

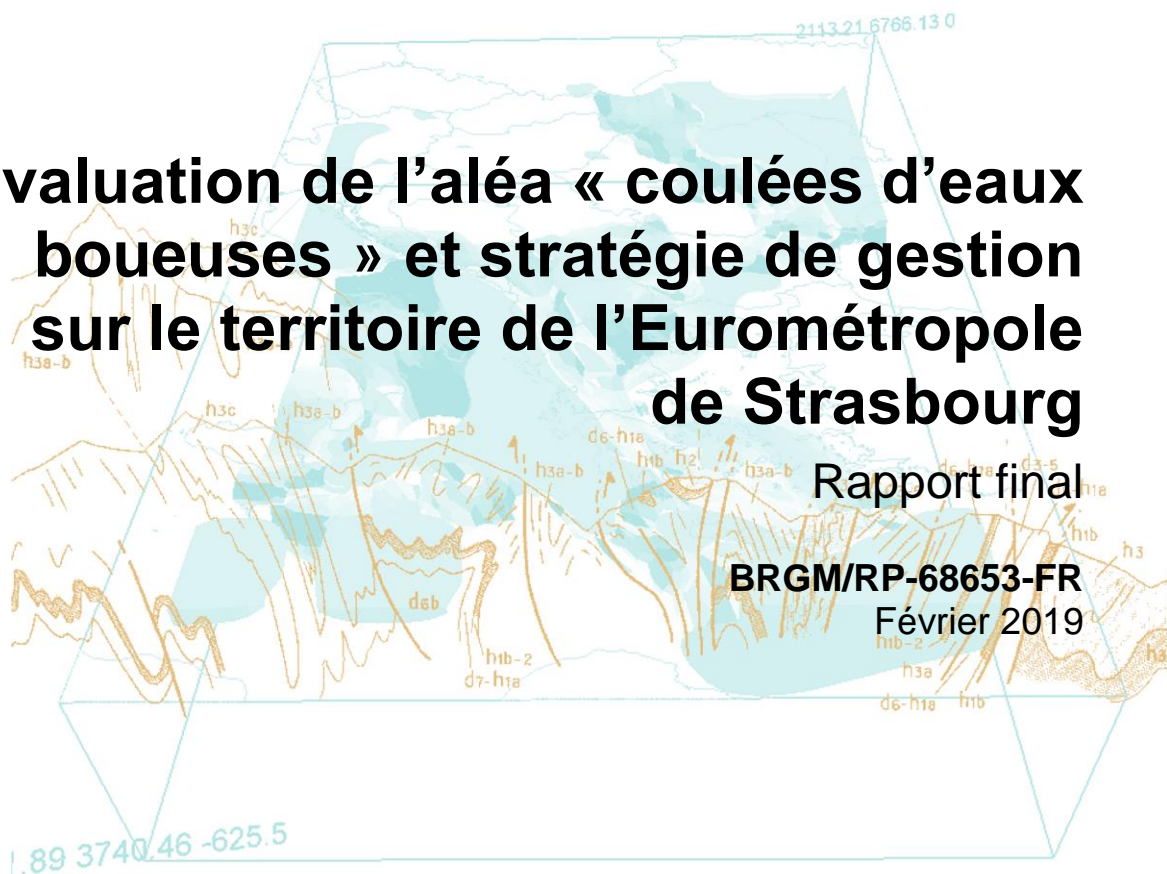
Document public

Évaluation de l'aléa « coulées d'eaux boueuses » et stratégie de gestion sur le territoire de l'Eurométropole de Strasbourg

Rapport final

BRGM/RP-68653-FR

Février 2019



Document public

Évaluation de l'aléa « coulées d'eaux boueuses » et stratégie de gestion sur le territoire de l'Eurométropole de Strasbourg

Rapport final

BRGM/RP-68653-FR

Février 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2018-RIS-20

L. Grabenstaetter, R. Vandromme

Avec la collaboration de

V. Landemaine, G. Masselis

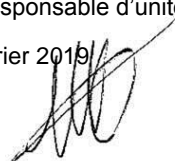
Vérificateur :

Nom : O. Cerdan

Fonction : Responsable d'unité

Date : 27 février 2019

Signature :



Approbateur :

Nom : K. Samyn

Fonction : Directeur régional délégué

Date : 28 février 2019

Signature :



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

Contact : qualite@brgm.fr

Mots-clés : Érosion des sols, Érodibilité, Coulée d'eaux boueuses, Ruissellement, Gestion du risque, Modèle, Loess, Grand Est, Alsace, Bas-Rhin, Eurométropole de Strasbourg.

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

Grabestaetter L., R. Vandromme et al. (2019) - Évaluation de l'aléa « coulées d'eaux boueuses » et stratégie de gestion sur le territoire de l'Eurométropole de Strasbourg. Rapport final. BRGM/RP-68653-FR, 130 p., 24 ill., 17 tabl., 5 ann.

Synthèse

L'analyse de la base de données Catastrophes Naturelles montre que le département du Bas-Rhin est particulièrement impacté par l'aléa « coulées d'eaux boueuses ». Depuis 1983 (date à laquelle l'inventaire débute), 112 des 527 communes du Bas-Rhin ont subi des coulées d'eaux boueuses. La fréquence de ces événements est quasi-annuelle ; 8 années sur 10 sont concernées.

L'aléa « coulées d'eaux boueuses » désigne les écoulements chargés de terres en suspension qui ont été détachées par les pluies ou le ruissellement. Le cumul de ces écoulements progresse vers l'aval et provoque des inondations et des dépôts de sédiments.

Des études de caractérisation de l'aléa ont déjà été menées sur le territoire alsacien par l'ARAA¹. Cette étude a mis en avant que 14 % des communes bas-rhinoises présentent un risque élevé par rapport à l'aléa « coulées d'eaux boueuses » et que 30 % de la surface agricole utile (SAU) présente une sensibilité à l'érosion significative (chiffre 2014).

Ainsi, dans un passé récent, plusieurs coulées d'eaux boueuses ont généré des dégâts, en 2016, 2017 et 2018. Le BRGM est intervenu à plusieurs reprises suite à ces événements climatiques extrêmes dans le cadre d'expertises mouvements de terrains ou de demandes de reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles.

L'Eurométropole de Strasbourg s'est saisie de la problématique des coulées d'eaux boueuses et, en collaboration avec le BRGM, a lancé un programme de qualification de l'aléa sur l'ensemble des communes concernées.

La qualification de l'aléa, réalisée à l'aide du module WATERSED du BRGM, a pris en compte les lignes d'écoulement des eaux de ruissellement (calculé d'après le MNT à 1 m de l'EMS et corrigé d'après des relevés de terrain), la nature du sol, le type de culture le plus défavorable susceptible d'être cultivé sur chaque parcelle et les paramètres de sols liés, ainsi que l'intensité pluvieuse. L'aléa a été qualifié sur la base des masses de sédiments charriés par les eaux de ruissellement.

L'inventaire et la cartographie des enjeux a permis, après croisement avec les cartes d'aléa, de localiser les zones à risque (croisement entre un aléa élevé et la présence d'enjeux) afin de hiérarchiser les secteurs à protéger. Les enjeux inventoriés ont été répartis dans 3 catégories :

- les enjeux humains concernent toutes les zones où une activité humaine est ou va être installée (bâtiment et zone d'habitation) ;
- les enjeux surfaciques différencient l'occupation des zones naturelles et agricoles ;
- les enjeux linéaires correspondent aux voies de communication et de transport de l'énergie.

Un niveau de vulnérabilité a été établi pour chaque enjeu inventorié. Cinq niveaux de vulnérabilité ont été établis. Les enjeux les plus vulnérables sont classés en catégorie 1, les moins vulnérables en catégorie 5. De manière générale, les enjeux dont le niveau de vulnérabilité est qualifié de 1 et 2 ont été traités de manière prioritaire lors de l'établissement de la stratégie de gestion du risque.

¹ ARAA : Association pour la Relance Agronomique en Alsace

L'étude des enjeux installés en aval des zones de départ a permis d'identifier 96 bassins versants nécessitant l'implantation d'ouvrages de gestion des eaux boueuses. Ces 96 bassins versants ont fait l'objet d'une hiérarchisation afin d'orienter les budgets vers les zones à protéger en priorité.

Sur la base de ces paramètres, 40 bassins versants, répartis sur 11 communes, ont été identifiés en priorité 1.

L'implantation d'ouvrages d'hydraulique douce (fascines, bandes enherbées) a été simulée sur l'ensemble des bassins versants permettant de diminuer les masses de sédiments atteignant les enjeux de près de 80 % si l'ensemble des ouvrages existants et modélisés par le BRGM sont en état optimal de fonctionnement.

Le coût estimé de mise en place, d'indemnisation des exploitants agricoles et d'entretien des ouvrages pour les 96 bassins versants identifiés est d'environ 500 000 € dont 230 000 € pour les bassins versant en priorité 1 (150 000 € d'investissement et 80 000€ de fonctionnement).

Pour rappel, ces coûts estimés correspondent à la mise en place totale des ouvrages implantés sur la base d'une occupation du sol défavorable qui ne devrait pas être rencontrée en réalité en raison de la rotation des cultures.

L'estimation des budgets à prévoir sur la base des assolements prévus (bandes enherbées) et l'implantation des fascines à très court terme (année n+1) devront faire l'objet d'une étude complémentaire qui prendra en compte l'occupation des sols prévues sur l'année visée.

En complément à l'implantation des ouvrages d'hydraulique douce proposés par le BRGM, une réflexion peut être menée sur l'adaptation des pratiques agricoles par les exploitants sur les zones à forte susceptibilité via la mise en place d'autres pratiques agricoles (non labour, semis sous couvert, ...).

Sommaire

1. Contexte et objectifs	9
1.1. CONTEXTE	9
1.1.1. Phénomènes considérés.....	9
1.1.2. Contexte géographique et géomorphologique.....	10
1.1.3. Contexte lithologique et hydrogéologique	12
1.1.4. Études antérieures.....	13
1.2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	16
2. Modélisation de l'aléa coulées d'eaux boueuses.....	17
2.1. PRÉSENTATION DU MODÈLE WATERSED	17
2.2. DÉTERMINATION DES CHEMINS D'EAUX.....	19
2.3. CARTOGRAPHIE DES UNITÉS PÉDO-CULTURALES.....	20
2.3.1. Carte des sols.....	21
2.3.2. Occupation des sols.....	22
2.3.3. Carte des formations pédo-culturelles.....	25
2.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA COULÉES D'EAUX BOUEUSES	26
2.4.1. Définition des scénarii cultureux - Caractérisation des états de surface	26
2.4.2. Définition de l'évènement pluvieux de référence	32
2.4.3. Qualification de l'aléa.....	33
3. Proposition d'une stratégie de gestion de l'aléa « coulées d'eaux boueuses »	39
3.1. CARACTÉRISATION ET LOCALISATION DES ENJEUX.....	39
3.1.1. Typologie des enjeux.....	39
3.1.2. Les enjeux humains	39
3.1.3. Les enjeux surfaciques et linéaires	39
3.1.4. Synthèse des enjeux.....	40
3.2. IDENTIFICATION DES ZONES À PROTÉGER	42
3.3. HIÉRARCHISATION DES ZONES À PROTÉGER	42
3.4. MODÉLISATION DES PROPOSITIONS D'ACTION	45
3.5. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	46
3.6. ESTIMATION DES COÛTS	47
4. Conclusion.....	49
5. Bibliographie	51

Liste des illustrations

Illustration 1 :	Exemple de profil altimétrique des communes de l'ouest de l'Eurométropole de Strasbourg	10
Illustration 2 :	Localisation des communes ciblées par l'étude	11
Illustration 3 :	Carte lithologique de la zone d'étude issue de la carte géologique harmonisée du BRGM au 1/50.000	12
Illustration 4 :	Cartographie de la sensibilité à l'érosion en Alsace suivant la méthodologie MESALES (DREAL ALSACE, 2014)	13
Illustration 5 :	Cartographie de la sensibilité à l'érosion des terres communales dans le Bas-Rhin (DREAL ALSACE, 2014)	14
Illustration 6 :	Nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle par an sur les 14 communes de l'étude ...	15
Illustration 7 :	Répartition des catastrophes naturelles au cours de l'année	15
Illustration 8 :	Représentation schématique des données d'entrée du modèle (Thuon, Vauchassade, Morvan, Landemaine, & Desprats, 2017)	17
Illustration 9 :	Représentation schématique de la méthodologie utilisée (GERIHCO (modif BRGM), 2018)	18
Illustration 10 :	Exemple de retraitement des chemins d'eau sur la commune d'Eckwersheim	20
Illustration 11 :	Carte de typologie des sols, simplifiée à l'échelle de la zone d'étude.....	21
Illustration 12 :	Informations apportées par les différentes bases de données.....	22
Illustration 13 :	Cartographie des unités pédo-culturelles à l'échelle de la zone d'étude	25
Illustration 14 :	Étapes de caractérisation de l'état de surface des sols	26
Illustration 15 :	Caractérisation des états de surface	27
Illustration 16 :	Comparaison du recouvrement sur 2 cultures différentes (maïs à gauche, blé d'hiver à droite) début juin 2018, Hangenbieten	27
Illustration 17 :	Photographie d'une croute de battance dans un champ de maïs en mai 2018 sur la commune de Mittelhausbergen.....	28
Illustration 18 :	Calendrier culturel des états de surfaces des unités pédo-culturelles	29
Illustration 19 :	Spatialisation des propriétés physiques des unités pédoculturelles	32
Illustration 20 :	Listing des couches en entrée et en sortie de modélisation.....	34
Illustration 21 :	Qualification de l'aléa coulées d'eaux boueuses sur la commune d'Eckwersheim pour un événement pluvieux de période de retour décennale	36
Illustration 22 :	Qualification de l'aléa coulées d'eaux boueuses sur la commune d'Eckwersheim pour un événement pluvieux de période de retour trentennale	37
Illustration 23 :	Qualification de l'aléa coulées d'eaux boueuses sur la commune d'Eckwersheim pour un événement pluvieux de période de retour cinquennale	38
Illustration 24 :	Carte de localisation des bassins versants identifiés en priorité 1	44

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Correspondance entre les données RPG et le code WaterSed	23
Tableau 2 :	Correspondance entre la BD Végétation (BD Topo) et le code WaterSed	23
Tableau 3 :	Correspondance entre les codes de la BD Topo et du modèle WaterSed.....	24
Tableau 4 :	Correspondance entre les codes THEIA et du modèle Watersed.....	24
Tableau 5 :	Capacité d'infiltration en fonction de l'état de surface des sols	30
Tableau 6 :	Définition de concentration en matière en suspension (MES) en fonction de l'état de surface des sols et de l'intensité maximale de la pluie	30
Tableau 7 :	Tableau de croisement définissant, pour chaque unité pédo-culturelle, l'ensemble des propriétés hydriques nécessaires à la modélisation, une valeur chiffrée	31
Tableau 8 :	Synthèse des hauteurs d'eau pour un évènement pluvieux obtenues auprès de Météo France	33
Tableau 9 :	Paramétrisation des évènements pluvieux utilisés lors de la modélisation	33
Tableau 10 :	Tableau récapitulatif de seuils d'aléa.....	35
Tableau 11 :	Tableau récapitulatif des enjeux inventoriés et de leur niveau de vulnérabilité	41
Tableau 12 :	Matrice de qualification du niveau de risque.....	42
Tableau 13 :	Tableau de synthèse de priorisation des bassins versants par commune.....	43
Tableau 14 :	Réduction théorique (%) des masses de terre transitant sur les enjeux pour une pluie cinquantennale si implantation de l'ensemble des ouvrages de protection proposés	46
Tableau 15 :	Éléments utilisés dans le cadre de l'estimation des coûts.....	47
Tableau 16 :	Estimation des coûts par niveau de priorisation des bassins versants	47
Tableau 17 :	Estimation des coûts par communes.....	48

Liste des annexes

Annexe 1 :	Inventaire des arrêtés de reconnaissance catastrophe naturelle sur la zone d'étude.....	53
Annexe 2 :	Inventaire non exhaustif des moyens de lutte contre l'érosion et le ruissellement Avantages, inconvénients, coûts	57
Annexe 3 :	Rapport Météo France concernant les intensités pluvieuses à proximité de la zone d'étude	63
Annexe 4 :	Cartographie de l'aléa coulées d'eaux boueuses sur les 14 communes de la zone d'étude	71
Annexe 5 :	Présentation de la stratégie de gestion de l'aléa coulées d'eaux boueuses et quantification des résultats	115

1. Contexte et objectifs

1.1. CONTEXTE

L'analyse de la base de données Catastrophes Naturelles montre que le département du Bas-Rhin est régulièrement impacté par l'aléa « coulées d'eaux boueuses ». Depuis 1983 (date à laquelle l'inventaire débute), 112 des 527 communes du Bas-Rhin ont subi des coulées d'eaux boueuses. La fréquence de ces événements est quasi-annuelle ; 8 années sur 10 sont concernées.

L'aléa « coulées d'eaux boueuses » désigne les écoulements chargés de terres en suspension qui ont été détachées par les pluies ou le ruissellement. Le cumul de ces écoulements progresse vers l'aval et provoque des inondations et des dépôts de sédiments (Heitz, 2009).

Des études de caractérisation de l'aléa ont déjà été menées sur le territoire alsacien par l'ARAA² (DREAL Alsace, 2014). Cette étude a mis en avant que 14 % des communes bas-rhinoises présentent un risque élevé par rapport à l'aléa « coulées d'eaux boueuses » et que 30 % de la surface agricole utile (SAU) présente une sensibilité à l'érosion significative (chiffre 2014) (Van Dijk, *et al.*, 2016).

Parmi les facteurs qui favorisent l'occurrence de ces phénomènes, la lithologie et la morphologie des versants représentent une variable importante. De fait, les communes situées sur la périphérie ouest de l'Eurométropole de Strasbourg présentent un contexte lithologique et géomorphologique qui les rend particulièrement susceptibles à l'occurrence de coulées d'eaux boueuses.

Ainsi, dans un passé récent, plusieurs coulées d'eaux boueuses ont généré des dégâts, en 2016, 2017 et 2018. Le BRGM est intervenu à plusieurs reprises suite à ces événements climatiques extrêmes dans le cadre d'expertises mouvements de terrains (Grabenstaetter, 2017) ou de demandes de reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles (Baierer & Troadec, 2016).

Les années 1983, 1987, 1996 et 2008 ont également été particulièrement marquées en terme d'occurrence de coulées d'eaux boueuses sur le territoire de l'Eurométropole de Strasbourg. L'inventaire de ces événements est présenté en Annexe 1.

L'Eurométropole de Strasbourg s'est saisie de la problématique des coulées d'eaux boueuses et, en collaboration avec le BRGM, a lancé un programme de qualification de l'aléa sur l'ensemble des communes concernées. Ce programme comprendra également, une étude des enjeux affectés et la proposition d'une stratégie de gestion visant à diminuer l'impact, sur les populations, des coulées d'eaux boueuses.

1.1.1. Phénomènes considérés

Le ruissellement désigne le phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols. Les inondations par ruissellement se produisent lors de pluies exceptionnelles quand la capacité d'infiltration ou d'évacuation des sols ou des réseaux de drainage est insuffisante.

² ARAA : Association pour la Relance Agronomique en Alsace.

L'érosion des sols résulte du ruissellement et englobe de nombreux processus. Plusieurs types d'érosion peuvent être distingués comme l'érosion chimique (par dissolution) ou l'érosion particulaire (par des processus mécaniques). La présente étude s'intéresse à cette dernière.

L'érosion particulaire est caractérisée par 3 étapes différentes : le détachement des particules, leur transport et leur dépôt. À l'échelle de la parcelle (~1 m²), l'érosion par splash, c'est-à-dire le détachement de particules par l'impact des gouttes de pluie, est le processus dominant. De l'échelle du versant (>10 m²) au bassin versant, d'autres processus interviennent, tels que l'érosion en nappe et rigole, et l'érosion concentrée. Néanmoins, quelle que soit l'échelle considérée, l'érosion est un phénomène de seuil qui apparaît lorsque les conditions de détachement et de transport sont remplies.

L'érosion en nappe, également appelée érosion diffuse, est à peine visible dans le paysage. Néanmoins, elle induit un décapage progressif de la couche arable et sa contribution au budget sédimentaire ne peut pas être négligée. Cette forme d'érosion se produit sur des pentes douces quand l'intensité des précipitations est faible à modérée. Les rigoles apparaissent lorsque l'écoulement se concentre dans des éléments linéaires en raison de pentes élevées ou de l'existence d'éléments linéaires dans le paysage tels que les dérayures ou les traces de roues.

Contrairement à l'érosion diffuse, les ravines (érosion/ruissellement concentrée) sont facilement identifiables dans le paysage. Elles résultent de la concentration des flux d'eau qui provoquent une incision dans les sols (Morgan, 2005).

1.1.2. Contexte géographique et géomorphologique

La zone d'étude s'étend sur 14 communes situées à l'ouest de l'Eurométropole de Strasbourg (Illustration 2). Le périmètre d'étude a été défini selon des critères géomorphologiques. Les communes impactées par les coulées d'eaux boueuses présentent des profils topographiques semblables. Elles sont situées à flanc de versant, les zones urbanisées étant implantées en pied de versant et surplombées par des parcelles agricoles (Illustration 1).

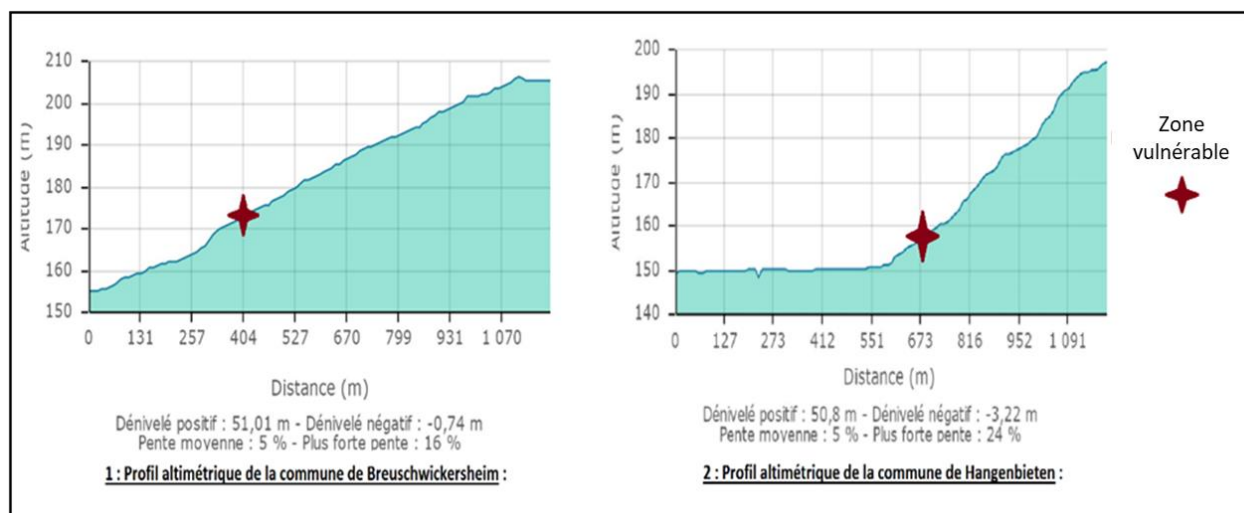


Illustration 1 : Exemple de profil altimétrique des communes de l'ouest de l'Eurométropole de Strasbourg.

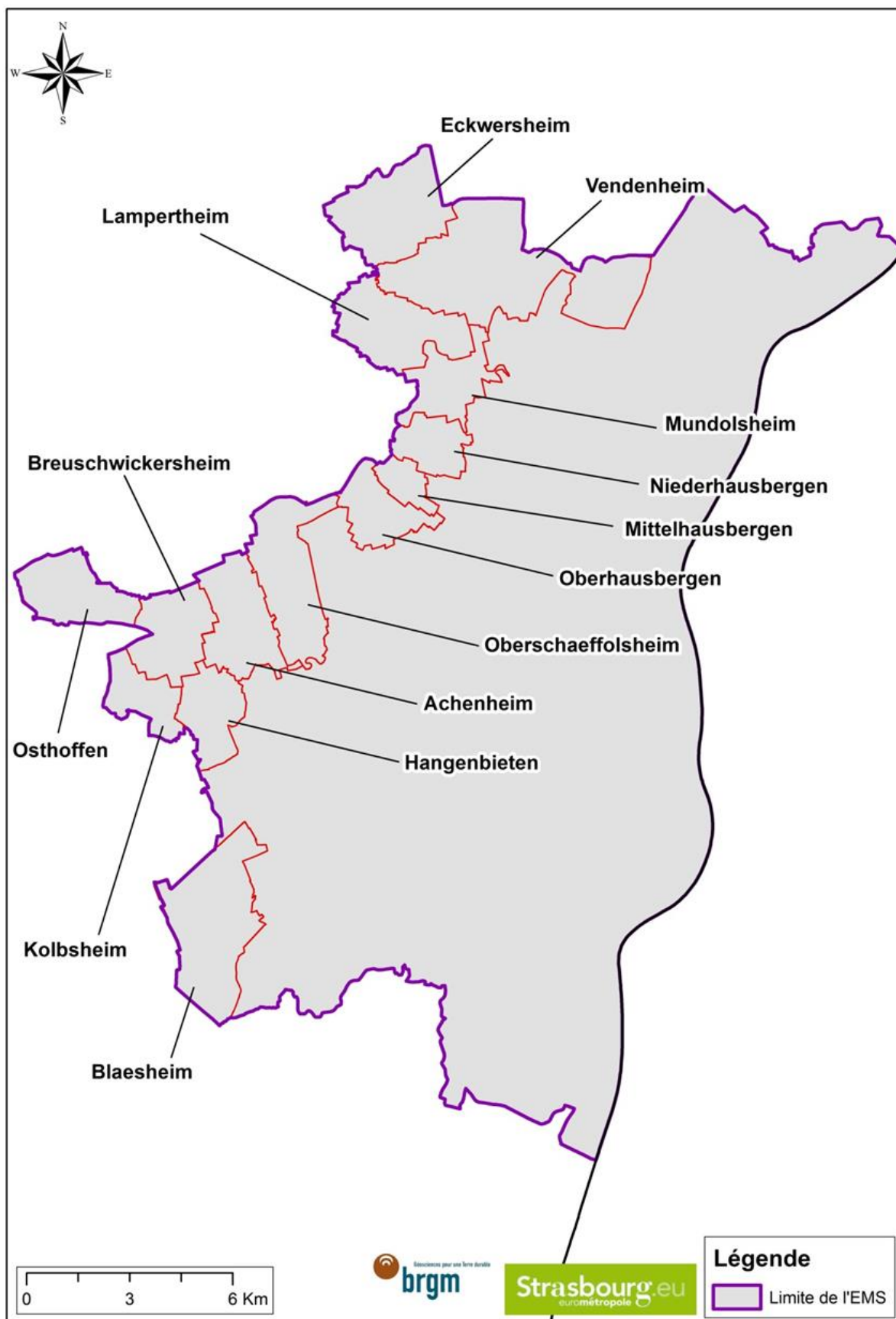


Illustration 2 : Localisation des communes ciblées par l'étude.

