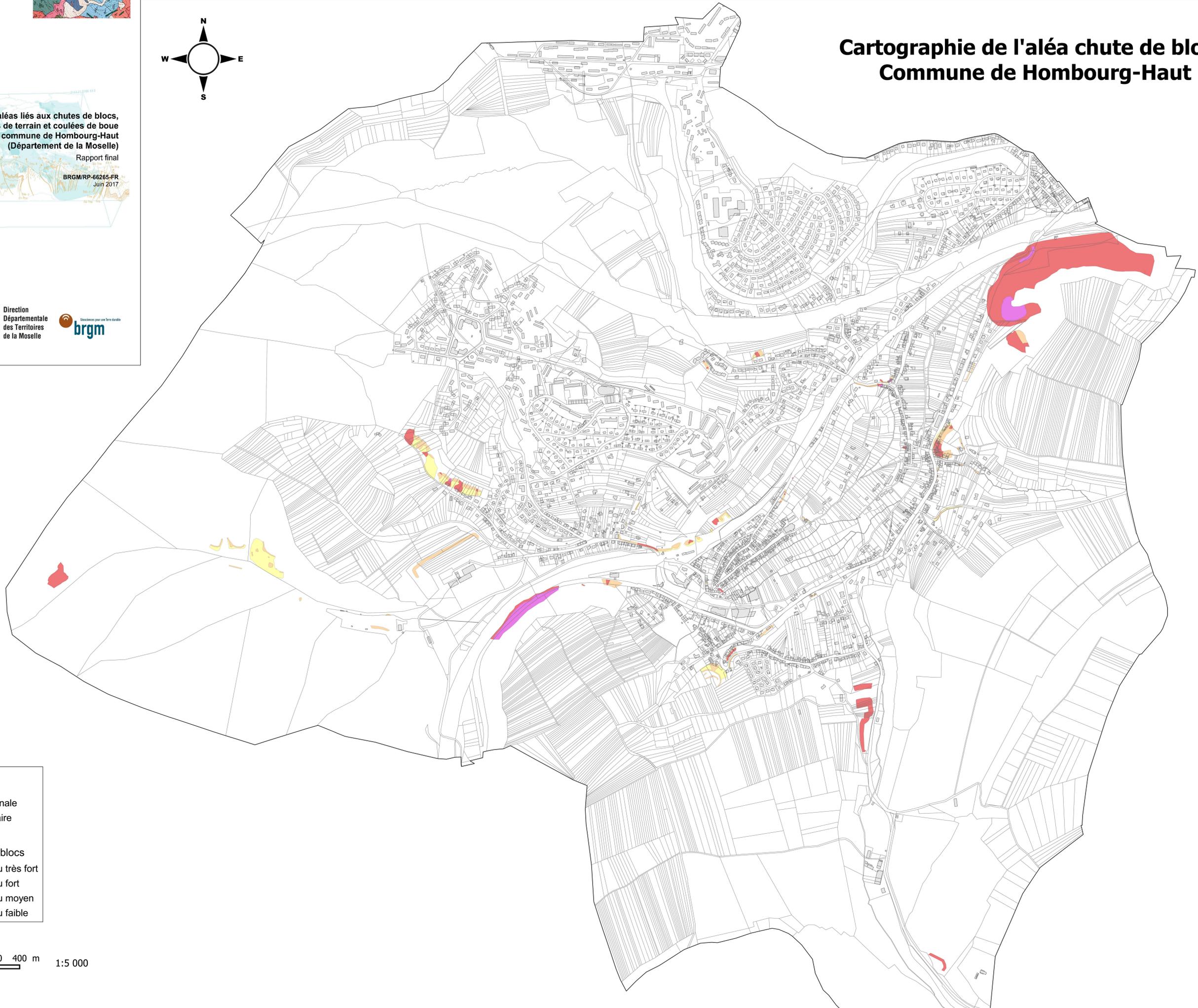
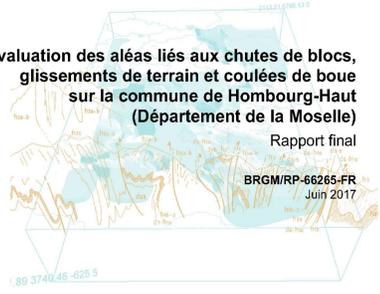
Cartographie de l'aléa chute de blocs Commune de Hombourg-Haut

Evaluation des aléas liés aux chutes de blocs,
glissements de terrain et coulées de boue
sur la commune de Hombourg-Haut
(Département de la Moselle)

Rapport final

BRGM/RP-66265-FR

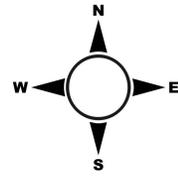
Juin 2017



Légende :