1.1.3. Contexte lithologique et hydrogéologique

La zone d'étude est majoritairement concernée par 3 lithologies principales (Illustration 3) :

- les alluvions des différentes rivières vosgiennes et de la plaine alluviales (Ill et Rhin) ;
- les colluvions de pente présents localement dans les parties aval des thalwegs ;
- les loëss qui forment la majorité des reliefs sur la zone d'étude.

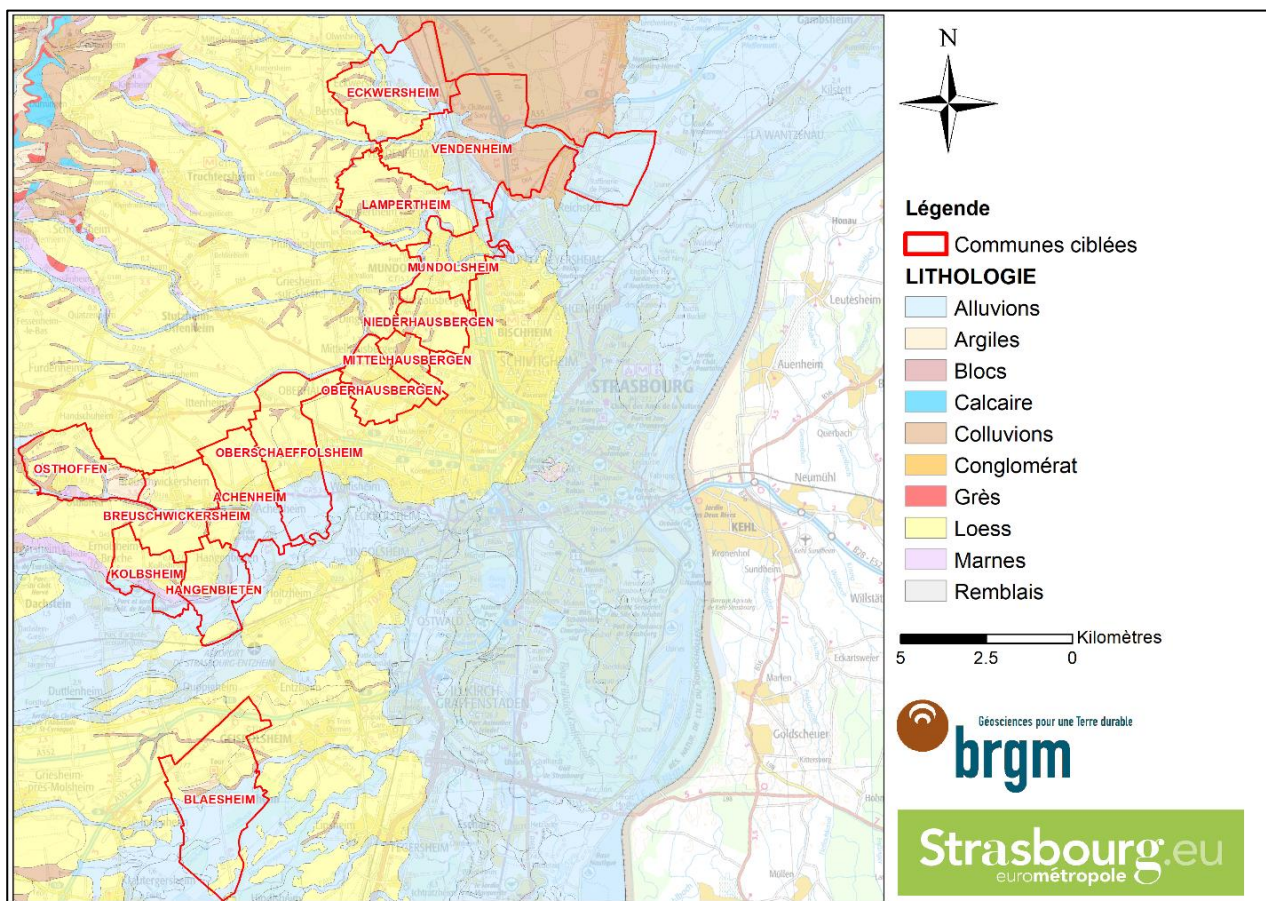


Illustration 3 : Carte lithologique de la zone d'étude issue de la carte géologique harmonisée du BRGM au 1/50 000.

La composition des alluvions diffère selon que ces derniers soient d'origine vosgienne ou rhénane. Cette formation lithologique étant située en fond de vallon, elle n'est pas concernée par la problématique liée aux coulées d'eaux boueuses.

Les colluvions de pente, situés en partie aval des thalwegs font partie des formations susceptibles d'être mobilisées en cas de forte précipitations et de se déplacer sous forme d'eau boueuse. La nature des colluvions est dépendante de la lithologie de la formation mère. Dans le secteur de l'étude, les formations mères correspondent aux formations loëssiques.

Les loëss forment l'assise de l'ensemble des zones de reliefs au droit du secteur d'étude. Il s'agit de limons sablo-argileux très fins, fortement mobilisables en présence d'eau. L'épaisseur de cette formation est, de manière générale sur la zone d'étude supérieure à 10 m.

D'un point de vue hydrogéologique, le secteur d'étude peut être divisé en 2 grands ensembles. :

- le secteur aval, correspondant aux vallées de la Bruche (concernant les communes d'Hangenbieten, Kolbsheim, Achenheim et Oberschaeffolsheim) et de la Zorn (Eckwersheim, Vendenheim, Lampertheim et Mundolsheim), est caractérisé par la présence de nappes alluviales ;
- le secteur amont (butte de loess) est considéré comme stérile d'un point de vue hydrogéologique. Seules quelques nappes perchées temporaires sont susceptibles de se développer au sein de ces formations géologiques (Blanalt, 1972).

1.1.4. Études antérieures

Une cartographie a été réalisée en 2007 permettant de caractériser le risque d'érosion en Alsace selon l'approche MESALES (Cerdan, *et al.*, 2006) et complétée par un indicateur basé sur la sensibilité à l'érosion à l'intérieur des bassins versants connectés aux zones urbaines. Cette cartographie a été établie par l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) (DREAL Alsace, 2014) (Illustration 4). Cinq classes de sensibilité de sols à l'érosion y sont proposées allant de « très faible » à « très forte ». L'emprise de la présente étude est caractérisée par des sensibilités élevées à l'érosion et par la proximité de zones urbaines.

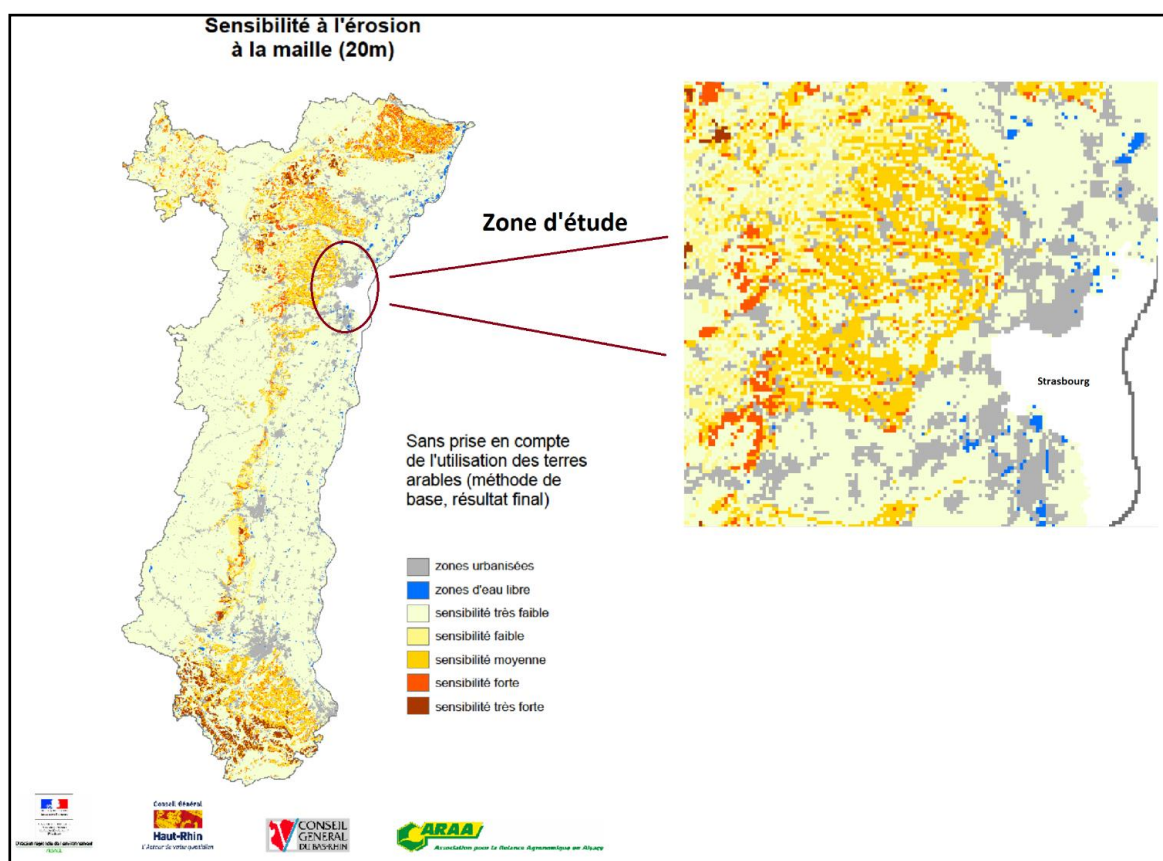


Illustration 4 : Cartographie de la sensibilité à l'érosion en Alsace suivant la méthodologie MESALES (DREAL Alsace, 2014).

Une intégration par commune de cette étude (Illustration 5) a mis en avant que 14 % des communes bas-rhinoises présentent un risque élevé par rapport à l'aléa « coulées d'eaux boueuses » et que 30 % de la surface agricole utile (SAU) présente une sensibilité à l'érosion significative [(Van Dijk & Koller, 2015) & (Van Dijk, *et al.*, 2016)].

Ces cartes mettent en évidence que les principaux secteurs concernés par les coulées d'eaux boueuses dans le Bas-Rhin sont le Kochersberg (zone d'intérêt dans cette étude), les collines de Brumath, et l'Outre-Forêt. La plupart de ces secteurs sont caractérisés par la présence de collines couvertes de sols limoneux et la pratique d'une agriculture intensive.

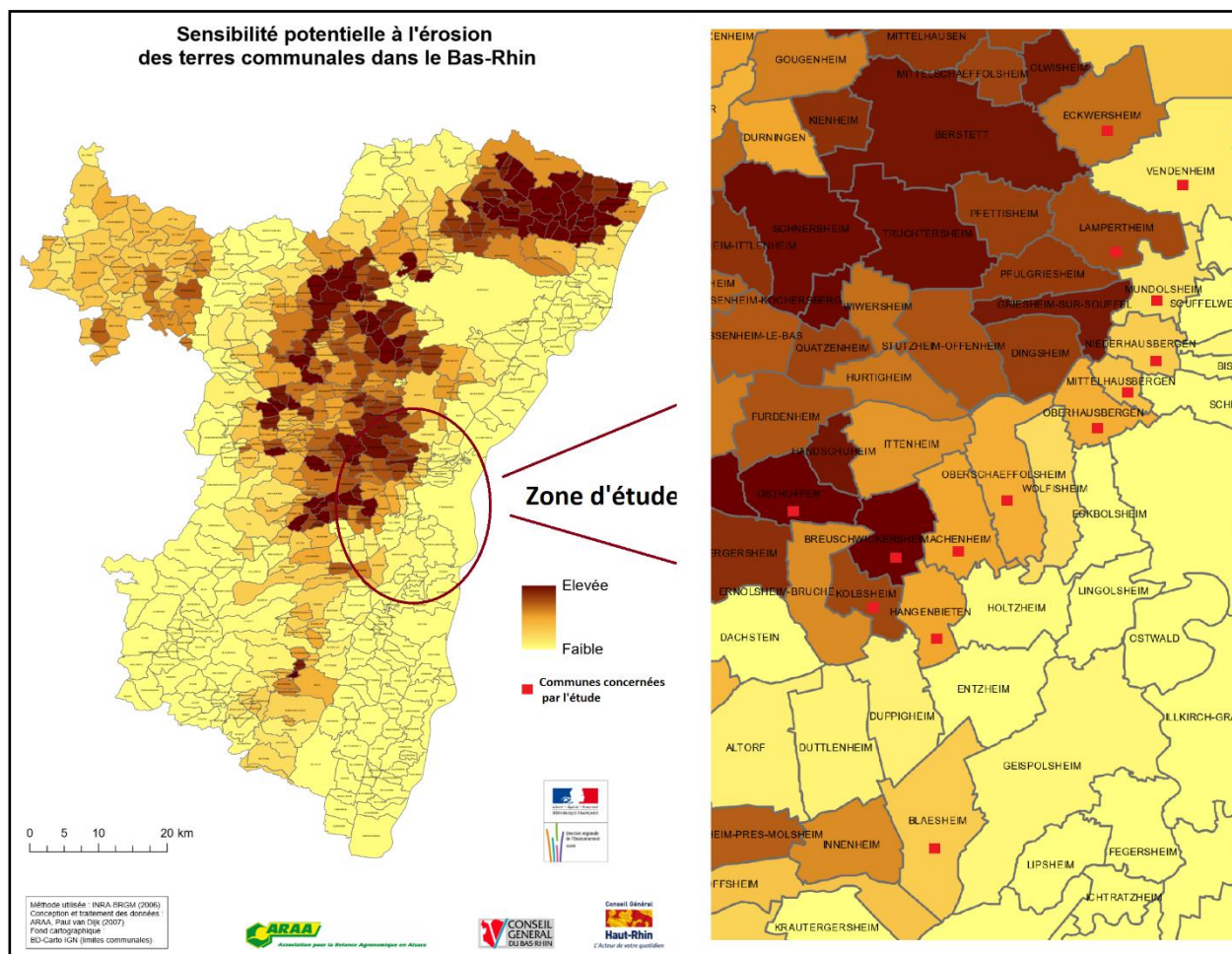


Illustration 5 : Cartographie de la sensibilité à l'érosion des terres communales dans le Bas-Rhin (DREAL Alsace, 2014)

Les 14 communes de la présente étude apparaissent ici comme ayant des sensibilités potentielles à l'érosion allant de moyennes à élevées. Les communes d'Osthoffen, de Breuschwickersheim, de Kolbsheim, de Lampertheim et d'Eckwersheim apparaissent comme les communes présentant les plus fortes sensibilités.

Une analyse de la base de données Gaspar³, réalisée avec les données de 1985 à 2014, permet de décrire l'ampleur de la problématique en Alsace (Van Dijk & Koller, 2015). Cette analyse montre qu'une commune du Bas-Rhin sur cinq (soit 115 communes) a subi des coulées d'eaux boueuses entre 1985 et 2014. Ce chiffre reste une estimation liée aux arrêtés ministériels de catastrophes naturelles associés aux « inondations et coulées de boue ». Il n'existe pas d'inventaire des coulées d'eaux boueuses en tant que tel. Cependant cela permet de mettre en évidence à l'échelle du département, une occurrence des phénomènes de coulées d'eaux boueuses huit années sur dix.

³ Base nationale de Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques (<http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/telechargement/gaspar>)

Sur l'analyse de ces mêmes données sur les 14 communes concernées par cette étude, il apparaît que l'occurrence des coulées d'eaux boueuses est quasi annuelle (Illustration 6). À cela, il faut rajouter que seuls les événements les plus importants font l'objet de reconnaissance catastrophe naturelle. Les événements ponctuels et/ou de faible importance n'apparaissent pas dans cet inventaire, le phénomène pourrait donc être bien plus récurrent. Les reconnaissances de l'année 1999 sont liées aux tempêtes de décembre.

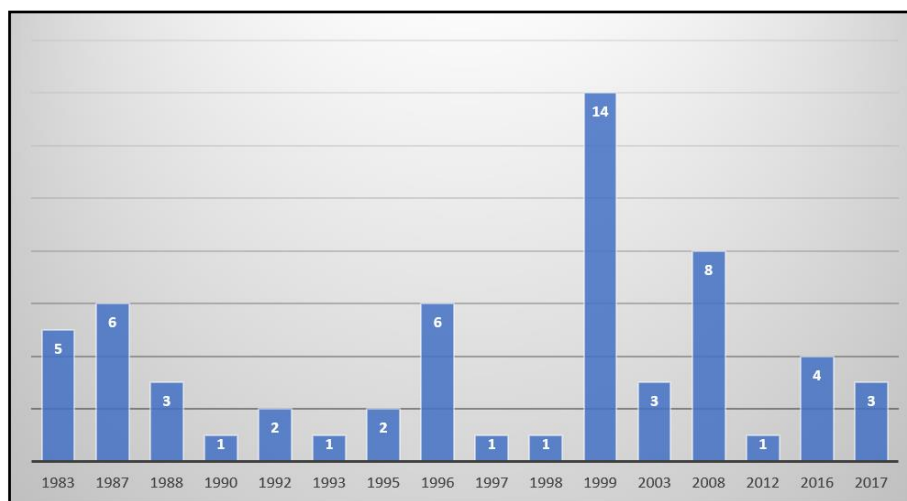


Illustration 6 : Nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle par an sur les 14 communes de l'étude.

L'illustration 7 met en évidence que sur les 14 communes concernées par cette étude, la quasi-totalité des catastrophes naturelles surviennent au printemps, principalement entre mai et juillet. Sur cet inventaire, les catastrophes du mois de décembre sont toutes survenues pendant la tempête du 26 décembre 1999.

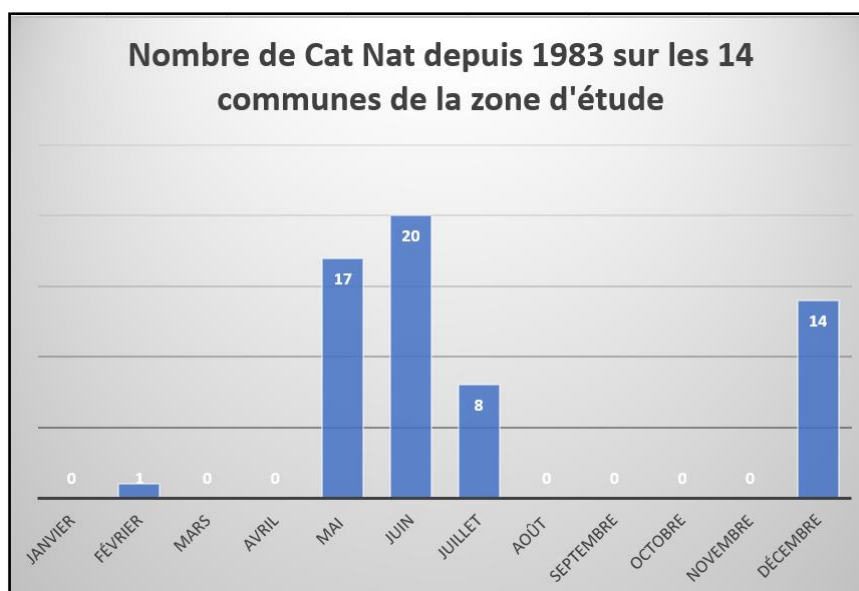


Illustration 7 : Répartition des catastrophes naturelles au cours de l'année.

1.2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif de cette étude est de caractériser les zones de départ et d'arrivée des coulées d'eaux boueuses et de proposer à l'Eurométropole de Strasbourg des programmes d'action pour diminuer les impacts de ces phénomènes (propositions de localisation d'aménagements à implanter sur les bassins versants impactés : bandes enherbées, fascines vivantes ou mortes, haies de miscanthus). Ce programme permettra de donner des éléments chiffrés sur lesquels l'EMS pourra se baser pour déterminer les coûts d'une prise de compétence élargie « coulées d'eaux boueuses » à l'échelle de tout le territoire dans le cas où ces aménagements devraient être réalisés.

Les différentes étapes permettant d'arriver aux résultats attendus sont les suivantes :

- pour la caractérisation des zones de départ et d'arrivée, une étude comprenant notamment un inventaire de terrain des chemins d'eau est réalisée. La nature des sols et leur occupation seront également décrites ;
- les zones à protéger seront identifiées sur la base d'un croisement entre un inventaire des enjeux, réalisé par le BRGM et validé par le service Environnement de l'EMS et les zones de cheminements des eaux. Une hiérarchisation des zones à protéger est réalisée sur la base de la qualification de l'aléa ;
- enfin, différents scénarii, prenant en compte les ouvrages déjà existants et proposant des outils complémentaires de lutte contre l'érosion sont proposés. Leur impact sur l'aléa est également modélisé pour quantifier leur efficacité. Les coûts d'installation, d'indemnisation et d'entretien seront estimés.

2. Modélisation de l'aléa coulées d'eaux boueuses

2.1. PRÉSENTATION DU MODÈLE WATERSED

La modélisation proposée pour la cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion s'appuie sur le modèle de type expert WATERSED (Landemaine, 2016), développé à partir du modèle STREAM [(Sealing and Transfer by Runoff and Erosion in relation with Agricultural Management) (Cerdan, Souchère, Lecomte, Couturier, & Le Bissonnais, 2002)].

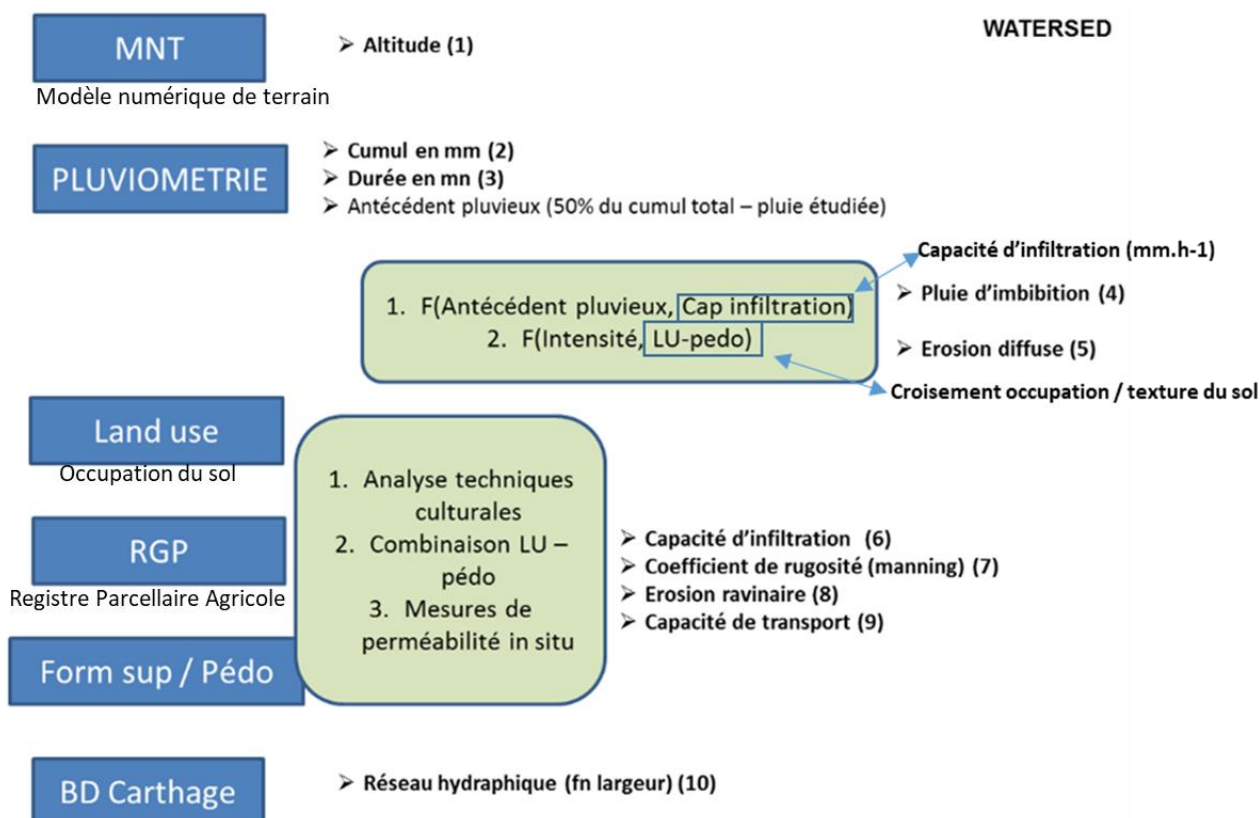


Illustration 8 : Représentation schématique des données d'entrée du modèle (Thuon, Vauchaussade, Morvan, Landemaine, & Desprats, 2017).