- Limite communale
- Limite parcellaire
- Bâtiments
- Aléa de chute de blocs**
- Aléa de niveau très fort
- Aléa de niveau fort
- Aléa de niveau moyen
- Aléa de niveau faible

0 100 200 300 400 m 1:5 000



Cartographie de l'aléa glissements de terrain Commune de Hombourg-Haut

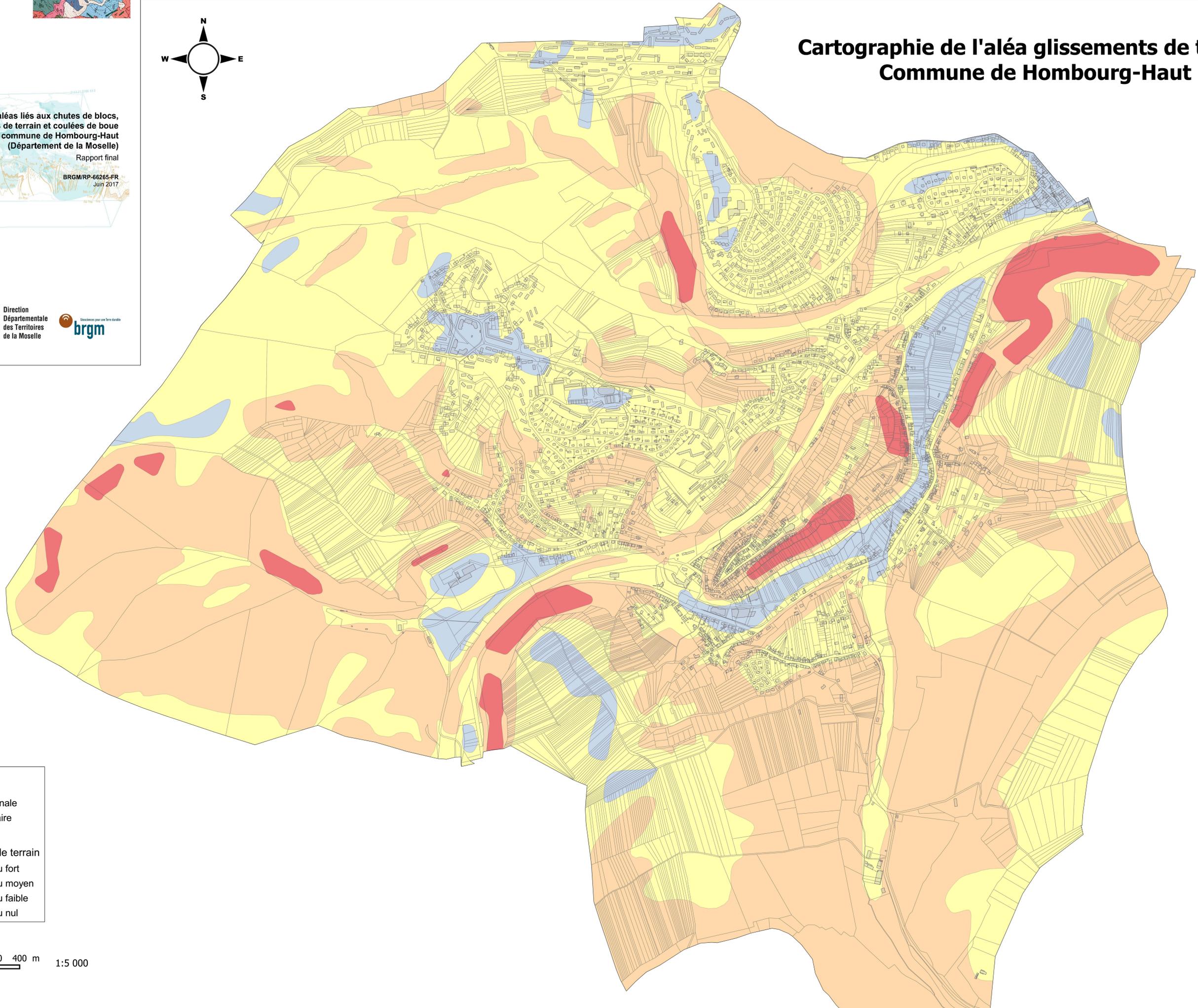
Evaluation des aléas liés aux chutes de blocs,
glissements de terrain et coulées de boue
sur la commune de Hombourg-Haut
(Département de la Moselle)

Rapport final

BRGM/RP-66265-FR

Juin 2017

1 88 3740 45 -625 5



Légende :

- Limite communale
- Limite parcellaire
- Bâtiments

Aléa glissement de terrain

- Aléa de niveau fort
- Aléa de niveau moyen
- Aléa de niveau faible
- Aléa de niveau nul

0 100 200 300 400 m

1:5 000