Les paramètres pris en considération lors de la cartographie de l'aléa coulées d'eaux boueuses sont :

- l'occupation des sols, différenciée selon la protection apportée par la couverture végétale (cadre vert - Illustration 9) ;

Les données d'occupation des sols proviennent de différentes bases de données [Corine Land Cover (1/100 000), THEIA (maille de 100 m), RPG (échelle cadastrale), BDTopo (1/25 000)]. Les données les plus précises sont utilisées en priorité et complétées par des données moins précises lorsqu'elles ne sont pas disponibles.

- la nature des sols, définis par les capacités de ruissellement, d'infiltration ainsi que par leur niveau d'érodibilité (cadre vert – Illustration 9) ;

La carte des sols, réalisée par l'ARAA, au 1/250 000, a été utilisée afin de qualifier les différents sols de la zone d'étude (DREAL Alsace, 2014).

- le modèle numérique de terrain (résolution de 5 m, obtenu à partir du MNT 0,5 m issu du Lidar de l'EMS), qui permet d'identifier les chemins d'eau (flux). Ces chemins d'eau sont

validés et/ou modifiés en fonction du retour d'expérience des évènements passés et d'observations complémentaires de terrain (cadre rouge – Illustration 9) ;

- la pluviométrie, les données climatiques ont été acquises auprès de Météo France sur 3 stations (Entzheim aéroport, Jardin Botanique Strasbourg et Strasbourg La Wantzenau).

L'analyse combinée de la susceptibilité des sols à l'érosion et de la pluviométrie (cumuls et intensité - cadre bleu – Illustration 9) permet de définir en chaque point de la zone d'étude l'aléa coulées d'eaux boueuses. La cartographie prévue dans le cadre de cette étude vise à cibler les zones les plus susceptibles à l'érosion ainsi que les cheminements des coulées d'eaux boueuses.

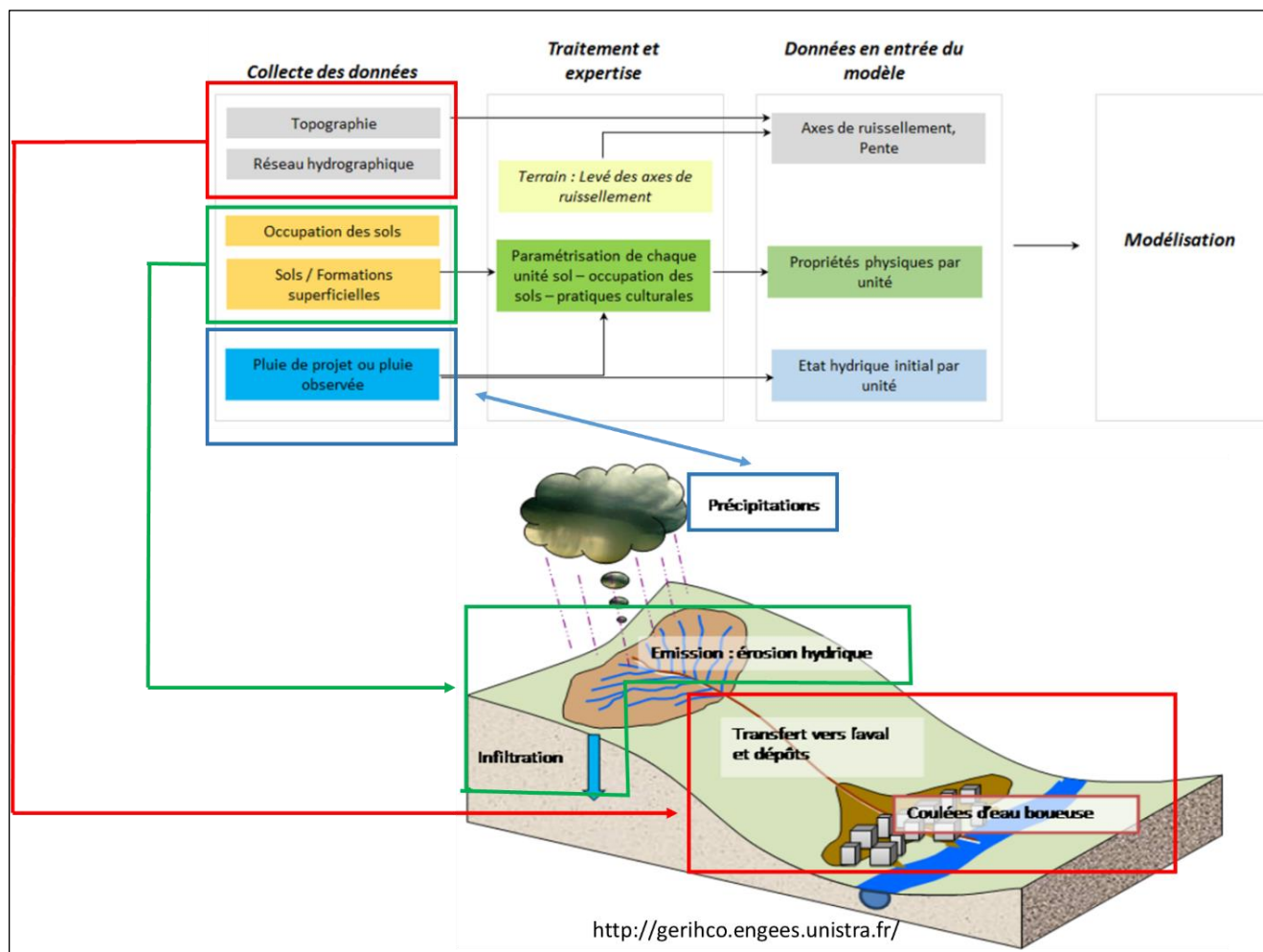


Illustration 9 : Représentation schématique de la méthodologie utilisée (GERIHCO (modif BRGM), 2018).

2.2. DÉTERMINATION DES CHEMINS D'EAUX

Dans un premier temps, les chemins de l'eau sont évalués à partir du modèle numérique de terrain (MNT) par une accumulation de flux. Il s'agit du cumul de toutes les cellules s'écoulant dans chaque cellule du raster en pente descendante. Ainsi, le raster d'accumulation de flux correspond au nombre de cellules contributives.

Les cheminements ainsi calculés suivent la topographie naturelle de la zone d'étude. Ceux-ci croisent les aménagements anthropiques qui peuvent soit les concentrer soit les dévier. Ces aménagements, ne sont pas détectables sur un MNT de 5 m de résolution car ils ont des dimensions inférieures à 5 m. Un inventaire de terrain de tous les éléments (ouvrages, routes, chemins) pouvant interférer avec les écoulements a donc été réalisé. Le type d'aménagement, la largeur et l'état de dégradation des ouvrages ont été qualifiés. Ces observations ont été réalisées d'après des visites de terrain effectuées sur les 14 communes de la zone d'étude.

En parallèle un inventaire des zones d'arrivées des coulées d'eaux boueuses a été réalisé grâce aux observations de terrain et aux témoignages recueillis, principalement auprès des équipes municipales.

À partir des observations de terrain, les chemins de l'eau ont été digitalisés et le MNT modifié afin de rendre compte de la réalité du terrain (Illustration 10).

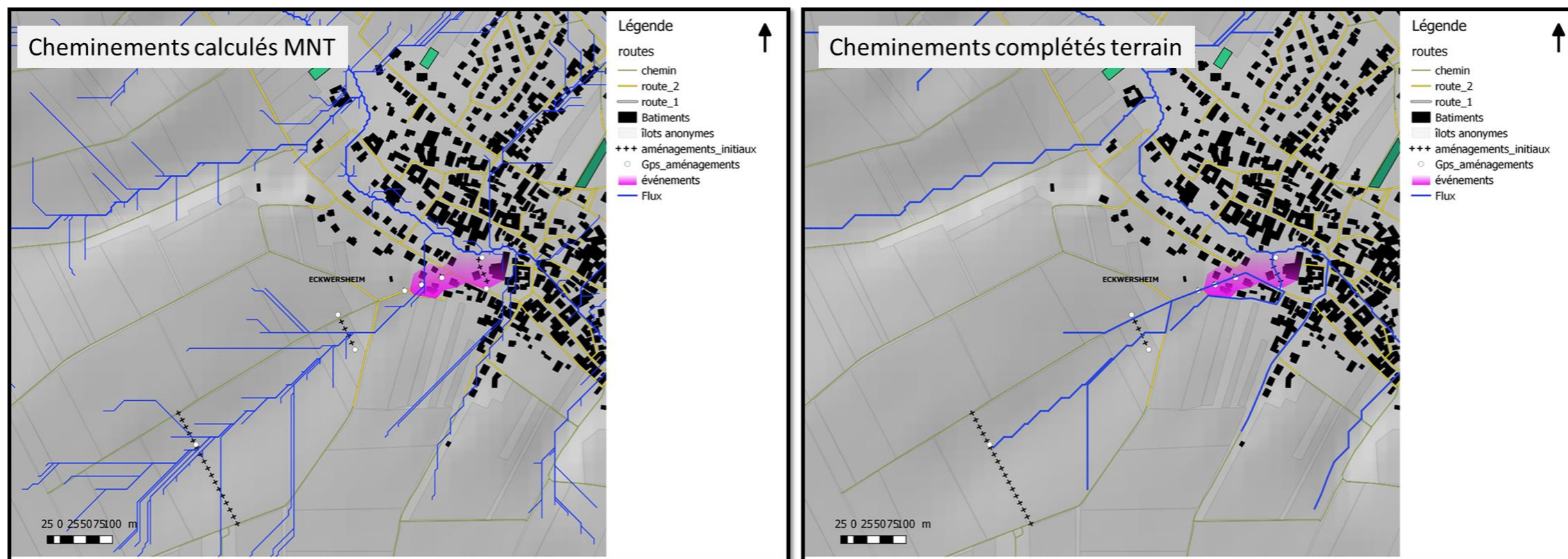
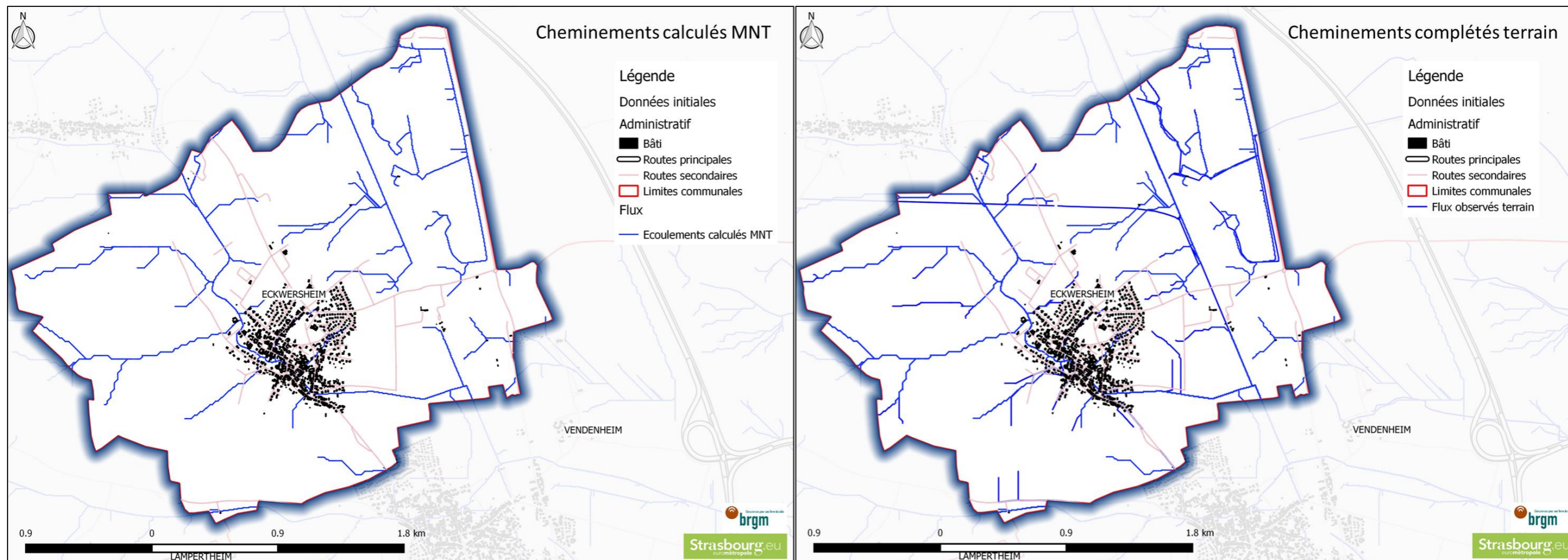


Illustration 10 : Exemple de retraitement des chemins d'eau sur la commune d'Eckwersheim.

2.3. CARTOGRAPHIE DES UNITÉS PÉDO-CULTURALES

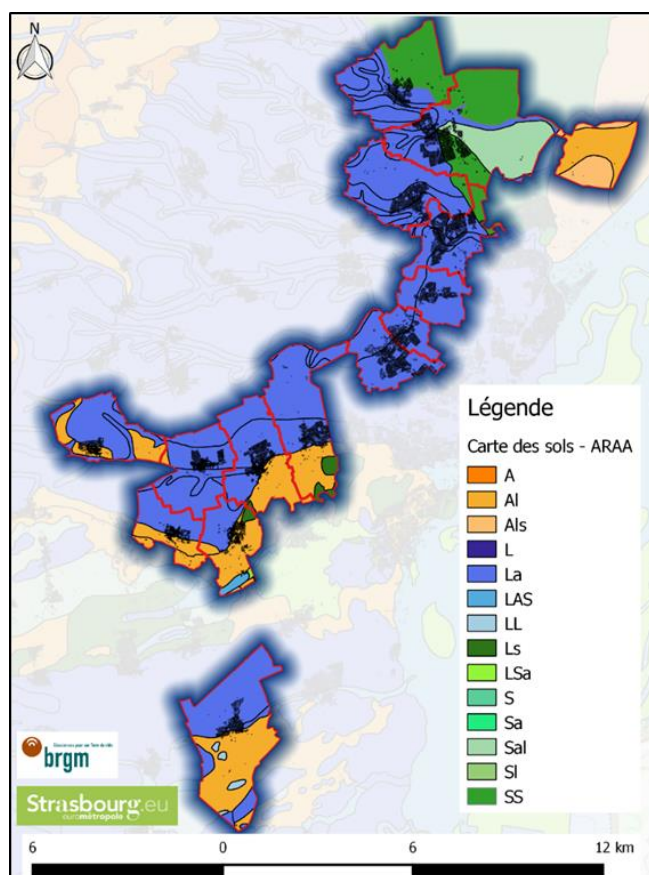
De manière à quantifier les caractéristiques hydriques et la sensibilité des sols face au ruissellement, une détermination précise de la nature et de l'occupation des sols est nécessaire. Le couple d'information qualifiant la pédologie (nature des sols) et l'occupation du sol est appelé « unité pédo-culturelle ».

2.3.1. Carte des sols

La nature des sols impacte directement les capacités de ruissellement/infiltration des sols ainsi que leur Érodibilité. Afin de qualifier la nature des sols, la cartographie des sols (résolution 1/100 000) réalisée par l'ARAA (DREAL Alsace, 2014) a été réinterprétée.

Treize typologies de sols ont été décrites, sur le secteur d'étude, par l'ARAA. Dans le cadre des modélisations de cette étude, ne pouvant pas déterminer les propriétés hydrodynamiques des 13 typologies, elles ont été regroupées au sein de 3 ensembles sur la base des fractions majoritaires (argiles, sables ou limons).

La zone d'étude présente des sols largement dominés par la texture limoneuse qui est aussi une des typologies les plus sensibles à l'érosion hydrique (Illustration 11).



Texture des sols ARAA	Texture des sols WaterSed
als	Texture argileuse
al	
a	
ll	Texture limoneuse
las	
la	
l	
ss	Texture sableuse
sl	
sal	
s	
lsa	
ls	

Illustration 11 : Carte de typologie des sols, simplifiée à l'échelle de la zone d'étude.

2.3.2. Occupation des sols

Pour acquérir des informations sur l'occupation du sol, plusieurs bases de données ont été recoupées et superposées. Les données agricoles issues du Registre Parcellaire Agricole (RPG) et les données de la BD TOPO ont une précision de l'ordre du mètre mais ne recouvrent pas l'intégralité des surfaces. En revanche, l'occupation du sol selon THEIA, recouvre l'intégralité de la zone mais à une précision moindre (Illustration 12).

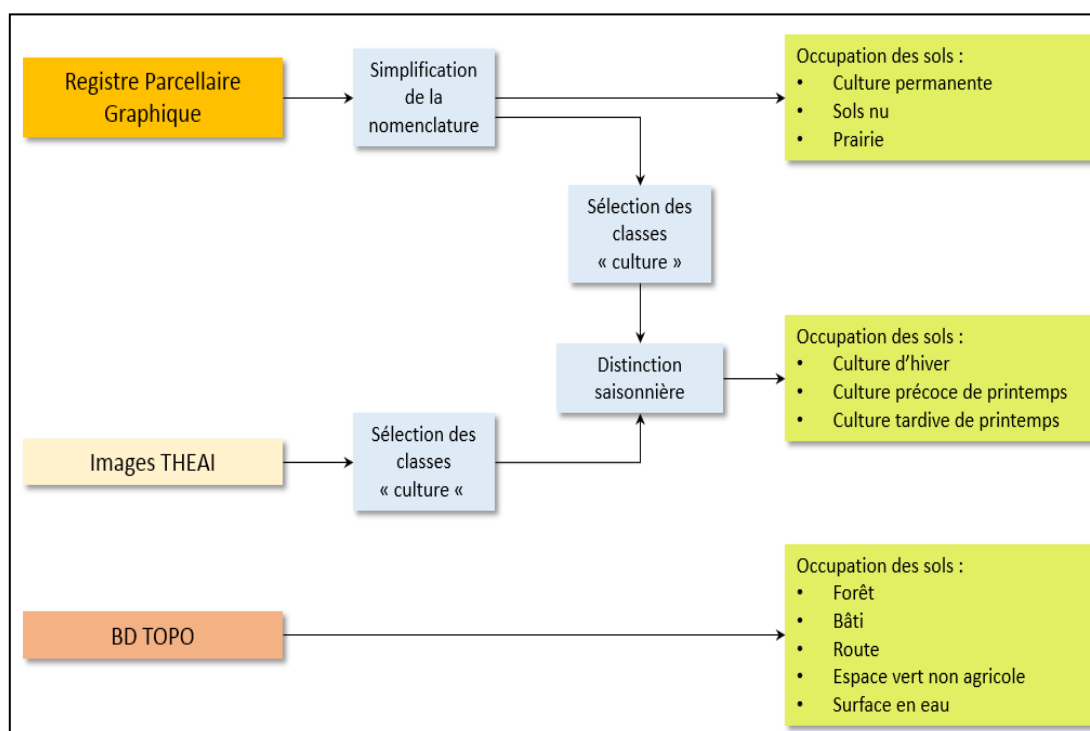


Illustration 12 : Informations apportées par les différentes bases de données.

Avant de rassembler ces différentes données de manière cartographique pour les intégrer à la modélisation, leurs lexiques ont été adaptés à la nomenclature utilisée par le modèle WATERSED.

La principale source de données utilisée afin de caractériser l'occupation des sols est le Registre Parcellaire Agricole (RPG). Néanmoins, seules les parcelles agricoles bénéficiant d'aides de la PAC (Politique Agricole Commune) y sont référencées. L'occupation des sols sur les autres parcelles a été déterminée à partir de données THEIA et de la BD Topo.

Les données issues du RPG ont été privilégiées, bien que ne couvrant pas l'ensemble de la zone d'étude, car elles différencient les cultures d'hiver et d'été. Cette séparation est essentielle car elle permet de définir, pour chaque type de culture, l'état du sol en fonction de la période de l'année considérée.

Les données RPG ne sont représentatives que d'une année culturale. En effet, les cycles agricoles entraînent des modifications de culture d'une année à l'autre. Les données RPG des années 2014, 2015, 2016 et 2017 ont été étudiées et, a été conservée, sur chaque parcelle, la culture présentant les caractéristiques les plus favorables au ruissellement (culture de printemps).

Le Tableau 1 présente la reclassification des données RPG selon le code utilisé par le modèle WATERSED.

Culture RPG	Signification	Code WATERSED	Occupation des sols WATERSED
Blé tendre	1	1	Culture d'hiver
Mais grain et ensilage	2	3	Culture tardive de printemps
Orge	3	1	Culture d'hiver
Autre céréales	4	3	Culture tardive de printemps
Colza	5	1	Culture d'hiver
Autre oléagineux	7	3	Culture tardive de printemps
Protéagineux	8	3	Culture tardive de printemps
Semences	10	3	Culture tardive de printemps
Jachères	11	4	Prairies
Autre Gels	13	4	Prairies
Fourrage	16	4	Prairies
Prairies permanente	18	4	Prairies
Prairie temporaire	19	4	Prairies
Verger	20	5	Culture permanente
Vignes	21	5	Culture permanente
Fruits à coque	22	5	Culture permanente
Autre culture industrielle	24	3	Culture tardive de printemps
Légumes fleurs	25	3	Culture précoce de printemps
Arboriculture	27	5	Culture permanente
Divers	28	3	Culture tardive de printemps

Tableau 1 : Correspondance entre les données RPG et le code WaterSed.

La BD topo comprend les données de la BD végétation (Tableau 2) et des données sur les voies de communication (Tableau 3).

BD Végétation	Code	Occupation des sols WATERSED	Code WATERSED
Bois	1	Forêt	8
Forêt de conifères	2	Forêt	8
Forêt de feuillus	3	Forêt	8
Forêt mixte	4	Forêt	8
Forêt ouverte	5	Forêt	8
Haie	6	Forêt	8
Lande ligneuse	7	Forêt	8
Peupleraie	8	Forêt	8
Verger	9	Culture permanente	5
Vigne	10	Culture permanente	5

Tableau 2 : Correspondance entre la BD Végétation (BD Topo) et le code WaterSed.

La BD Végétation disposant d'une meilleure résolution que la base de données THEIA, ces données sont considérées comme prioritaires.

En complément aux données de la BD Végétation, la BD Topo permet également de localiser l'ensemble des voies de communication. Les données étant d'une précision métrique et impactant directement la nature des écoulements, ces données sont traitées de manière prioritaires (Tableau 3).

bd route	code	Code WaterSed	signification
route	none	10	road

Tableau 3 : Correspondance entre les codes de la BD Topo et du modèle WaterSed.

Les données THEIA permettent de qualifier l'ensemble des surfaces agricoles sur la base d'une description plus détaillée ; 17 classes d'occupation des sols sont recensées. Ces données sont utilisées pour les parcelles agricoles non définies sur le RPG.

theia	signification	code waterSed	signification
11	culture d'été	3	late spring crops
12	culture d'hiver	1	winter crops
31	foret feuillus	8	forest
32	foret conifère	8	forest
34	pelouse	4	grasslands
36	landes ligneuses	8	forest
42	urbain diffus	6	urban areas
43	zone industrielle et communes	6	urban areas
45	surface minérales	7	bare soils
51	eau	9	water
211	prairies	4	grasslands
221	verger	5	permanent crops
222	vignes	5	permanent crops

Tableau 4 : Correspondance entre les codes THEIA et du modèle Watersed.

2.3.3. Carte des formations pédo-culturelles

Le croisement de l'occupation et de la nature des sols permet de définir 27 typologies d'unités pédo-culturelles (Illustration 13).

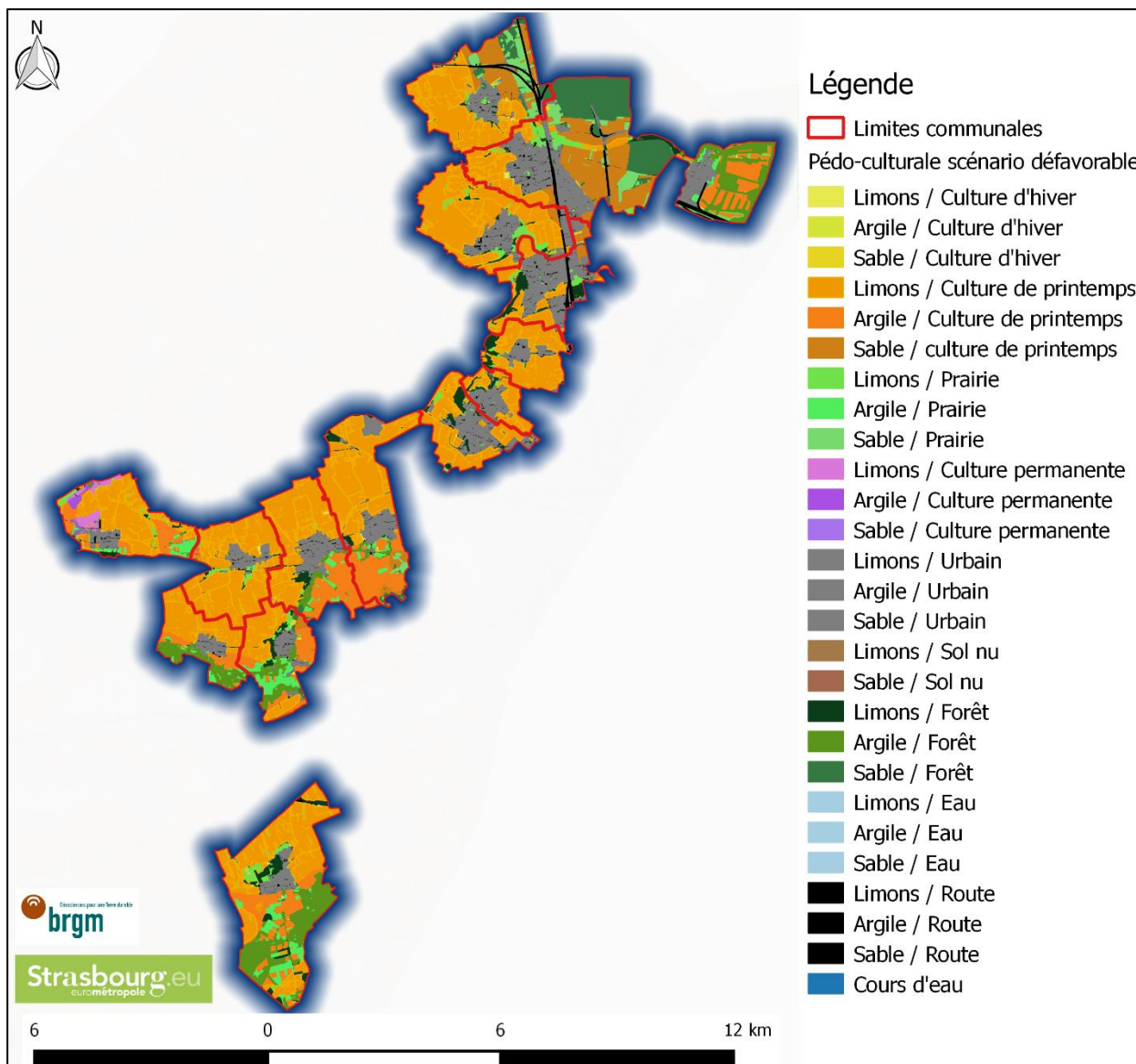


Illustration 13 : Cartographie des unités pédo-culturelles à l'échelle de la zone d'étude.

Pour chacune de ces classes, les états de surface vont devoir être définis afin de pouvoir quantifier l'impact des évènements pluvieux de référence.

2.4. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA COULÉES D'EAUX BOUEUSES

2.4.1. Définition des scénarii cultureux - Caractérisation des états de surface

La catégorisation des surfaces en unités pédo-culturelles a pour objectif de déterminer les propriétés hydriques des différentes parcelles. La zone d'étude étant majoritairement occupée par des parcelles agricoles, le couvert végétal est plus ou moins développé selon les espèces semées et la période de l'année. Ces éléments vont avoir un impact direct sur la qualification de l'aléa et différents paramètres sont à établir en amont de la modélisation.

Pour rappel, la période de l'année où se produit le plus de coulées d'eaux boueuses se situe au printemps, principalement entre mai et juin. Le couvert végétal étant moins développé au mois de mai, les paramètres utilisés lors de la modélisation correspondront aux caractéristiques des états de surface des sols au mois de mai.

Les différentes étapes de la caractérisation des états de surface sont présentées sur l'illustration 14.

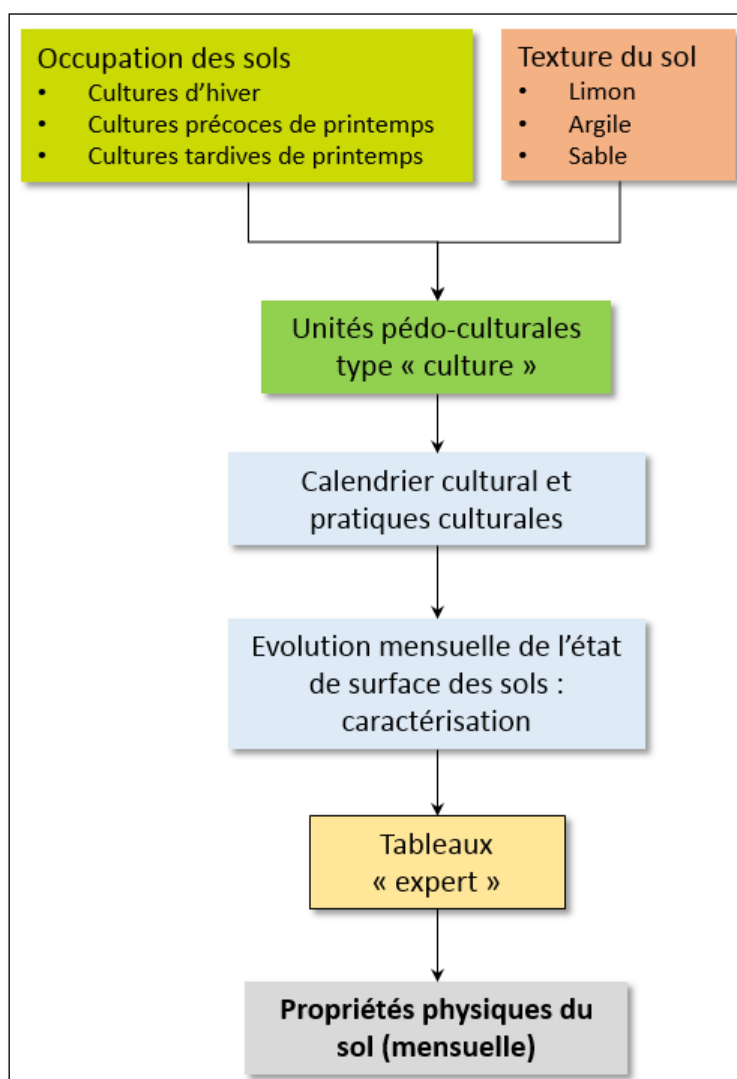


Illustration 14 : Étapes de caractérisation de l'état de surface des sols.

En complément de la nature des sols, les paramètres suivants, tributaires de l'occupation des sols vont être déterminés (Illustration 15) :

- le couvert végétal ;
- le faciès sédimentaire ;
- la rugosité du sol.

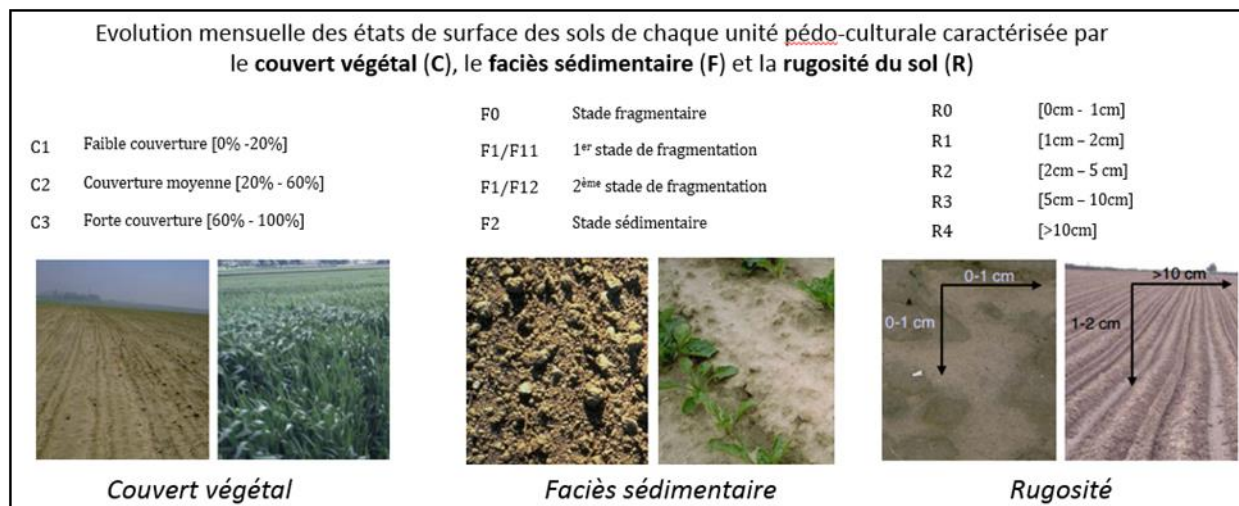


Illustration 15 : Caractérisation des états de surface.

Qualification du couvert végétal

Le couvert végétal est défini par le pourcentage de la surface du sol recouvert par la végétation. De manière générale sur la zone d'étude, le couvert végétal est faible en mai et juin pour les cultures de maïs (Illustration 16 - gauche) alors qu'il est important en juin pour les blés/orge d'hiver (Illustration 16 - droite).

La présence d'un couvert végétal important diminue l'érosivité de la pluie et ralentit le ruissellement. De plus, les appareils racinaires ont un rôle structurant sur les premiers centimètres de sol.



Illustration 16 : Comparaison du recouvrement sur 2 cultures différentes (maïs à gauche, blé d'hiver à droite) début juin 2018, Hangenbieten.

Qualification du faciès sédimentaire

Le faciès sédimentaire définit la cohésion structurale d'un sol à un moment donné. Un sol fragmenté d'aspect grumeleux avec de nombreux agrégats présentera des propriétés hydriques favorisant l'infiltration. En revanche, un sol déstructuré, présentant une croûte de battance aura des propriétés hydriques favorisant le ruissellement (Illustration 17).



Illustration 17 : Photographie d'une croûte de battance dans un champ de maïs en mai 2018 sur la commune de Mittelhausbergen

Qualification de la rugosité des sols

La rugosité du sol se définit comme la variation de la microtopographie du sol. Fortement influencée par le travail du sol, la rugosité est maximum au moment du travail du sol et diminue progressivement sous l'action de la pluie.

Les observations de terrain ainsi que de nombreux échanges avec les experts locaux (Chambre d'agriculture, groupe de travail sur les coulées d'eaux boueuses - Gerihco) ont permis d'ajuster au mieux ces états de surface afin d'élaborer un calendrier cultural cohérent avec les spécificités de la zone d'étude.

À chaque typologie d'occupation des sols est associé un code à 4 paramètres :

- C1 à C3 pour le recouvrement ;
- F0 à F2 pour le faciès sédimentaire ;
- R0 à R4 pour la rugosité ;
- S1 à S3 pour le type de sol.

Ces paramètres permettent d'établir un calendrier cultural des états de surface des différentes unités pédo-paysagères (Illustration 18) qui devra être converti en propriétés physiques.

CALENDRIER CULTURAL							
Land.Code	Land.Type	Text.Code	Soil.Code	April	May	June	July
1	Winter crops	1	11	C3-F2-R0-S1	C3-F2-R0-S1	C3-F2-R0-S1	C3-F2-R0-S1
2	Early spring crops	1	21	C2-F1-R1-S1	C3-F12-R1-S1	C3-F12-R0-S1	C3-F2-R0-S1
3	Late spring crops	1	31	C1-F0-R2-S1	C1-F2-R2-S1	C1-F2-R1-S1	C2-F2-R1-S1
4	Grasslands	1	41	41	41	41	41
5	Permanent crops	1	51	51	51	51	51
6	Urban areas	1	61	61	61	61	61
7	Bare soils	1	71	71	71	71	71
8	Forest	1	81	81	81	81	81
9	Water	1	91	91	91	91	91
10	road	1	101	101	101	101	101
11	lane	1	111	111	111	111	111
1	Winter crops	2	12	C3-F1-R1-S2	C3-F1-R1-S2	C3-F1-R1-S2	C3-F1-R1-S2
2	Early spring crops	2	22	C2-F1-R2-S2	C3-F12-R1-S2	C3-F12-R1-S2	C3-F12-R1-S2
3	Late spring crops	2	32	C1-F0-R2-S2	C1-F2-R2-S2	C1-F2-R1-S2	C2-F12-R1-S2
4	Grasslands	2	42	42	42	42	42
5	Permanent crops	2	52	52	52	52	52
6	Urban areas	2	62	62	62	62	62
7	Bare soils	2	72	72	72	72	72
8	Forest	2	82	82	82	82	82
9	Water	2	92	92	92	92	92
10	road	2	102	102	102	102	102
11	lane	2	112	112	112	112	112
1	Winter crops	3	13	C2-F12-R1-S3	C3-F12-R1-S3	C3-F12-R1-S3	C3-F12-R0-S3
2	Early spring crops	3	23	C2-F1-R1-S3	C3-F12-R1-S3	C3-F12-R1-S3	C3-F12-R1-S3
3	Late spring crops	3	33	C1-F0-R2-S3	C1-F12-R2-S3	C1-F12-R1-S3	C2-F12-R1-S3
4	Grasslands	3	43	43	43	43	43
5	Permanent crops	3	53	53	53	53	53
6	Urban areas	3	63	63	63	63	63
7	Bare soils	3	73	73	73	73	73
8	Forest	3	83	83	83	83	83
9	Water	3	93	93	93	93	93
10	road	3	103	103	103	103	103
11	lane	3	113	113	113	113	113

Illustration 18 : Calendrier cultural des états de surfaces des unités pédo-culturelles.

Conversion des états de surface en propriétés physiques

À partir des informations sur les états de surface, des tableaux experts [(Cerdan, Souchère, Lecomte, Couturier, & Le Bissonnais, 2002) et (Landemaine, *et al.*, 2016)] permettent d'établir des valeurs chiffrées pour chaque propriétés hydriques intervenant dans les processus d'érosion et de ruissellement.

C'est notamment le cas pour la capacité d'infiltration (Tableau 5), le potentiel de concentration de matière en suspension dans les eaux (MES – Tableau 6 et ps – Tableau 7), ou encore le coefficient de Manning, qui définit la rugosité, et l'érodibilité.

Rugosité	Couvert végétal	Faciès sédimentaire				Infiltration (mm)
		F0	F1	F12	F2	
R0	C1	10	10	5	2	
	C2	20	10	5	2	
	C3	50	20	10	5	
R1	C1	20	10	5	2	
	C2	50	20	10	2	
	C3	50	20	10	5	
R2	C1	50	20	10	5	
	C2	50	20	10	5	
	C3	50	50	20	10	
R3	C1	50	20	10	5	
	C2	50	50	20	10	
	C3	50	50	50	10	
R4	C1	50	20	20	10	
	C2	50	50	20	10	
	C3	50	50	50	10	

Tableau 5 : Capacité d'infiltration en fonction de l'état de surface des sols.

Rugosité	Couvert végétal	Intensité maximum à 6min	Faciès sédimentaire				Concentration en MES potentielle dans les eaux de ruissellement (g/l)
			F0	F1	F12	F2	
R0	C1	0 - 10	0.5	3.5	0.5	3.5	
		10 - 40	0.5	7.5	3.5	7.5	
		> 40	3.5	12.5	7.5	12.5	
R0	C2	0 - 10	0.5	0.5	0.5	0.5	
		10 - 40	0.5	3.5	0.5	3.5	
		> 40	3.5	7.5	3.5	7.5	
R1	C1	0 - 10	0.5	3.5	0.5	3.5	
		10 - 40	0.5	7.5	3.5	7.5	
		> 40	3.5	12.5	7.5	12.5	
R1	C2	0 - 10	0.5	0.5	0.5	0.5	
		10 - 40	0.5	3.5	0.5	3.5	
		> 40	3.5	7.5	3.5	7.5	
R2	C1	0 - 10	0.5	0.5	0.5	0.5	
		10 - 40	3.5	12.5	7.5	12.5	
		> 40	7.5	20	12.5	20	
R2	C2	0 - 10	0.5	3.5	0.5	3.5	
		10 - 40	0.5	7.5	3.5	7.5	
		> 40	3.5	12.5	7.5	12.5	
R3	C1	0 - 10	3.5	7.5	7.5	12.5	
		10 - 40	7.5	12.5	12.5	20	
		> 40	12.5	30	20	30	
R3	C2	0 - 10	0.5	7.5	3.5	7.5	
		10 - 40	3.5	12.5	7.5	12.5	
		> 40	7.5	20	12.5	20	
R4	C1	0 - 10	3.5	12.5	7.5	12.5	
		10 - 40	7.5	20	12.5	20	
		> 40	12.5	30	30	30	
R4	C2	0 - 10	3.5	7.5	7.5	12.5	
		10 - 40	7.5	12.5	12.5	20	
		> 40	12.5	30	20	30	

Tableau 6 : Définition de concentration en matière en suspension (MES) en fonction de l'état de surface des sols et de l'intensité maximale de la pluie.

À partir de ces tableaux, il a été associé à chaque unité pédo-culturelle, un ensemble de valeurs chiffrées décrivant ses propriétés hydriques et sa sensibilité au ruissellement (Tableau 7).

code	manning	ps1	ps2	ps3	inf	imbi	ero
11	0.151	3.5	3.5	3.5	5	5	0.047
21	0.155	0.5	0.5	0.5	10	8	0.047
31	0.047	12.5	12.5	12.5	5	5	0.683
41	0.3	0.5	0.5	0.5	50	15	0
40	0.3	0.5	0.5	0.5	50	15	0
51	0.15	3.5	3.5	3.5	50	15	0
61	0.015	0	0	0	1	1	0
71	0.015	12.5	12.5	12.5	2	2	1
81	0.15	0.5	0.5	0.5	60	16	0
80	0.15	0.5	0.5	0.5	60	16	0
91	0.04	0	0	0	0	0	0
101	0.015	0	0	0	0	0	0
100	0.015	0	0	0	0	0	0
111	0.015	0	0	0	0	0	0
12	0.155	0.5	0.5	0.5	10	8	0.01
22	0.155	0.5	0.5	0.5	5	5	0.01
32	0.047	12.5	12.5	12.5	2	2	0.561
42	0.3	0.5	0.5	0.5	30	13	0
52	0.15	3.5	3.5	3.5	30	13	0
62	0.015	0	0	0	1	1	0
72	0.015	7.5	7.5	7.5	2	2	1
82	0.15	0.5	0.5	0.5	40	14	0
92	0.04	0	0	0	0	0	0
102	0.015	0	0	0	0	0	0
112	0.015	0	0	0	0	0	0
13	0.155	0.5	0.5	0.5	15	10	0.174
23	0.155	0.5	0.5	0.5	15	10	0.174
33	0.047	3.5	3.5	3.5	15	10	0.804
43	0.3	0.5	0.5	0.5	60	16	0
53	0.15	3.5	3.5	3.5	60	16	0
63	0.015	0	0	0	1	1	0
73	0.015	7.5	7.5	7.5	5	5	1
83	0.15	0.5	0.5	0.5	80	17	0
93	0.04	0	0	0	0	0	0
103	0.015	0	0	0	0	0	0
113	0.015	0	0	0	0	0	0
3	0.015	0	0	0	0	0	0
1000	0.04	0	0	0	0	0	0

Tableau 7 : Tableau de croisement définissant, pour chaque unité pédo-culturelle, l'ensemble des propriétés hydriques nécessaires à la modélisation, une valeur chiffrée.

Les « ps » correspondent aux concentrations potentielles en sédiment, « inf » à la capacité d'infiltration, « imb » à l'imbibition des sols et « ero » à l'érodibilité.

Spatialisation des propriétés physiques des unités pédo-culturelles

En reclassant la carte des unités paysagères, des cartes thématiques présentant en chaque point, les valeurs des différentes propriétés hydriques et sédimentaires nécessaires à la modélisation des coulées d'eaux boueuses sont obtenues. D'autres couches représentant notamment les largeurs de cours d'eau, l'intensité des précipitations, la topographie, ... sont également utilisées pour qualifier l'aléa.

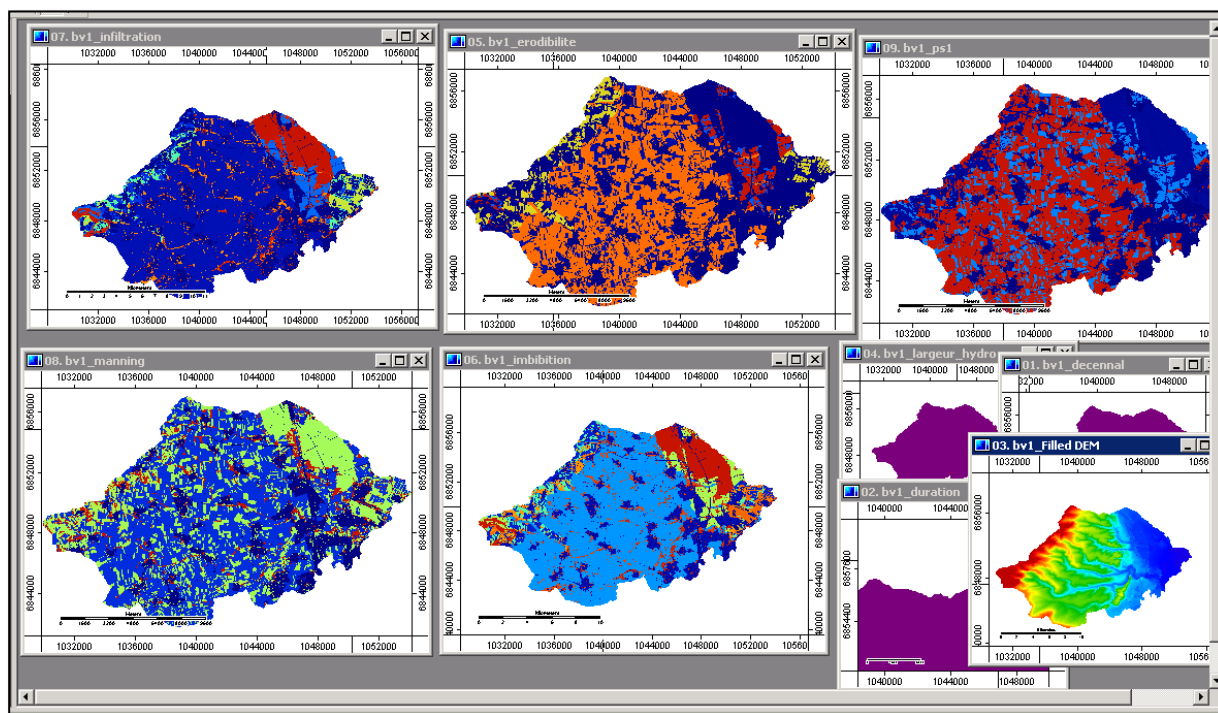


Illustration 19 : Spatialisation des propriétés physiques des unités pédoculturelles.

2.4.2. Définition de l'évènement pluvieux de référence

Afin de qualifier les évènements pluvieux de référence sur les 3 périodes de retour utilisées (décennale, trentennale et cinquantennale), les données issues des stations Météo France suivantes ont été utilisées :

- STRASBOURG LA WANTZENAU ;
- STRASBOURG ENTZHEIM ;
- STRASBOURG BOTANIQUE.

Les intensités pluvieuses les plus élevées sur la saison (mai - juillet) d'occurrence des coulées d'eaux boueuses ont été utilisées afin de qualifier l'aléa.

Un tableau de synthèse des cumuls de pluie est présenté ci-après (Tableau 8) :

LA WANTZENEAU STRASBOURG				
période de retour	Hauteur d'eau en mm			
	6 min	15 min	30 min	60 min
10 ans	12	19.2	25.1	30
30 ans	14.7	24.3	32.9	38
50 ans	15.8	26.8	36.8	42
STRASBOURG - ENTZHEIM				
période de retour	Hauteur d'eau en mm			
	6 min	15 min	30 min	60 min
10 ans	11.3	20	28.2	32.2
30 ans	13.7	25.4	36.9	41.8
50 ans	14.7	28	41.4	46.6
STRASBOURG - BOTANIQUE				
période de retour	Hauteur d'eau en mm			
	6 min	15 min	30 min	60 min
10 ans	12.7	22.9	29	33.1
30 ans	15.4	29	37.9	42.9
50 ans	16.5	31.9	42.5	47.8

Tableau 8 : Synthèse des hauteurs d'eau pour un événement pluvieux obtenues auprès de Météo France.

Le module WATERSED utilise, dans le cadre de la modélisation de l'aléa coulées d'eaux boueuses, les cumuls de pluviométrie en mm sur un créneau horaire de 60 min.

Les stations météo sont situées en dehors de la zone d'étude (quelques kilomètres) et en contexte topographique différent (en plaine et non sur les coteaux). De plus, d'après le retour d'expérience, les événements pluvieux qui donnent naissance aux coulées d'eaux boueuses présentent des caractéristiques de durée et de cumul particulières.

Le Tableau 9 présente les cumuls pluvieux utilisés lors des modélisations.

Période de retour	cumul de pluie sur 60 min utilisée lors de la modélisation (mm)
10 ans	30 mm
30 ans	40 mm
50 ans	50 mm

Tableau 9 : Paramétrisation des événements pluvieux utilisés lors de la modélisation.

2.4.3. Qualification de l'aléa

Suite au paramétrage des formations pédo-culturelles, les différentes couches d'informations requises par WATERSED sont calculées : Cumul et Durée de l'évènement, Pluie d'imbibition, Capacité d'infiltration, Rugosité, concentration potentielle en sédiments et largeur des cours d'eau (Illustration 20).

L'aléa a été qualifié sur l'ensemble de la zone d'étude sur la base des 3 périodes de retour pour l'occupation des sols la plus susceptible de donner naissance à des coulées d'eaux boueuses.

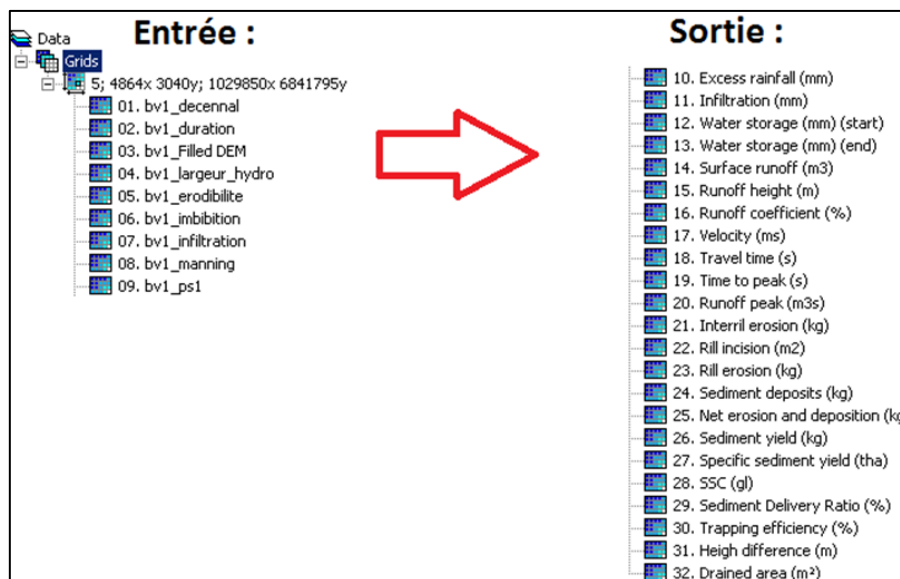


Illustration 20 : Listing des couches en entrée et en sortie de modélisation.

Les sorties du modèle permettent de quantifier un certain nombre de paramètres du ruissellement et de l'érosion. Les sorties principales dans le cadre de la qualification de l'aléa coulées d'eaux boueuses sont présentées ci-dessous :

- l'« Excess rainfall (mm) » qualifie la hauteur d'eau non infiltrée au cours de l'évènement pluvieux ;
- le « Runoff coefficient (%) » quantifie le pourcentage de la lame d'eau ayant ruisselé ;
- le « Net erosion and déposition (kg) » : exprime la quantité nette de sédiments déposés ou érodés sur une maille après un événement ;
- le « Sediment yield (kg) » exprime la quantité de sédiments ayant traversé une maille au cours d'un événement ;
- le « Specific sediment yield » exprime la quantité de sédiments ayant traversé une maille au cours d'un événement normalisé par l'aire (ha) drainée par cette maille ;
- le « Rill erosion » la localisation et la quantité de terre (en kg) érodée par érosion concentrée.

Afin de hiérarchiser les différents bassins versants dans le cadre de la mise en place d'une stratégie de gestion du risque lié aux coulées d'eaux boueuses, la qualification de l'aléa sera basée sur le « Sediment Yield », c'est-à-dire sur la masse totale de sédiments atteignant les exutoires. L'utilisation de ce paramètre permettra de qualifier l'efficacité des ouvrages de gestion du risque proposés.

Définition des seuils d'aléa

Les seuils d'aléa ont été définis sur la base des masses de sédiments qui transitent par les zones urbaines (Sediment Yield) durant un évènement d'intensité donné sur 60 min. Ces seuils ont été établis essentiellement de manière visuelle. Pour cela, toutes les traces d'érosion concentrée ou zones inondées observées (orthophotos, geoportail) ou localisées sur le terrain par des témoignages, ont été contrôlées et mises en relation avec les valeurs de masse de terre exportée (Sediment Yield).

Les seuils d'aléa ont été définis de la manière suivante (Tableau 10) :

Niveau d'aléa	Volume de sédiment
Aléa nul	0 - 50 kg
Aléa faible	50 - 250 kg
Aléa moyen	250 - 1300 kg
Aléa fort	1300 - 3000 kg
Aléa très fort	> 3000 kg

Tableau 10 : Tableau récapitulatif de seuils d'aléa.

Présentation des résultats

L'ensemble des cartes communales sont disponibles en Annexe 4. Un exemple de qualification de l'aléa (commune d'Eckwersheim) est présenté en suivant (Illustrations 21 à 23).

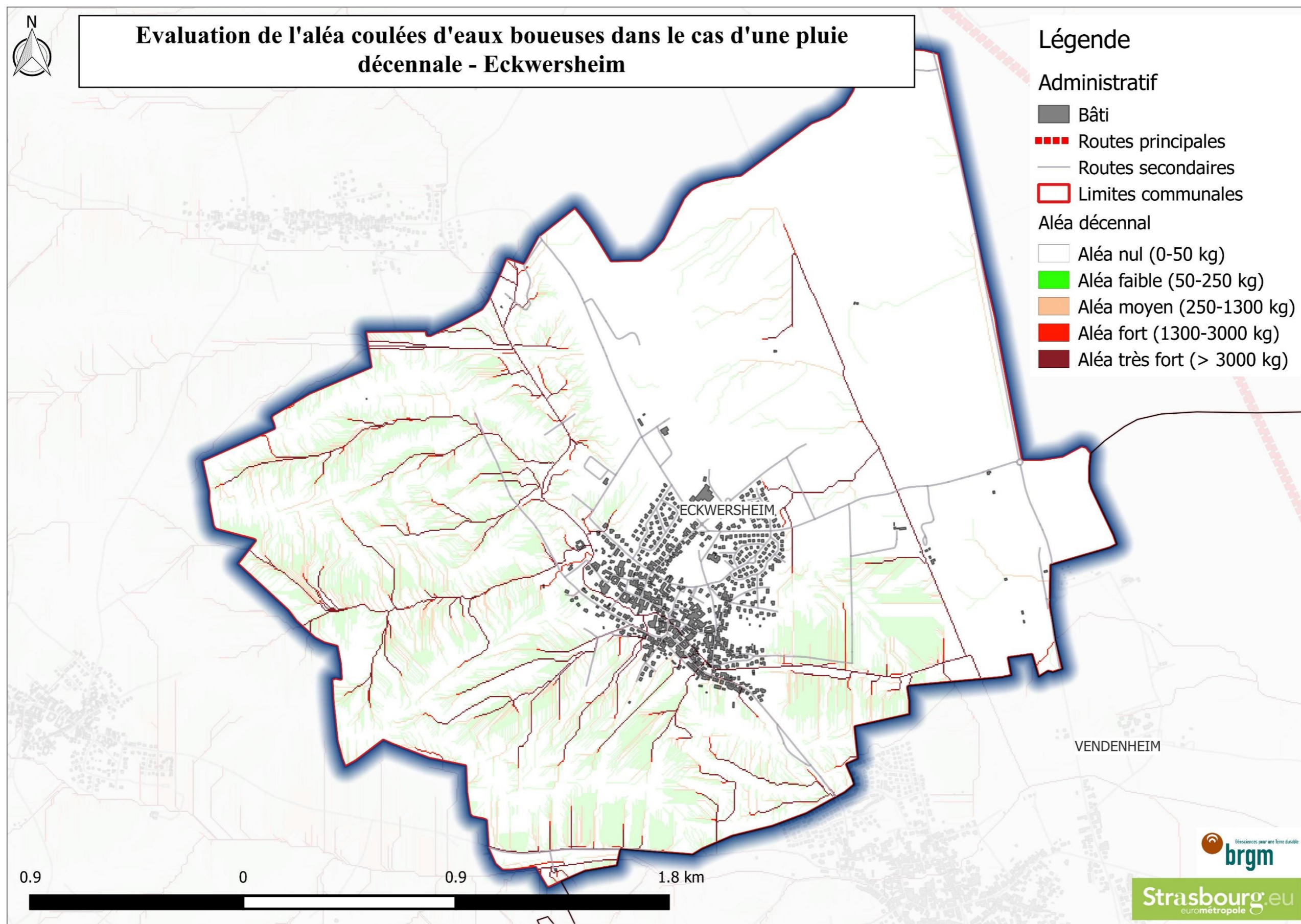


Illustration 21 : Qualification de l'aléa coulées d'eaux boueuses sur la commune d'Eckwersheim pour un évènement pluvieux de période de retour décennale.

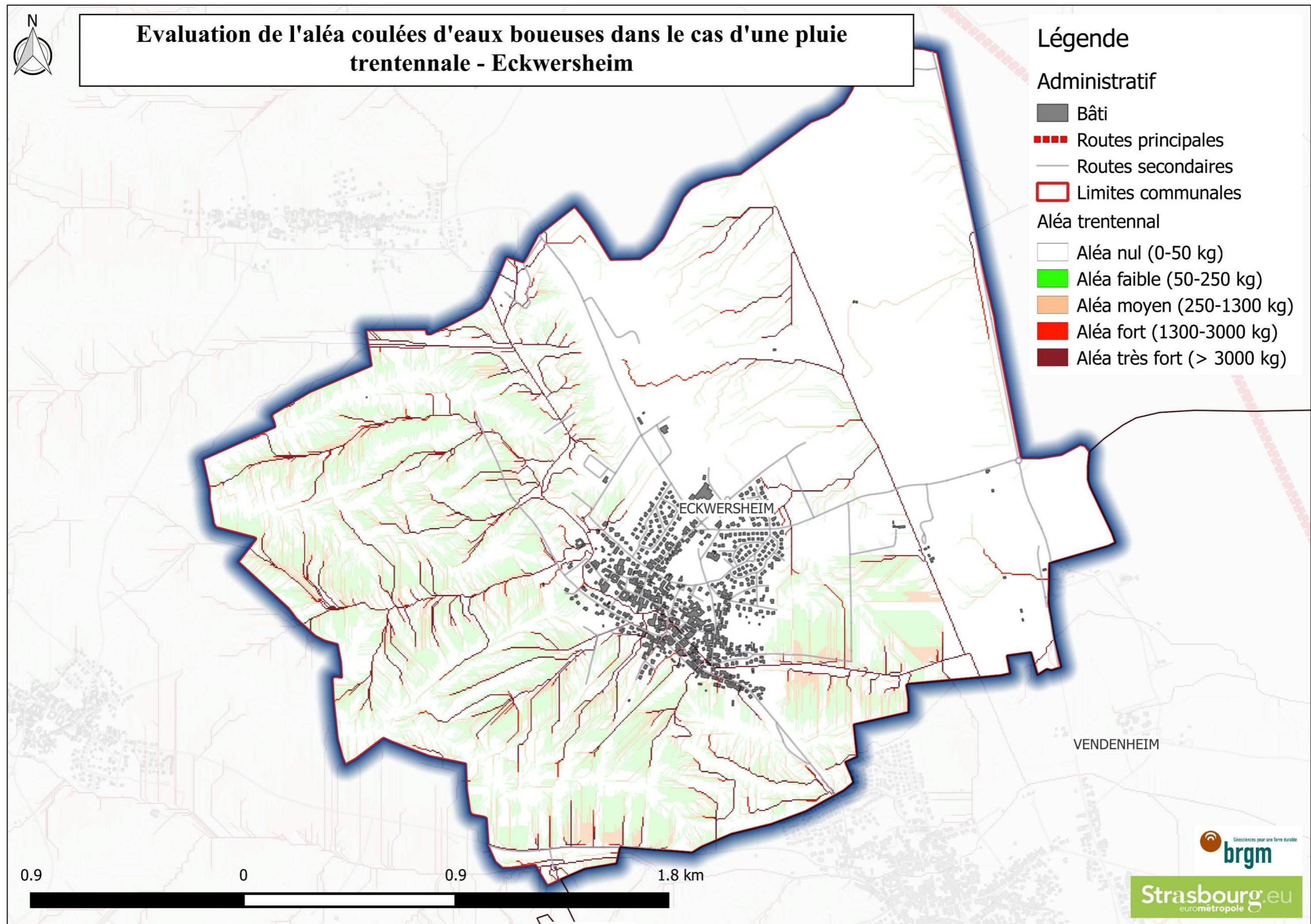


Illustration 22 : Qualification de l'aléa coulées d'eaux boueuses sur la commune d'Eckwersheim pour un évènement pluvieux de période de retour trentennale.

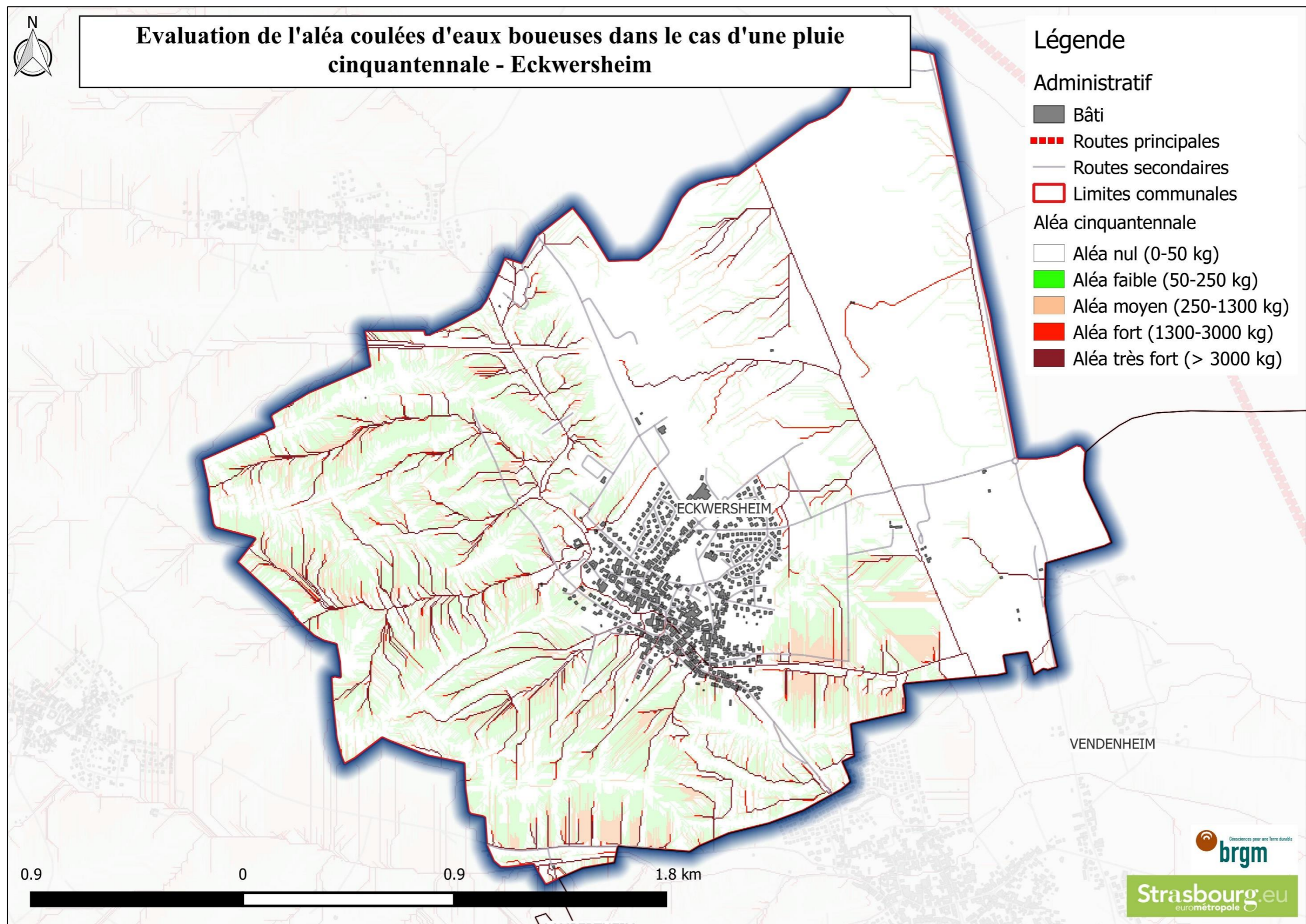


Illustration 23 : Qualification de l'aléa coulées d'eaux boueuses sur la commune d'Eckwersheim pour un événement pluvieux de période de retour cinquantennale

3. Proposition d'une stratégie de gestion de l'aléa « coulées d'eaux boueuses »

3.1. CARACTÉRISATION ET LOCALISATION DES ENJEUX

L'inventaire et la cartographie des enjeux permettra, après croisement avec les cartes d'aléa, de localiser les zones à risque (croisement entre un aléa élevé et la présence d'enjeux) afin de hiérarchiser les secteurs à protéger.

3.1.1. Typologie des enjeux

Les enjeux inventoriés ont été répartis dans 3 catégories :

- les enjeux humains concernent toutes les zones où une activité humaine est ou va être installée (bâtiment et zone d'habitation) ;
- les enjeux surfaciques différencient l'occupation des zones naturelles et agricoles ;
- les enjeux linéaires correspondent aux voies de communication et de transport de l'énergie.

Un niveau de vulnérabilité a été établi pour chaque enjeu inventorié. Cinq niveaux de vulnérabilité ont été établis. Les enjeux les plus vulnérables sont classés en catégorie 1, les moins vulnérables en catégorie 5.

De manière générale, les enjeux dont le niveau de vulnérabilité est qualifié de 1 et 2 seront prioritaires lors de l'établissement de la stratégie de gestion du risque.

3.1.2. Les enjeux humains

Les enjeux ayant été considérés comme les plus vulnérables (niveau 1) correspondent aux bâtiments des services de l'État devant être mobilisés dans le cadre d'un évènement (mairies, pompiers, services techniques) ainsi que les bâtiments recevant des personnes vulnérables (hôpitaux, écoles, crèches, ...).

Les enjeux dont le niveau de vulnérabilité est qualifié de niveau 2 correspondent à l'ensemble des zones habitées ou d'activités humaines (commerciale, loisir, ...). Sont également considérés avec ce niveau de vulnérabilité les infrastructures d'acheminement et/ou de traitement de l'électricité et de l'eau potable.

Les zones susceptibles d'accueillir l'expansion urbaine sont considérées avec un niveau de vulnérabilité 3.

Les bâtiments agricoles et déchetteries sont considérés avec un niveau de vulnérabilité 4.

3.1.3. Les enjeux surfaciques et linéaires

Parmi les zones naturelles et agricoles, les zones humides sont considérées comme les enjeux les plus vulnérables à l'aléa érosion par ruissellement (niveau 1). Les ouvrages de ruissellement sont également considérés comme point d'attention et donc qualifiés en vulnérabilité de niveau 1.

Les rivières et points d'eau (lac, étangs, ...) ont été pris en compte avec un niveau de vulnérabilité 2. L'ensemble des axes de communication routiers sont également considérés avec un niveau 2 de vulnérabilité.

Les voies ferrées et lignes TGV sont considérées avec un niveau de vulnérabilité 3.

Les champs cultivés et les vignobles sont considérés avec un niveau de vulnérabilité 4.

Les prairies et forêts, peu impactées et fortement résilientes sont considérées avec un niveau de vulnérabilité 5.

3.1.4. Synthèse des enjeux

Le Tableau 11 synthétise l'ensemble des enjeux inventoriés et leur niveau de vulnérabilité.

Tableau récapitulatif des enjeux classés par vulnérabilité					
Niveau de priorisation	5	4	3	2	1
Nature des enjeux					
Enjeux humains / Bâtiments		Bâtiment agricole Déchetterie	Zones susceptibles d'accueillir l'expansion urbaine	Zones d'habitat Zones industrielles, artisanales et commerciales Zones de loisirs (sportif) Etablissements touristiques (camping / centres de vacances) Sites culturels Zone d'accueil des gens du voyage Postes électriques Stations pompages, réservoir AEP, sources Stations épuration	Bâtiments de gestion de crise - Mairie - Gendarmerie - Hôpitaux / EHPAD - Pompiers Bâtiments recevant des personnes vulnérables - Ecoles - Crèches - Maison de retraite
Occupation des sols	Prairies Forêts	Champs cultivés Vignobles		Rivières Points d'eau	Zones humides
Enjeux linéaires / infrastructures		Réseaux téléphoniques (poteaux / antennes)	Voies ferrées / Lignes TGV	Axes de communication	Ouvrages de gestion du ruissellement

Tableau 11 : Tableau récapitulatif des enjeux inventoriés et de leur niveau de vulnérabilité.

3.2. IDENTIFICATION DES ZONES À PROTÉGER

Les zones à protéger sont définies par le croisement de l'aléa et des enjeux.

Selon la méthodologie utilisée, l'aléa est lié aux ruissellements, eux-mêmes liés à la hiérarchisation des écoulements au sein du bassin versant.

L'aléa, notamment en aval des bassins versant est donc représenté principalement au niveau des écoulements. La définition des enjeux potentiellement affectés par les écoulements au sein d'un bassin versant ne peut pas se faire uniquement sur la base d'une éventuelle intersection ; une zone tampon va être appliquée aux enjeux pour localiser les enjeux se situant dans la zone d'impact d'un écoulement. La valeur de ce tampon est définie, à dire d'expert, à 25 m.

Un croisement entre les zones de vulnérabilité identifiées et l'aléa défini précédemment a permis de hiérarchiser les secteurs devant être protégés en priorité. La matrice de calcul du niveau de risque est présentée dans le Tableau 12..

		Niveau de vulnérabilité				
Niveau d'aléa		5	4	3	2	1
Aléa très faible	5	25	20	15	10	5
Aléa faible	4	20	16	12	8	4
Aléa moyen	3	15	12	9	6	3
Aléa fort	2	10	8	6	4	2
Aléa très fort	1	5	4	3	2	1

Tableau 12 : Matrice de qualification du niveau de risque.

Cela permet d'identifier l'ensemble des zones où un aléa fort ou très fort croise un enjeu à vulnérabilité forte. Les zones présentant un niveau de risque compris entre 1 et 2 vont être traitées de manière prioritaire lors de la mise en place de la stratégie de gestion du risque.

L'identification de ces zones à risques a permis de lister 96 bassins versants devant faire l'objet de la mise en place de mesures de gestion du risque. Les exutoires de ces 96 bassins versant ont été digitalisés et vont servir de points de contrôle (mesure de la masse de sédiments).

3.3. HIÉRARCHISATION DES ZONES À PROTÉGER

Les ouvrages de gestion du risque ne pouvant pas être implantés sur les 96 bassins versants dès la première année, une hiérarchisation des bassins versants a été mise en place pour permettre à l'EMS d'aiguiller les investissements sur les secteurs les plus vulnérables.

Les règles de hiérarchisations établies sont les suivantes :

- sont identifiés en priorité 1 (P1) :
 - l'ensemble des BV sur lesquels des évènements ont été recensés par le passé et qui recoupe des enjeux de type 1 (hors ZH) et 2,
 - les BV au sein desquels des quantités de terres supérieures à 1 000 tonnes se déposent en zone urbaine pour un évènement pluvieux de période de retour cinquantennale ;
- sont identifiés en priorité 2 (P2) :
 - les BV impactant les zones humides,
 - les BV au sein desquels des quantités de terres supérieures à 100 tonnes se déposent en zone urbaine pour un évènement pluvieux de période de retour cinquantennale ;
- sont identifiés en priorité 3 (P3) :
 - les BV sur lesquels des ouvrages ont déjà été installés,
 - les BV au sein desquels des quantités de terres inférieures à 100 tonnes se déposent en zone urbaine pour un évènement pluvieux de période de retour cinquantennale ;
- sont identifiés en priorité 4 (P4) :
 - les BV au sein desquels des quantités de terres inférieures à 10 tonnes se déposent en zone urbaine pour un évènement pluvieux de période de retour cinquantennale,
 - les BV jugés non prioritaires par les communes ;
- sont identifiés en priorité 5 (P5) :
 - les BV étant situés principalement hors territoire de l'EMS,
 - les BV n'impactant pas d'enjeux en catégorie 1 et 2.

Le Tableau 13 présente la répartition, par commune, des différents niveaux de priorisation des bassins versants. Les bassins versants identifiés en priorité 1 sont présentés sur l'illustration 24.

Communes	Nb BV P1	Nb BV P2	Nb BV P3	Nb BV P4	Nb BV P5	NB BV Communes
ACHENHEIM	4	1	3	1	0	9
BLAESHEIM	2	0	0	0	0	2
BREUSCHWICKERSHEIM	6	1	3	1	0	11
ECKWERSHEIM	7	2	2	1	0	12
HANGENBIETEN	1	1	2	2	0	6
KOLBSHEIM	0	2	2	1	0	5
LAMPERTHEIM	6	1	0	2	0	9
MITTELHAUSBERGEN	2	0	0	2	0	4
MUNDOLSHEIM	0	0	3	0	0	3
NIEDERHAUSBERGEN	2	2	2	0	0	6
OBERHAUSBERGEN	4	0	0	1	0	5
OBERSCHAEFFOLSHEIM	2	3	5	0	0	10
OSTHOFFEN	0	0	3	1	0	4
VENDENHEIM	4	2	2	2	0	10
SOMME BV	40	15	27	14	0	96

Tableau 13 : Tableau de synthèse de priorisation des bassins versants par commune.

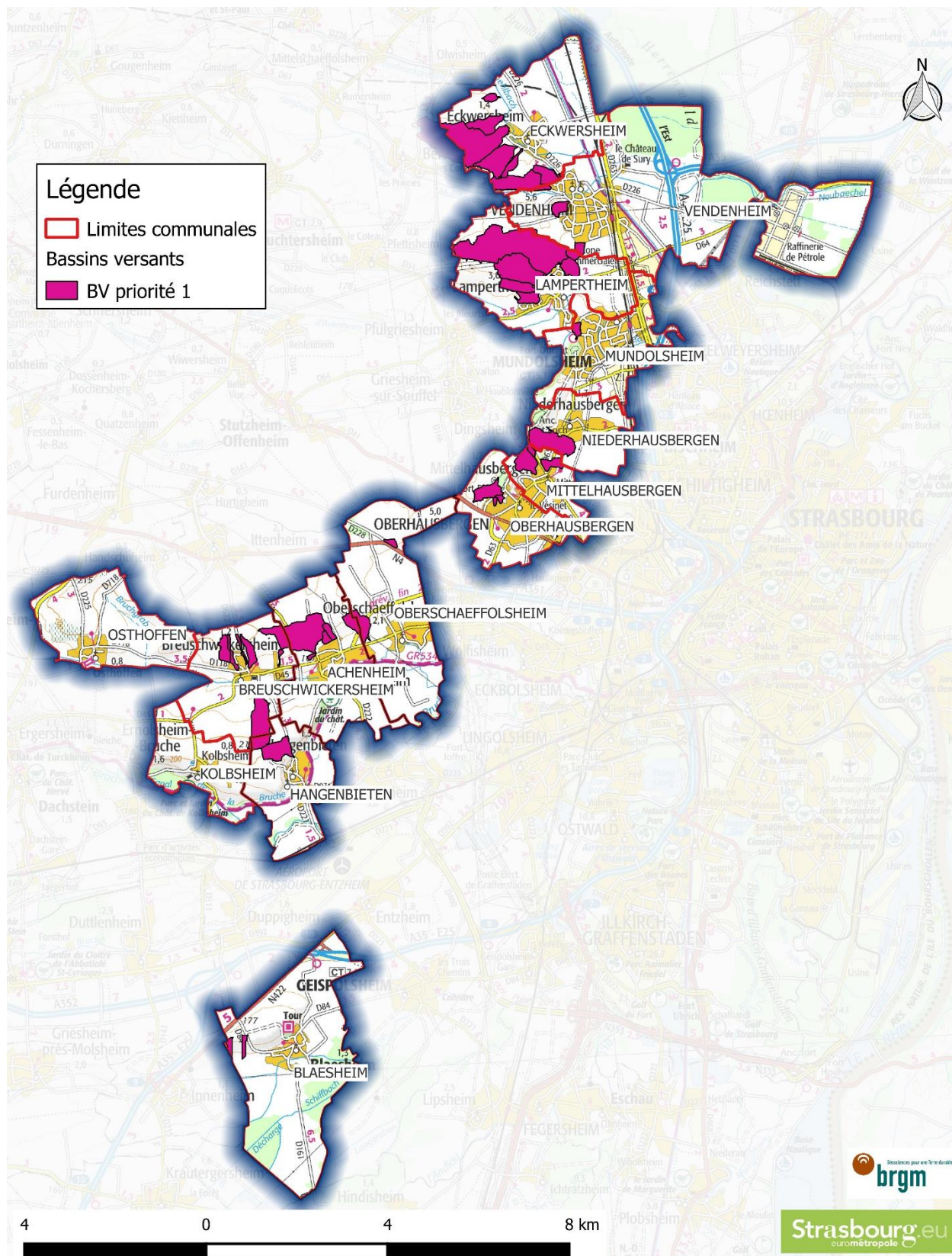


Illustration 24 : Carte de localisation des bassins versants identifiés en priorité 1.

3.4. MODÉLISATION DES PROPOSITIONS D'ACTION

Une fois les zones de risques identifiées et hiérarchisées, l'objectif de cette étude est de proposer une stratégie de gestion du risque aboutissant à la mise en place de parades efficaces et peu contraignantes afin de limiter l'impact des coulées d'eaux boueuses.

Les actions pouvant être mises en place peuvent agir sur 3 facteurs principaux :

- la limitation de l'érosion (départ de terre) ;
- la limitation du ruissellement ;
- la sédimentation des masses de terres transportées avant atteinte des zones urbanisées.

La modélisation a été réalisée sur 96 bassins versants en 3 temps :

- une 1^{ère} modélisation a été réalisée sans tenir compte de ouvrages de protection installés préalablement à la réalisation de l'étude (carte d'aléa) ;
- une 2^{ème} modélisation a été réalisée en tenant compte des ouvrages existants afin de qualifier leur efficacité ;
- une 3^{ème} modélisation a été réalisée en complétant le système de protection à l'aide d'ouvrage d'hydraulique douce.

Des points de contrôle ont été digitalisés au droit des entrées de flux en zone urbanisée afin de quantifier les masses de sédiments et juger de l'efficacité des ouvrages mis en place.

Un inventaire non exhaustif des méthodes pouvant être mises en place et décrivant les avantages, inconvénients et coûts de chacune des méthodes est disponible en Annexe 2 (Landemaine, *et al.*, 2016).

Les propositions d'implantation des ouvrages de protection ont été réalisées selon les principes suivants :

- les aménagements sont implantés sur les zones de cultures, sauf cultures permanentes et prairies ;
- les fascines sont implantées perpendiculairement aux chemins d'écoulement en limite d'unités d'exploitation.

Selon les versants et les configurations, une première fascine est placée à partir d'une trentaine d'hectares d'aire contributive, puis tous les 500 m et avant les entrées en zone urbaine. Elles sont préférentiellement placées dans les zones où la pente est supérieure à 5 %.

- les bandes enherbées sont implantées sur les limites aval des unités d'exploitation coupées par les chemins d'écoulement.

Une bande enherbée peut être perpendiculaire ou parallèle (chenal enherbé) à l'axe de ruissellement. L'EMS préconise une largeur de 10 m pour les bandes enherbées.

3.5. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

L'impact des ouvrages de protection implantés selon les règles exposées précédemment a été qualifié, dans le cas d'une pluie cinquantennale. Les résultats sont présentés sous la forme de cartes et de diagrammes (Annexe 5). Le pourcentage théorique de réduction de masse de terres déposées sur les enjeux est calculé pour chaque commune (Tableau 14).

Commune	Réduction théorique du volume de terre déposé sur les enjeux
ACHENHEIM	49%
BLAESHEIM	1%
BREUSCHWICKERSHEIM	77%
ECKWERSHEIM	89%
HANGENBIETEN	73%
KOLBSHEIM	93%
LAMPERTHEIM	95%
MITTELHAUSBERGEN	87%
MUNDOLSHEIM	4%
NIEDERHAUSBERGEN	80%
OBERHAUSBERGEN	72%
OBERSCHAEFFOLSHEIM	64%
OSTHOFFEN	75%
VENDENHEIM	78%

Tableau 14 : Réduction théorique (%) des masses de terre transitant sur les enjeux pour une pluie cinquantennale si implantation de l'ensemble des ouvrages de protection proposés.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, la réduction des masses de terres susceptibles de transiter en zone urbaine est de 80 %.

La stratégie de gestion proposée, à base d'ouvrage d'hydraulique douce, fonctionne sur la majorité des communes de l'EMS. Seules les communes de Blaesheim et de Mundolsheim ne sont pas impactées de manière efficace par les ouvrages proposés. L'explication à ce phénomène est à chercher sur le profil topographique des versants considérés.

En effet, sur la commune de Blaesheim, les secteurs de fortes pentes sont occupés par des vergers et des prairies qui sont peu favorables à l'apparition de coulées d'eaux boueuses. Les secteurs sur lesquels les coulées d'eaux boueuses se sont déclenchées présentent des pentes beaucoup plus faibles ; de fait, les écoulements sont moins concentrés et l'efficacité d'ouvrages ponctuels est moins élevée.

La commune de Mundolsheim présente un profil topographique similaire aux communes limitrophes fortement impactées par les coulées d'eaux boueuses. Mundolsheim présente très peu de parcelles agricoles en amont de la zone urbanisée (qui remonte très haut sur les coteaux). Les parcelles agricoles sont situées exclusivement sur la crête et présentent de pentes très faibles; de fait, les écoulements sont moins concentrés et l'efficacité d'ouvrages ponctuels est moins élevée.

Les communes de Blaesheim et de Mundolsheim, compte tenu des spécificités locales devraient, plus particulièrement, mettre en place une réflexion sur le changement de pratiques agricoles (méthodes sans labour, semis sous couvert, ...).

3.6. ESTIMATION DES COÛTS

Les budgets nécessaires à l'installation des ouvrages, leur entretien et l'indemnisation foncière des exploitants ont été estimés.

Les coûts suivants ont été utilisés ; les données sont issues de la bibliographie (Landemaine, *et al.*, 2016) ou ont été fournies par l'EMS (Tableau 15).

Type dépense	Actions	Fascines	Bandes enherbées	Source données
Investissement	Coûts d'installation	70€/ ml	0 €	Bibliographie
Fonctionnement	Coûts d'entretien	20€ ml / an	0 €	Bibliographie
	Largeur à indemniser	10 m	10 m	Eurométropole de Strasbourg
	Indemnisation / ares	18.44 €	18.44 €	Eurométropole de Strasbourg

Tableau 15 : Éléments utilisés dans le cadre de l'estimation des coûts.

Les coûts ont été estimés par niveaux de priorisation des bassins versants (Tableau 16) et par communes (Tableau 17).

Niveau de priorisation BV	Indemnisation annuelle (HT)	Coût entretien (fascines) annuel (HT)	Coût installation fascine (HT)
1	39 799 €	38 260 €	149 170 €
2	7 525 €	7 940 €	37 450 €
3	29 230 €	19 680 €	115 430 €
4	6 107 €	11 200 €	34 020 €
5	0 €	0 €	0 €

Tableau 16 : Estimation des coûts par niveau de priorisation des bassins versants.

Pour rappel, les coûts estimés dans les Tableaux 16 et 17 correspondent à la mise en place totale des ouvrages implantés sur la base d'une occupation du sol défavorable qui ne devrait pas être rencontrée en réalité.

Les coûts d'indemnisations estimés seront vraisemblablement revus à la baisse, notamment dans le cas des bandes enherbées qui seront à planter en fonction de l'assolement annuel. Les coûts d'installation des fascines correspondent à un investissement total qui peut être envisagé à moyen-long terme. Les coûts d'entretien et d'indemnisation des fascines seront à prendre en compte au fur et à mesure de leur installation.

L'estimation des budgets à prévoir sur la base des assolements prévus (bandes enherbées) et l'implantation des fascines à très court terme (année n+1) devront faire l'objet d'une étude complémentaire qui prendra en compte l'occupation des sols prévues sur l'année visée.

COMMUNES	INDEMNISATION ANNUELLE BANDES ENHERBÉES	INDEMNISATION ANNUELLE FASCINE	TOTAL INDEMNISATION ANNUELLE	COÛT INSTALLATION FASCINES	ENTRETIEN FASCINES	INVESTISSEMENT PAR COMMUNE (INSTALLATION FASCINES)	BUDGET FONCTIONNEMENT ANNUEL PAR COMMUNE (INDEMNISATION + ENTRETIEN)
ACHENHEIM	7 715 €	1 328 €	9 043 €	50 400 €	14 400 €	50 400 €	23 443 €
BLAESHEIM	1 018 €	0 €	1 018 €	0 €	0 €	0 €	1 018 €
BREUSCHWICKERSHEIM	13 397 €	1 119 €	14 516 €	42 490 €	12 140 €	42 490 €	26 656 €
ECKWERSHEIM	9 657 €	1 888 €	11 545 €	71 680 €	20 480 €	71 680 €	32 025 €
HANGENBIETEN	5 580 €	710 €	6 290 €	26 950 €	7 700 €	26 950 €	13 990 €
KOLBSHEIM	3 714 €	290 €	4 003 €	10 990 €	3 140 €	10 990 €	7 143 €
LAMPERTHEIM	11 068 €	915 €	11 982 €	34 720 €	9 920 €	34 720 €	21 902 €
MITTELHAUSBERGEN	4 000 €	389 €	4 389 €	14 770 €	4 220 €	14 770 €	8 609 €
MUNDOLSHEIM	5 368 €	0 €	5 368 €	0 €	0 €	0 €	5 368 €
NIEDERHAUSBERGEN	3 319 €	498 €	3 817 €	18 900 €	5 400 €	18 900 €	9 217 €
OBERHAUSBERGEN	900 €	503 €	1 403 €	19 110 €	5 460 €	19 110 €	6 863 €
OBERSCHAEFFOLSHEIM	6 448 €	1 200 €	7 649 €	45 570 €	13 020 €	45 570 €	20 669 €
OSTHOFFEN	5 467 €	194 €	5 661 €	7 350 €	2 100 €	7 350 €	7 761 €
VENDENHEIM	4 940 €	802 €	5 742 €	30 450 €	8 700 €	30 450 €	14 442 €
TOTAL	82 591 €	9 836 €	92 427 €	373 380 €	106 680 €	373 380 €	199 107 €

Tableau 17 : Estimation des coûts par communes.

4. Conclusion

La qualification de l'aléa, réalisée à l'aide du module WATERSED du BRGM, a pris en compte les lignes d'écoulement des eaux de ruissellement (calculé d'après le MNT à 1 m de l'EMS et corrigé d'après des relevés de terrain), la nature du sol, le type de culture le plus défavorable susceptible d'être cultivé sur chaque parcelle et les paramètres de sols liés, ainsi que l'intensité pluvieuse. L'aléa a été qualifié sur la base des masses de sédiments susceptibles de se d'atteindre une zone urbaine.

L'étude des enjeux installés en aval des zones de départ a permis d'identifier 96 bassins versants nécessitant l'implantation d'ouvrages de gestion des eaux boueuses. Ces 96 bassins versants ont fait l'objet d'une hiérarchisation afin d'orienter les budgets vers les zones à protéger en priorité. Les paramètres suivants ont été utilisés pour définir les BV en priorité 1 :

- sont identifiés en priorité 1 (P1) :
 - l'ensemble des BV sur lesquels des évènements ont été recensés par le passé et qui recoupe des enjeux de type 1 (bâtiment public et ERP⁴) (hors ZH) et 2 (zones résidentielles),
 - les BV au sein desquels des quantités de terres supérieures à 1 000 tonnes se déposent en zone urbaine pour un évènement pluvieux de période de retour cinquantennale ;
- sont identifiés en priorité 2 (P2) :
 - les BV impactant les zones humides,
 - les BV au sein desquels des quantités de terres supérieures à 100 tonnes se déposent en zone urbaine pour un évènement pluvieux de période de retour cinquantennale.

Sur la base de ces paramètres, 40 bassins versants, répartis sur 11 communes, ont été identifiés en priorité 1.

L'implantation d'ouvrages d'hydraulique douce (fascines, bandes enherbées) a été simulée sur l'ensemble des bassins versants permettant de diminuer les masses de sédiments atteignant les enjeux de près de 80 % si l'ensemble des ouvrages existants et modélisés par le BRGM sont en état optimal de fonctionnement.

Le coût estimé de mise en place, d'indemnisation des exploitants agricoles et d'entretien des ouvrages pour les 96 bassins versants identifiés est d'environ 500 000 € dont 230 000 € pour les bassins versant en priorité 1 (150 000 € d'investissement et 80.000€ de fonctionnement).

Pour rappel, ces coûts estimés correspondent à la mise en place totale des ouvrages implantés sur la base d'une occupation du sol défavorable qui ne devrait pas être rencontrée en réalité en raison de la rotation des cultures.

L'estimation des budgets à prévoir sur la base des assolements prévus (bandes enherbées) et l'implantation des fascines à très court terme (année n+1) devront faire l'objet d'une étude complémentaire qui prendra en compte l'occupation des sols prévues sur l'année visée.

En complément à l'implantation des ouvrages d'hydraulique douce proposés par le BRGM, une réflexion peut être menée sur l'adaptation des pratiques agricoles par les exploitants sur les zones à forte susceptibilité via la mise en place d'autres pratiques agricoles (non labour, semis sous couvert, ...).

⁴ ERP : Établissement Recevant du Public

5. Bibliographie

Baierer, C., & Troadec, B. (2016) - Avis technique dans le cadre d'une demande de reconnaissance de catastrophe naturelle suite aux inondations et coulées boueuses survenues le 25 juin 2016 sur la commune de Hangenbieten. BRGM/RP-66112-FR.

Blanalt, J. (1972) - Carte géologique de Brumath Drusenheim (243-235) et sa notice. BRGM.

Cerdan, O., Souchère, V., Le Bissonais, Y., King, C., Antoni, V., & Surdyk, N. (2006) - Guide Méthodologique pour un zonage départementale de l'érosion des sols : Rapport n 3 : Synthèse et recommandations générale.

Cerdan, O., Souchère, V., Lecomte, V., Couturier, A., & Le Bissonais, Y. (2002) - Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff model: Sealing and transfer by runoff and erosion related to agricultural management. *Catena*, 46 (2-3). p. 189-205.

DREAL ALSACE (2014) - Risques naturels et hydrauliques : les coulées d'eau boueuse. Récupéré sur DREAL Grand Est: <http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/les-coulees-d-eau-boueuses-dans-les-departements-a16758.html>

GERIHCO. (s.d.). Récupéré sur Gerihco - Gestion des Risques et Histoire de Coulées d'Eau Boueuse: <http://gerihco.engees.unistra.fr/>

Grabenstaetter, L. (2017) - Rapport d'expertise : Mouvements de terrain suite à l'épisode orageux du 12 mai 2017 à Eckwersheim (67). BRGM/RP-66964-FR.

Heitz, C. (2009) - Thèse : La perception du risque de coulées boueuses : analyse sociogéographique et apports à l'économie comportementale. Université de Strasbourg. Récupéré sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00486960/document>

Institution ADOUR. (2015) - Étude Erosion des sols sur l'amont du bassin versant de la Midouze.

Landemaine, V., Van Oost, K., Evrard, O., Mouchel, J., Souchère, V., Massel, N., . . . Fournier, M. (2016) - Érosion des sols et transferts sédimentaires sur les bassins versants de l'Ouest du Bassin de Paris : Analyse, quantification et modélisation à l'échelle pluriannuelle.

Thuon, Y., Vauchassade, A., Morvan, X., Landemaine, V., & Desprats, J. (2017) - L'érosion des sols sur le vignoble champenois de la Marne (51). BRGM/RP-66688-FR.

Van Dijk, P., & Koller, R. (2015) - Ruissellement et érosion des sols en Alsace.

Van Dijk, P., Rosenfelder, C., Scheurer, O., Duparque, A., Martin, P., & Sauter, J. (2016, juin) - Une approche agronomique territoriale pour lutter contre le ruissellement et l'érosion des sols en Alsace. *Agronomie environnement & sociétés*, Volume n 6(Numéro 1). Récupéré sur www.agronomie.asso.fr

Annexe 1

Inventaire des arrêtés de reconnaissance catastrophe naturelle sur la zone d'étude

Mois de reconnaissance CAT NAT Inondations et coulée de boue	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Jun	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Communes												
Achenheim					1	5						1
Blaesheim												1
Breuschwickersheim												1
Eckwersheim					5		1					1
Hangenbieten		1			1	3						1
Kolbsheim						2						1
Lampertheim					3	2	1					1
Mittelhausbergen					1	1						1
Mundolsheim					2	1	2					1
Niederhausbergen						1						1
Oberhausbergen					1	1	1					1
Oberschaeffolsheim					1	3						1
Osthoffen												1
Vendenheim					2	1	3					1
Somme	0	1	0	0	17	20	8	0	0	0	0	14

 Données issues du site www.georisques.gouv.fr

Années de reconnaissance CAT NAT Inondations et coulée de boue	1983	1987	1988	1990	1992	1993	1995	1996	1997	1998	1999	2003	2008	2012	2016	2017
Communes																
Achenheim	1				1			1			1	1			2	
Blaesheim											1					
Breuschwickersheim											1					
Eckwersheim		1				1				1	1		1	1		1
Hangenbieten	1			1				1			1	1			1	
Kolbsheim		1						1			1	1				
Lampertheim	1	1	1						1		1		1			1
Mittelhausbergen								1			1		1			
Mundolsheim	1	1	1				1				1		1			
Niederhausbergen											1		1			
Oberhausbergen								1			1		2			
Oberschaeffolsheim	1				1			1			1				1	
Osthoffen											1					
Vendenheim		2	1				1				1					1
Somme	5	6	3	1	2	1	2	6	1	1	14	3	8	1	4	3
Données issues du site www.georisques.gouv.fr																

Annexe 2

Inventaire non exhaustif des moyens de lutte contre l'érosion et le ruissellement Avantages, inconvénients, coûts

Action / aménagement	Avantages	Inconvénients	Coûts
Hydraulique douce			
Bande enherbée	<ul style="list-style-type: none"> > Limite considérablement le départ de terre (pas d'effet splash ; peu d'arrachement) > Favorise l'infiltration > Favorise le dépôt des particules arrivant de l'amont (rugosité + perte de compétence du flux grâce à l'infiltration) > Limite les transferts de polluants 	<ul style="list-style-type: none"> > Impact surfacique (plusieurs centaines de mètres de longueur ; minimum 15m de largeur pour permettre la divagation de l'écoulement sans risquer la création d'une ravine sur les côtés) > Génère une gêne dans l'utilisation de l'outillage en plein champ (manœuvres + temps de travail supérieur) > Peu d'impact quand le flux entrant est trop important 	<ul style="list-style-type: none"> > Faibles coûts de mise en œuvre (<100€ main d'œuvre comprise) > Impact financier/ha de bande enherbée correspondant au maximum à la marge brute/ha de la parcelle ; souvent bien moindre puisque la BH est souvent placée dans des zones régulièrement sinistrées
Fascine	<ul style="list-style-type: none"> > Limite le transfert de particules de terre vers l'aval (> 70%) > Freine les ruissellements > Faible impact surfacique 	<ul style="list-style-type: none"> > Ne limite pas le départ de terre, mais stocke les masses érodées en un point donné > Nécessite donc un curage > Nécessite un entretien voire un remplacement (7 à 10 ans) > Peu d'infiltration associée (au mieux : 35 mm/h en direct amont) : débit ralenti, mais quantité d'eau peu diminuée : action érosive qui peut reprendre rapidement en aval 	<ul style="list-style-type: none"> > Mise en place # 100€/mL (entièrement réalisé par une entreprise) > Entretien # 30€/mL/10 ans > Eventuel recalibrage # 50 €/mL > Prix max/10 ans # 180€/mL
Haie placée perpendiculairement à la pente	<ul style="list-style-type: none"> > Limite le transfert de particules de terre vers l'aval (jusqu'à 80%) > Faible impact surfacique > Favorise considérablement l'infiltration (jusqu'à 400 mm/h) > Ralentit les écoulements (>0,2 m/s) > Peu d'entretien 	<ul style="list-style-type: none"> > Ne limite pas le départ de terre, mais stocke les masses érodées en un point donné > Efficace au bout de 7 à 10 ans > Nécessite un léger entretien (taille ; remplacement pieds morts ; protection des jeunes pousses contre le gibier) > Infiltration associée limitée de par le caractère ponctuel : action érosive qui peut reprendre rapidement en aval 	<ul style="list-style-type: none"> > Mise en place # 15€/mL avec minimum de 15 mL (si réalisé par une entreprise)
Fascines + haies (perpendiculaire à la pente)	<ul style="list-style-type: none"> > Limite fortement le transfert de particules de terre vers l'aval > Entraîne une limitation des coûts d'entretien > Combinaison des 2 favorise l'infiltration en plus de la limitation du transfert de particules > Pas nécessaire de remplacer la fascine au bout de 7 à 10 ans, une haie dense ayant le même impact qu'une fascine fonctionnelle 	<ul style="list-style-type: none"> > Ne limite pas le départ de terre, mais stocke les masses érodées en un point donné > Nécessite des travaux d'entretien (curage ; taille de la haie...) > Infiltration associée limitée de par le caractère ponctuel : action érosive qui peut reprendre rapidement en aval 	<ul style="list-style-type: none"> > Cf coûts fascines et haies
Fascines + haies + bandes enherbées perpendiculaires à la pente	<ul style="list-style-type: none"> > Limite considérablement le transfert de particules vers l'aval (97,5%) > Favorise très fortement l'infiltration > Retarde la reprise de l'impact érosif du ruissellement en aval 	<ul style="list-style-type: none"> > Ne limite pas le départ de terre, mais stocke les masses érodées en un point donné > Nécessite des travaux d'entretien (curage ; taille de la haie...) > Léger impact surfacique 	

Bandes enherbées + haies parallèles à la pente	<ul style="list-style-type: none"> > Même impact général que la bande enherbée > Haie qui favorise grandement l'infiltration (jusqu'à 400 mm/h) > Favorise donc le dépôt par perte de compétence du flux > 100 mL de haie = 1 Ha de SET > Participe à la biodiversité > Impact microclimatique local positif > Stimulation biologique ; fécondation favorisée ; élément de lutte contre les ravageurs nocturnes 	<ul style="list-style-type: none"> > Impact surfacique > Génère une gêne dans l'utilisation de l'outillage en plein champ (manœuvres + temps de travail supérieur) 	<ul style="list-style-type: none"> > Coût total de mise en place # 700 €/100 mL (haie 1 rang) ; entre 1000 et 1500/100 mL pour une haie de 2 ou 3 rangs) > 400 € pour plans et bâche > 300 € main d'œuvre et mécanisation > Entretien # 10€/an/100 mL
Occupation du sol / Pratiques culturales			
Prairies	<ul style="list-style-type: none"> > Empêche le départ de terre > Favorise l'infiltration (60 mm/h) > Favorise le dépôt des particules de terre venant de l'amont 	<ul style="list-style-type: none"> > Impact surfacique très important : nécessite la couverture totale de parcelles 	<ul style="list-style-type: none"> > Aucun si nécessaire pour le bétail ; correspondant à la marge brute/Ha de la parcelle si pas nécessaire (#1000€/Ha/an)
Sens de culture	<ul style="list-style-type: none"> > Ralentit le ruissellement et favorise la réinfiltration (rugosité) 	<ul style="list-style-type: none"> > Peut occasionner une gêne (perte de temps importante) lorsque cela ne correspond pas à la plus grand longueur de la parcelle > Peut générer des risques pour les exploitants en cas de pente trop importante 	
Augmentation de la durée de couverture des CIPAN (au-delà du 15 novembre)	<ul style="list-style-type: none"> > Empêche le départ de terre > favorise l'infiltration > Favorise le dépôt de particules venant de l'amont 	<ul style="list-style-type: none"> > Peut générer des problèmes pour les cultures de Printemps les plus précoces > Peut entraîner une gêne dans les plannings de préparation des sols 	
Bande tassée	<ul style="list-style-type: none"> > Permet d'atténuer l'arrachement de terre dans les vallons à faible impluvium (<100 Ha) 		<ul style="list-style-type: none"> > Limité, quelques dizaines d'€ ; un peu plus si accompagné d'un double semis
Techniques sans labour / Semis direct	<ul style="list-style-type: none"> > Limitation importante du départ de terre (notamment grâce à la couverture du sol mais aussi la texture du sol pour les sols les plus argileux ; réduit "l'effet splash" et la création d'une croûte de battance) > Activité biologique accrue favorisant la porosité > Augmentation à long terme de la matière organique dans le sol > Réduction des temps de travail > Remontée de cailloux limitée (valable pour les biefs à silex en bordure de versant) 	<ul style="list-style-type: none"> > Avantages pour les cultures qui peuvent être visibles au bout plusieurs années 	<ul style="list-style-type: none"> > Perte possible de rendement les premières années > Gain possible sur le long terme (baisse du temps de travail et de l'usure de l'outillage notamment)

Hydraulique lourde			
Bassins de rétention ; mares tampon	<ul style="list-style-type: none"> > Impact très fort sur la limitation de l'arrivée d'eau boueuse > Excellent élément de protection > La mare tampon (partie en eau en permanence sous le débit de fuite) favorise la biodiversité 	<ul style="list-style-type: none"> > Coûts très importants > Impact surfacique > Entretien important (curage...) > Nécessite des aménagements préventifs en amont pour éviter une sédimentation trop rapide > Risque de pollution concentrée (notamment en cas d'ouverture de béttoire) > Action curative et non préventive > Peut générer un "sentiment de protection" à l'aval et de mauvaises décisions d'aménagement du territoire (constructions en fond de vallon par exemple...) 	> Entre 30 et 50 €/m ³ si minimum de 1000 m ³ (source CG)
Fossés	<ul style="list-style-type: none"> > Impacte directement le ruissellement (stoppe le flux ou joue un rôle de tampon) > Permet l'infiltration (lente) et piège les sédiments > Faible impact surfacique si placé en bord de chemin > Participe à la biodiversité 	<ul style="list-style-type: none"> > Nécessite un entretien (curage) > Génère une gêne pour les pratiques culturales (obstacle pour les machines) 	
Talus	<ul style="list-style-type: none"> > Élément de protection permettant de diriger le flux> Peut permettre de ralentir les écoulements et de favoriser un dépôt des sédiments> Faible impact surfacique si placé en limite de parcelle 	<ul style="list-style-type: none"> > Si mal conçu par rapport aux flux arrivant : ne fait que rediriger le flux : déplace les impacts> Peut nécessiter un curage> Génère une gêne pour les pratiques culturales (obstacle pour les machines) 	
Aménagement béttoire imperméabilisant	<ul style="list-style-type: none"> > Stoppe le risque de turbidité et de pollution concentrée vers les sources et les captages 	<ul style="list-style-type: none"> > Favorise le ruissellement d'eau boueuse et l'érosion en aval puisque limite l'infiltration 	
Aménagement béttoire perméable	<ul style="list-style-type: none"> > Limite considérablement le risque de turbidité vers les sources ou les captages > Limite les risques de pollutions concentrée (filtrage par les particules fines > Conserve le pouvoir infiltrant donc limite l'aléa érosion et ruissellement à l'aval 	<ul style="list-style-type: none"> > Nécessite un entretien (notamment pour éviter le colmatage > Coûts de réalisation importants 	

Annexe 3

Rapport Météo France concernant les intensités pluvieuses à proximité de la zone d'étude



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 heure – Méthode GEV Locale-Régionale

Statistiques sur la période 1982-2016

STRASBOURG-ENTZHEIM (67)

Indicatif : 67124001, alt : 150 m., lat : 48°32'54"N, lon : 07°38'24"E

L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale-Régionale GEV :

- contient 160 valeurs maximales annuelles
- provient également des 8 stations : 67482001 (STRASBOURG_BOTA), 67519001 (LA_WANTZENAU_SA), 67516001 (WALTENHEIM-SUR-), 67462004 (SELESTAT_SA), 57168001 (PHALSBOURG_SAPC), 67498001 (UHRWILLER), 67476002 (STATTMATTEN_SA), 67186001 (HEGENEY_SA) situées sur un rayon de 38.5 km

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	26.6 mm	24.6 mm	28.8 mm
10 ans	32.2 mm	29.9 mm	35.3 mm
20 ans	38.1 mm	35.3 mm	42.5 mm
30 ans	41.8 mm	38.6 mm	47.2 mm
50 ans	46.6 mm	42.9 mm	53.6 mm
75 ans	50.6 mm	46.5 mm	59.3 mm
100 ans	53.6 mm	49.1 mm	63.5 mm

Paramètre de forme $k = -0.12$

Paramètre d'échelle = 5.92 Paramètre de localisation = 16.81

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE.

Station	Hauteur observée	Date
57168001 (PHALSBOURG_SAPC)	54.2 mm	10/07/2010
67124001 (STRASBOURG-ENTZHEIM)	46.0 mm	18/08/1986
67186001 (HEGENEY_SA)	45.2 mm	08/05/2003
67186001 (HEGENEY_SA)	44.6 mm	03/07/2009
67482001 (STRASBOURG_BOTA)	44.0 mm	29/05/2008

* Les précipitations en 1 heure sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.

Page 1/2

Edité le : 05/06/2018

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE



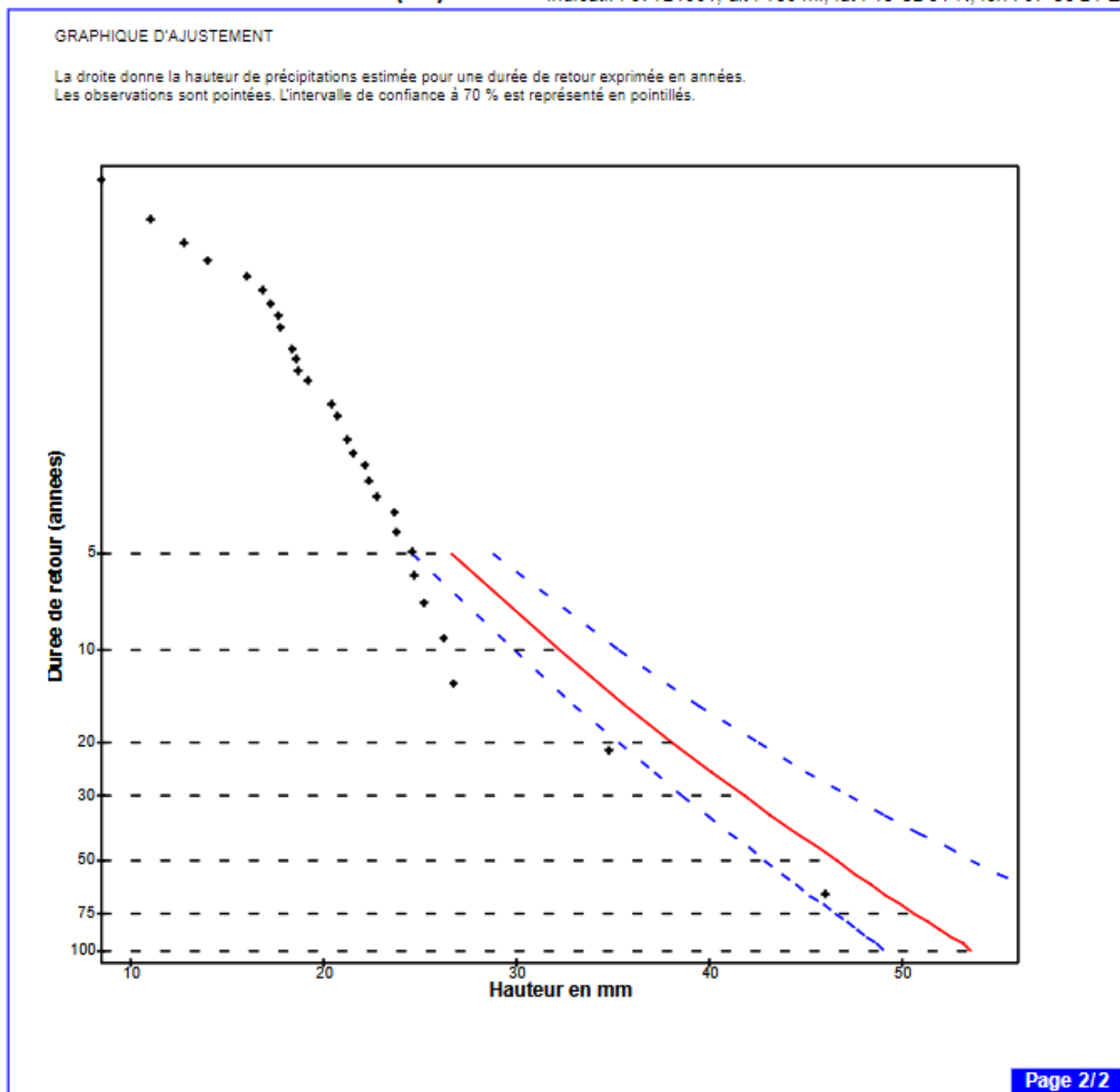
DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 heure – Méthode GEV Locale-Régionale

Statistiques sur la période 1982-2016

STRASBOURG-ENTZHEIM (67)

Indicatif : 67124001, alt : 150 m., lat : 48°32'54"N, lon : 07°38'24"E



Page 2/2

Edité le : 05/06/2018

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 heure – Méthode GEV Locale-Régionale

Statistiques sur la période 2000-2016

STRASBOURG – BOTANIQUE (67)

Indicatif : 67482001, alt : 139 m., lat : 48°34'54"N, lon : 07°46'06"E

L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale-Régionale GEV :

- contient 160 valeurs maximales annuelles
- provient également des 8 stations : 67519001 (LA_WANTZENAU_SA), 67124001 (STRASBOURG-ENTZ), 67516001 (WALTENHEIM-SUR-), 67476002 (STATTMATTEN_SA), 67186001 (HEGENEY_SA), 67498001 (UHRWILLER), 57168001 (PHALSBURG_SAPC), 67462004 (SELESTAT_SA) situées sur un rayon de 40.6 km

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	27.3 mm	24.3 mm	31.0 mm
10 ans	33.1 mm	29.5 mm	38.0 mm
20 ans	39.1 mm	34.9 mm	45.6 mm
30 ans	42.9 mm	38.2 mm	50.4 mm
50 ans	47.8 mm	42.6 mm	57.1 mm
75 ans	52.0 mm	46.1 mm	62.9 mm
100 ans	55.1 mm	48.6 mm	67.1 mm

Paramètre de forme $k = -0.12$

Paramètre d'échelle = 6.08 Paramètre de localisation = 17.25

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Station	Hauteur observée	Date
57168001 (PHALSBURG_SAPC)	54.2 mm	10/07/2010
67124001 (STRASBOURG-ENTZ)	46.0 mm	18/08/1988
67186001 (HEGENEY_SA)	45.2 mm	08/05/2003
67186001 (HEGENEY_SA)	44.6 mm	03/07/2009
67482001 (STRASBOURG – BOTANIQUE)	44.0 mm	29/05/2008

* Les précipitations en 1 heure sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.

Page 1/2

Edité le : 05/06/2018

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Direction de la Production
42 avenue Gustave Coriolis 31057 Toulouse Cedex
Fax : 05 61 07 80 79 – Email : climattheque@meteo.fr



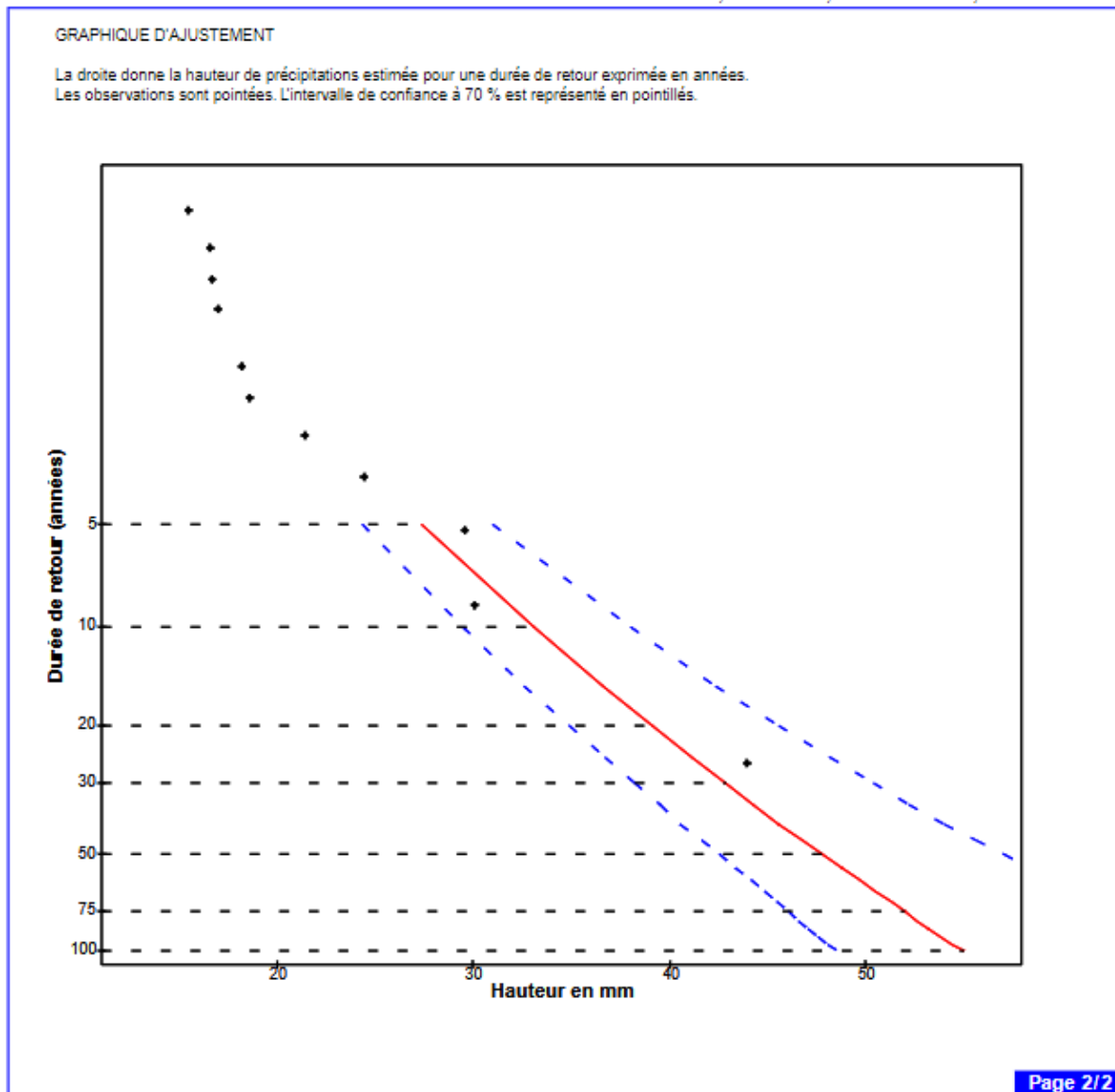
DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 heure - Méthode GEV Locale-Régionale

Statistiques sur la période 2000-2016

STRASBOURG – BOTANIQUE (67)

Indicatif : 67482001, alt : 139 m., lat : 48°34'54"N, lon : 07°46'06"E



Page 2/2

Edité le : 05/06/2018

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Direction de la Production
42 avenue Gustave Coriolis 31057 Toulouse Cedex
Fax : 05 61 07 80 79 – Email : climatheque@meteo.fr

DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 heure – Méthode GEV Locale-Régionale

Statistiques sur la période 1991-2013

LA WANTZENAU SA (67)

Indicatif : 67519001, alt : 135 m., lat : 48°38'00"N, lon : 07°49'54"E

L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale-Régionale GEV :

- contient 160 valeurs maximales annuelles
- provient également des 8 stations : 67482001 (STRASBOURG_BOTA), 67124001 (STRASBOURG-ENTZ), 67516001 (WALTENHEIM-SUR-), 67476002 (STATTMATTEN_SA), 67186001 (HEGENEY_SA), 67498001 (UHRWILLER), 57168001 (PHALSBURG_SAPC), 67462004 (SELESTAT_SA) situées sur un rayon de 48 km

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	24.3 mm	21.9 mm	27.0 mm
10 ans	29.4 mm	26.6 mm	33.0 mm
20 ans	34.8 mm	31.5 mm	39.6 mm
30 ans	38.1 mm	34.5 mm	43.8 mm
50 ans	42.5 mm	38.4 mm	49.6 mm
75 ans	46.2 mm	41.5 mm	54.7 mm
100 ans	48.9 mm	43.9 mm	58.6 mm

Paramètre de forme $k = -0.12$

Paramètre d'échelle = 5.41 Paramètre de localisation = 15.34

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Station	Hauteur observée	Date
57168001 (PHALSBURG_SAPC)	54.2 mm	10/07/2010
67124001 (STRASBOURG-ENTZ)	46.0 mm	18/08/1986
67186001 (HEGENEY_SA)	45.2 mm	08/05/2003
67186001 (HEGENEY_SA)	44.6 mm	03/07/2009
67482001 (STRASBOURG_BOTA)	44.0 mm	29/05/2008

* Les précipitations en 1 heure sont issues de mesures de l'intensité des précipitations par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 24 heures glissantes.

Page 1/2

Edité le : 05/06/2018

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE



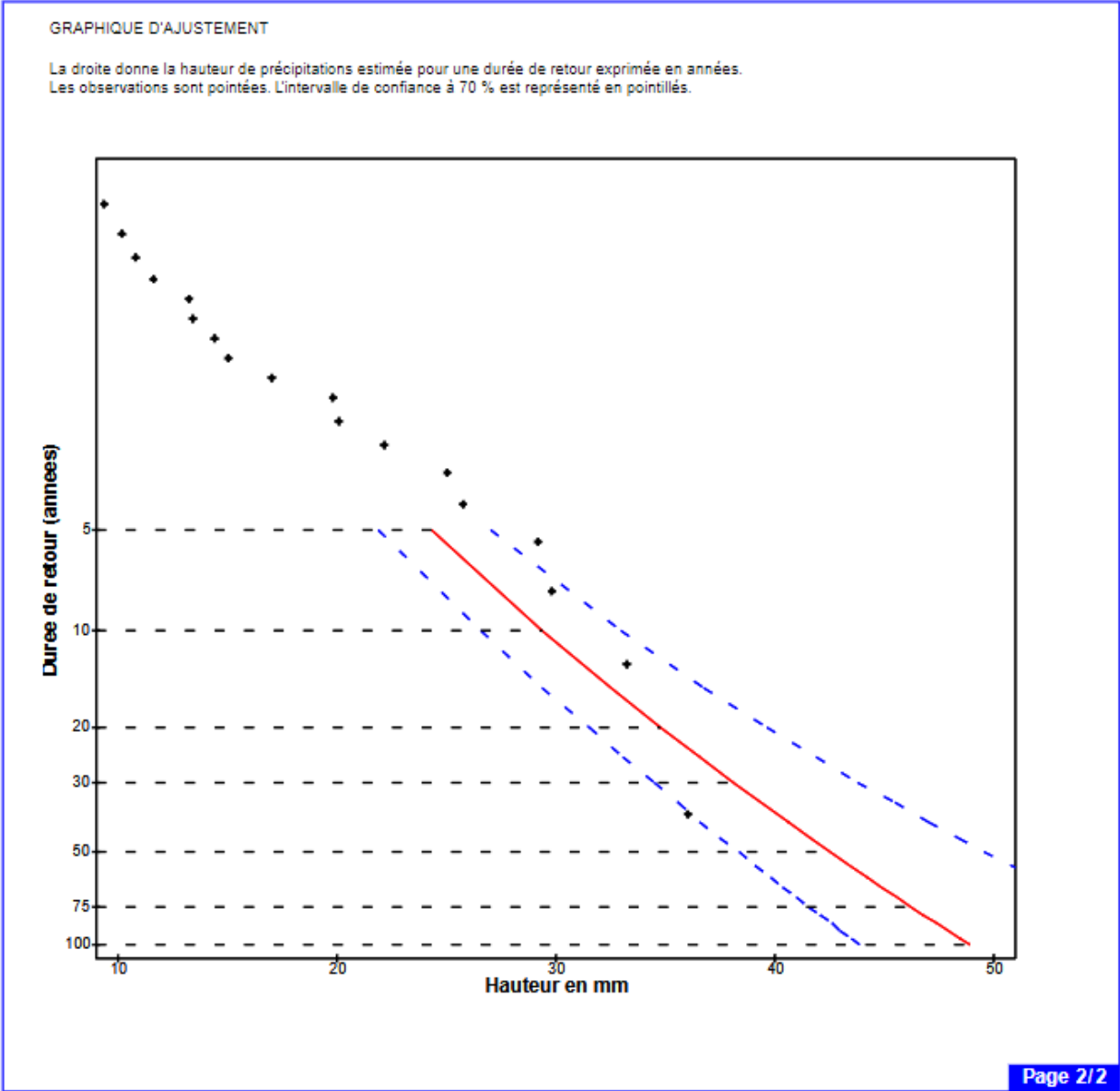
DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 heure - Méthode GEV Locale-Régionale

Statistiques sur la période 1991-2013

LA WANTZENAU SA (67)

Indicatif : 67519001, alt : 135 m., lat : 48°38'00"N, lon : 07°49'54"E



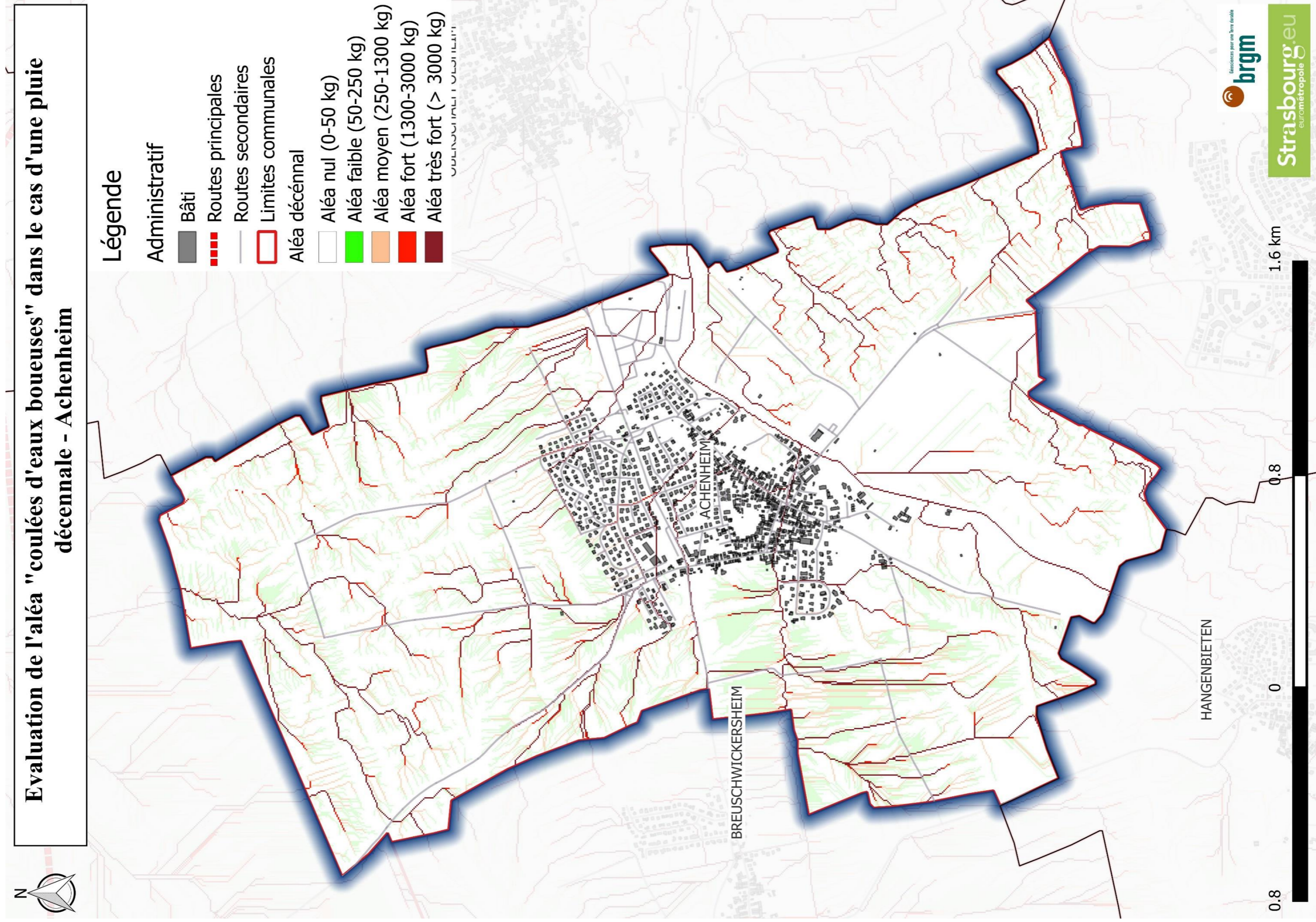
Page 2/2

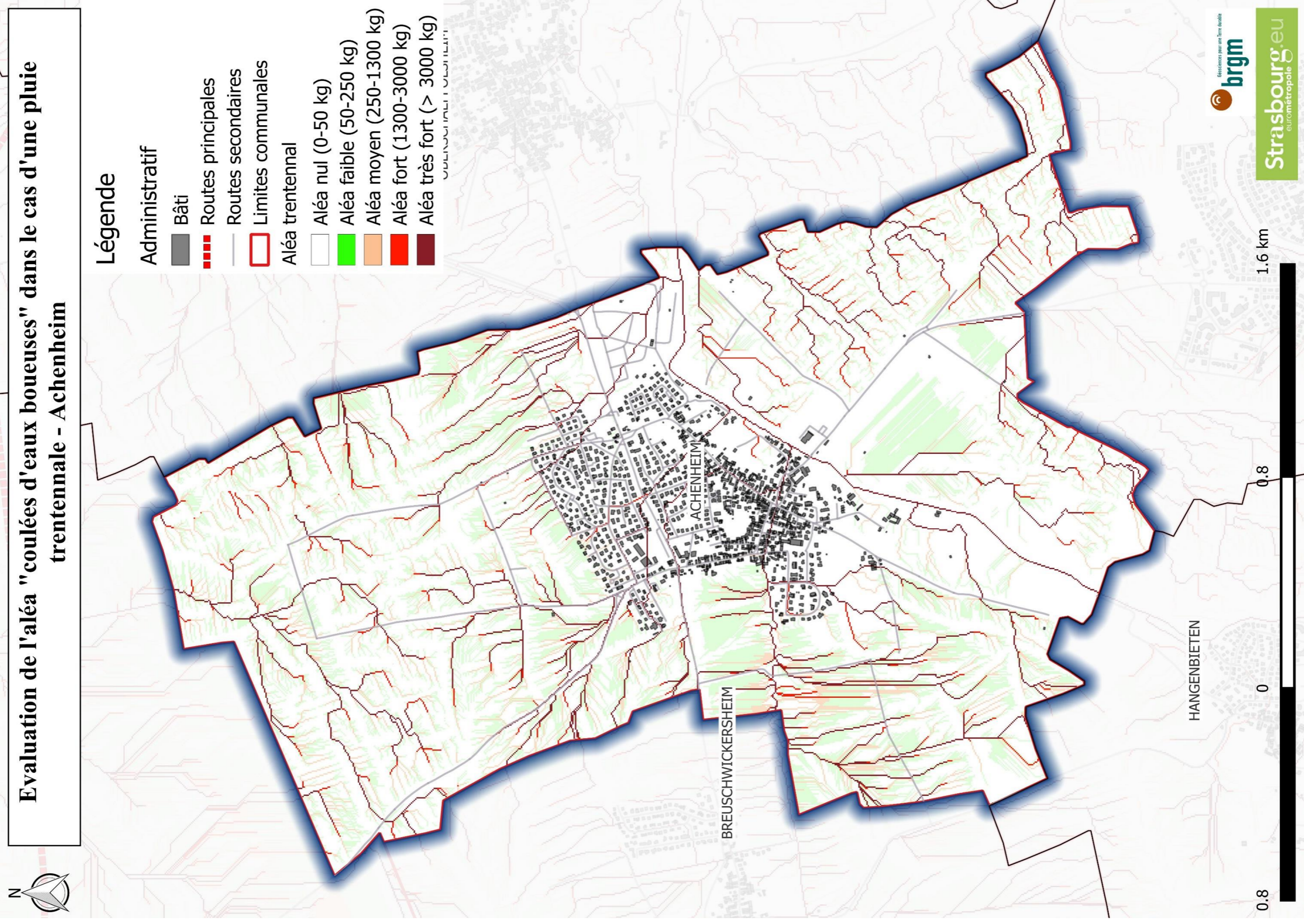
Edité le : 05/06/2018

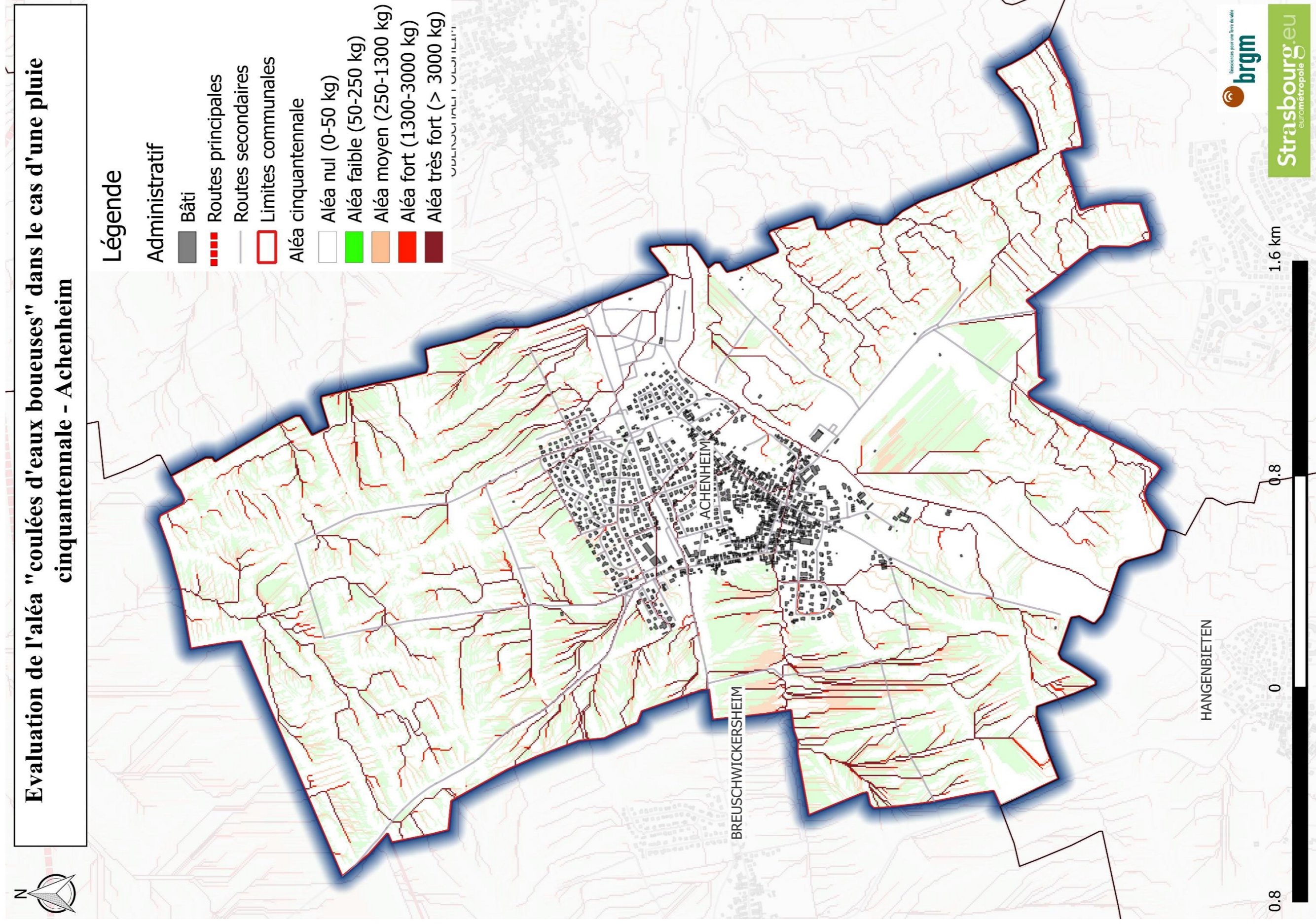
N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Annexe 4

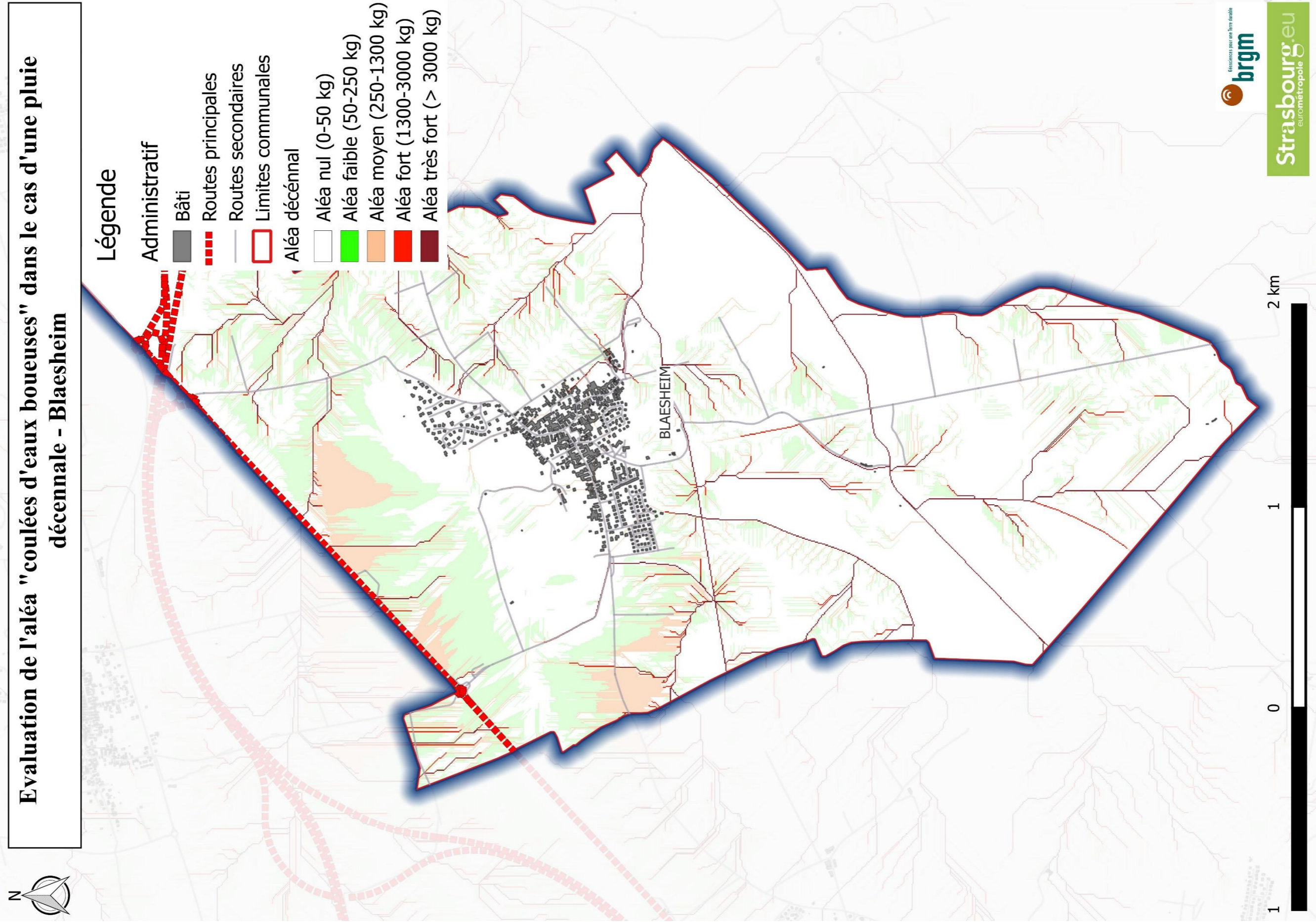
Cartographie de l'aléa coulées d'eaux boueuses sur les 14 communes de la zone d'étude

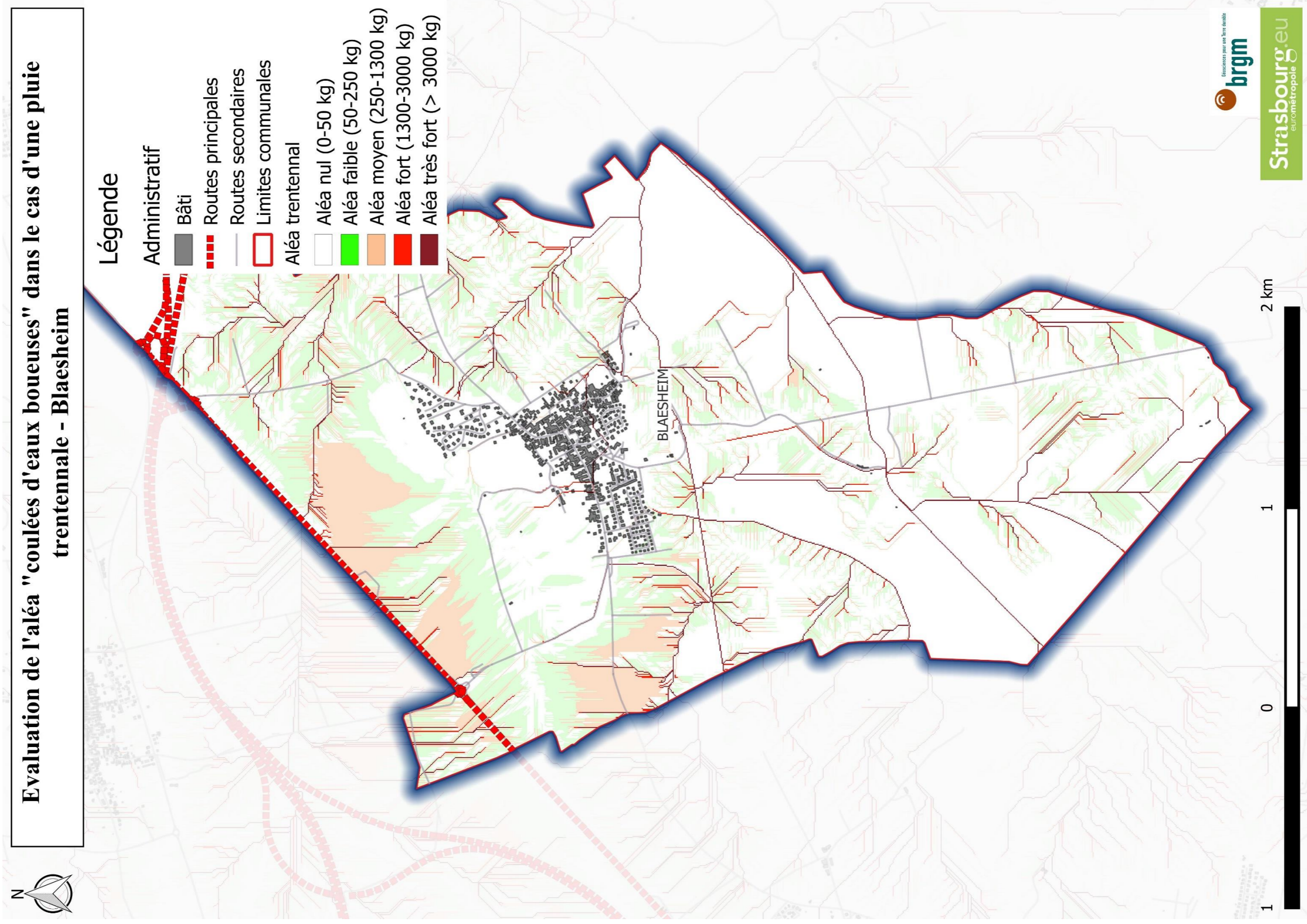




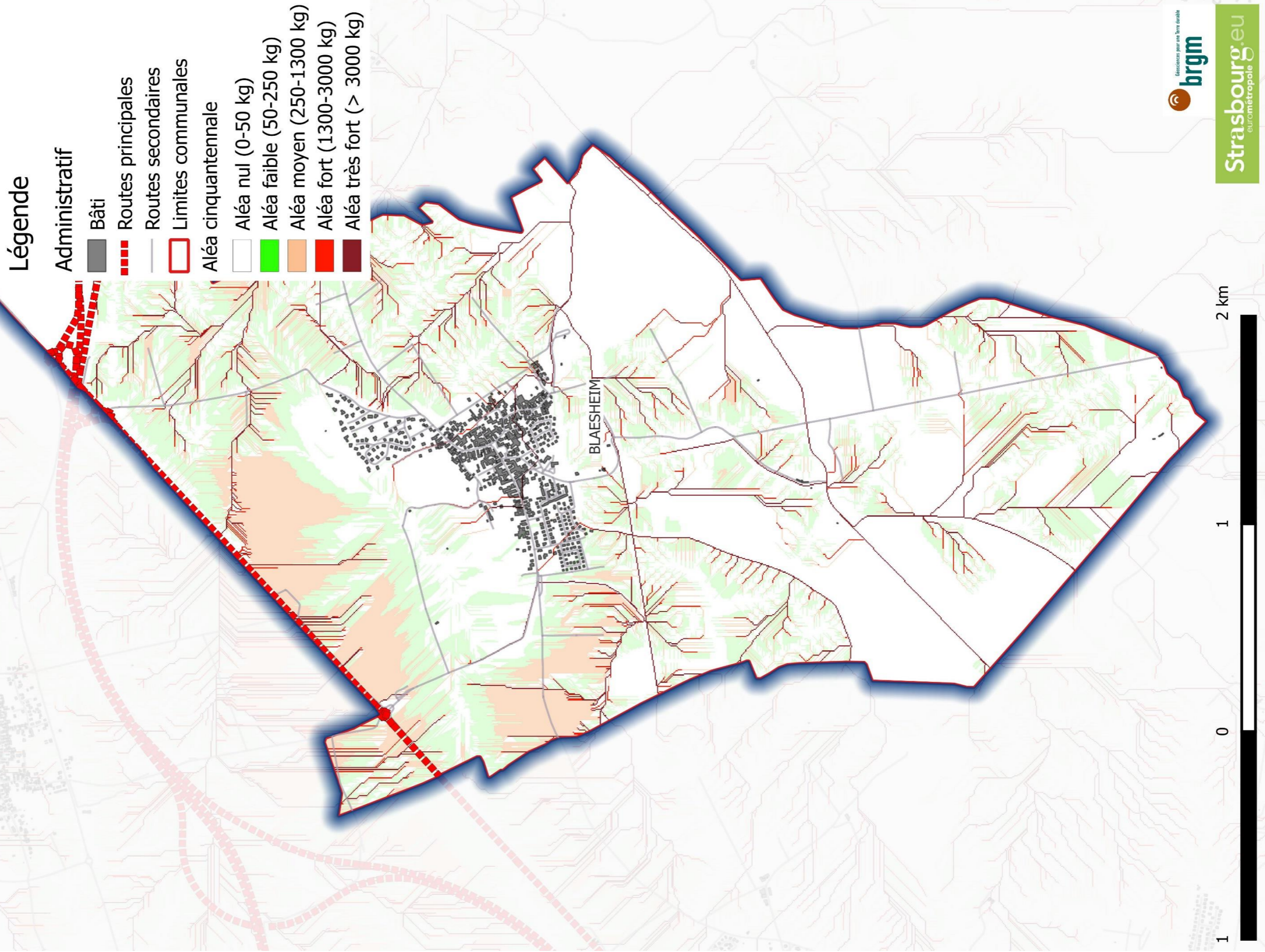


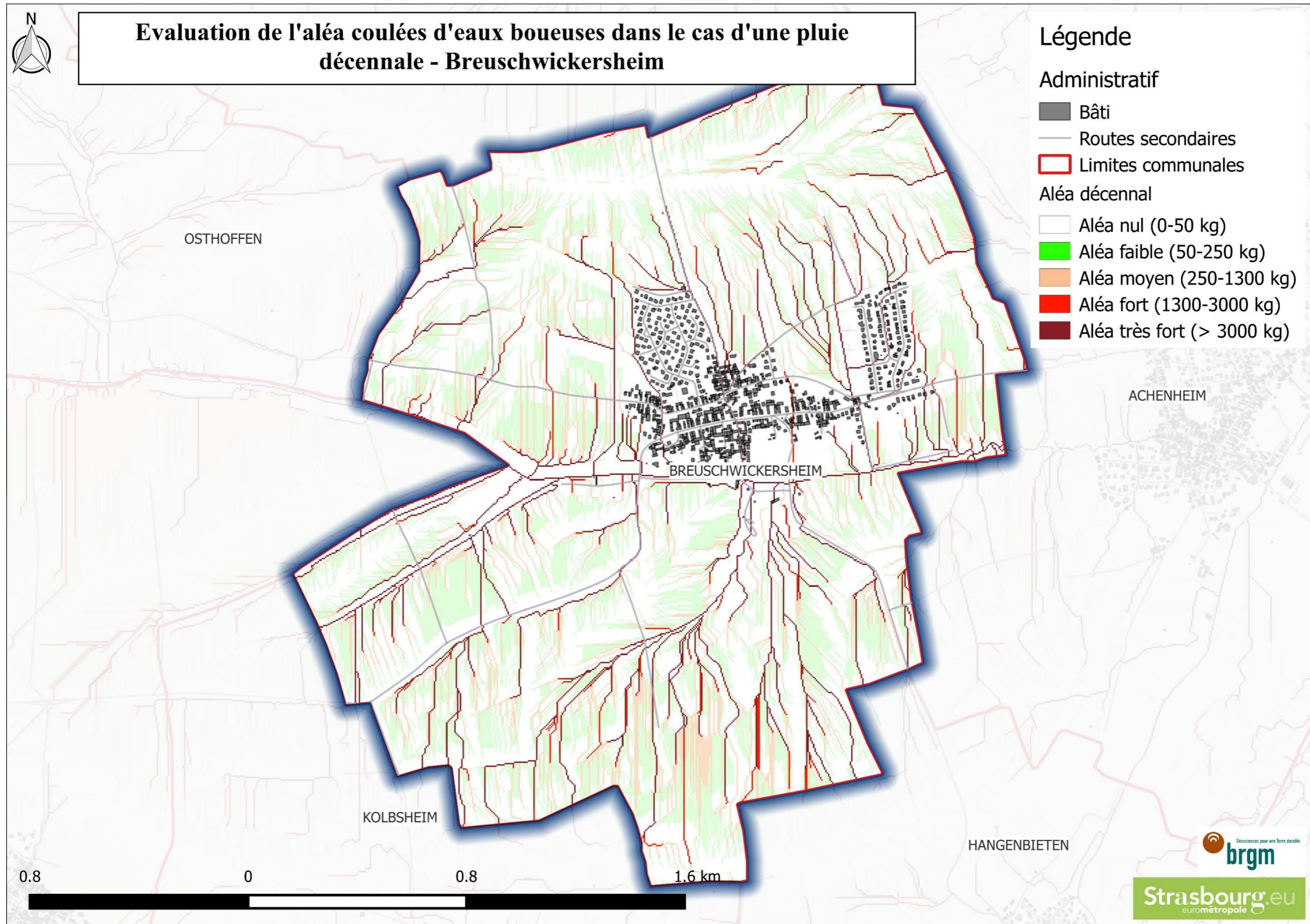
Evaluation de l'aléa "coulées d'eaux boueuses" dans le cas d'une pluie décennale - Blaesheim

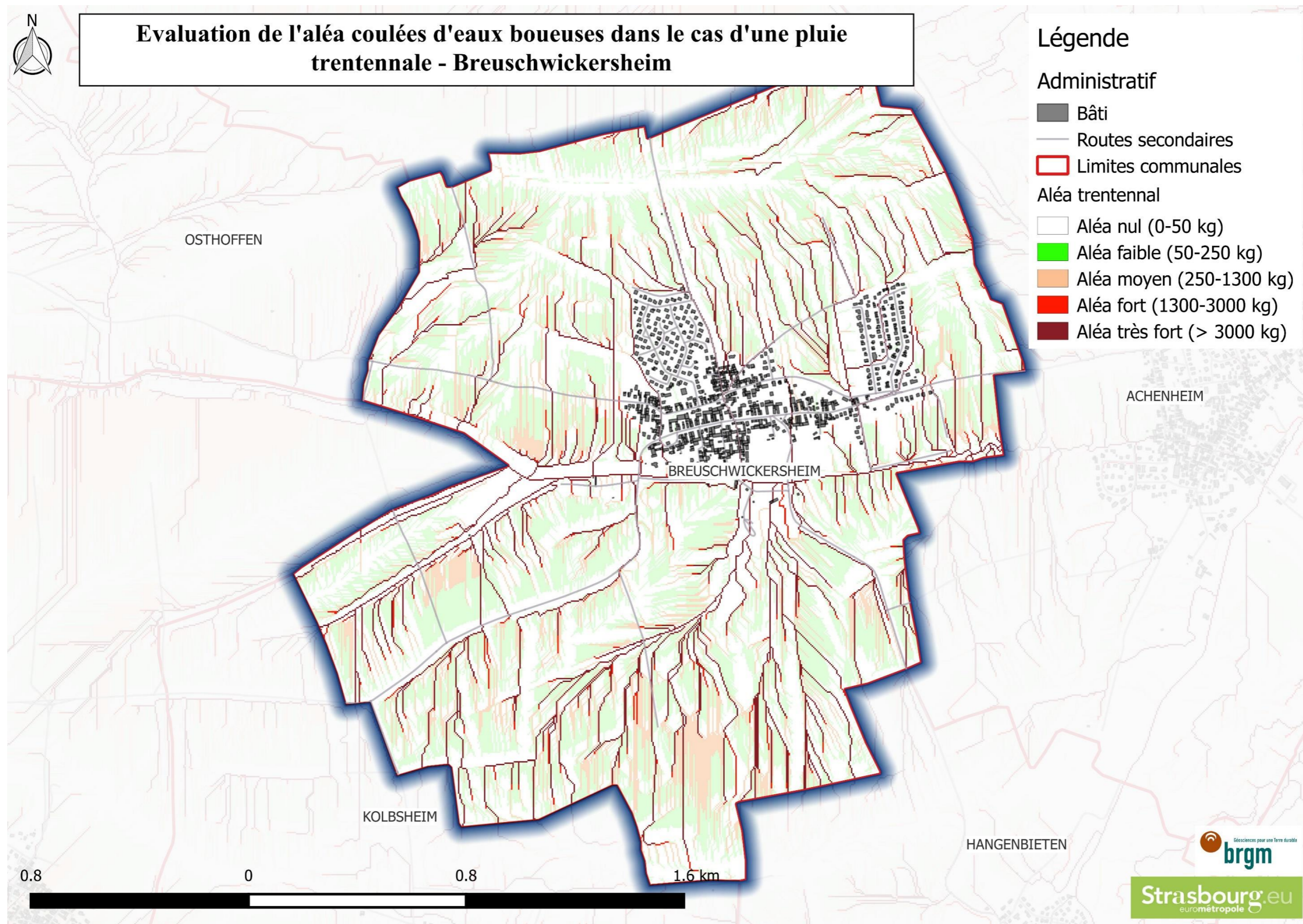


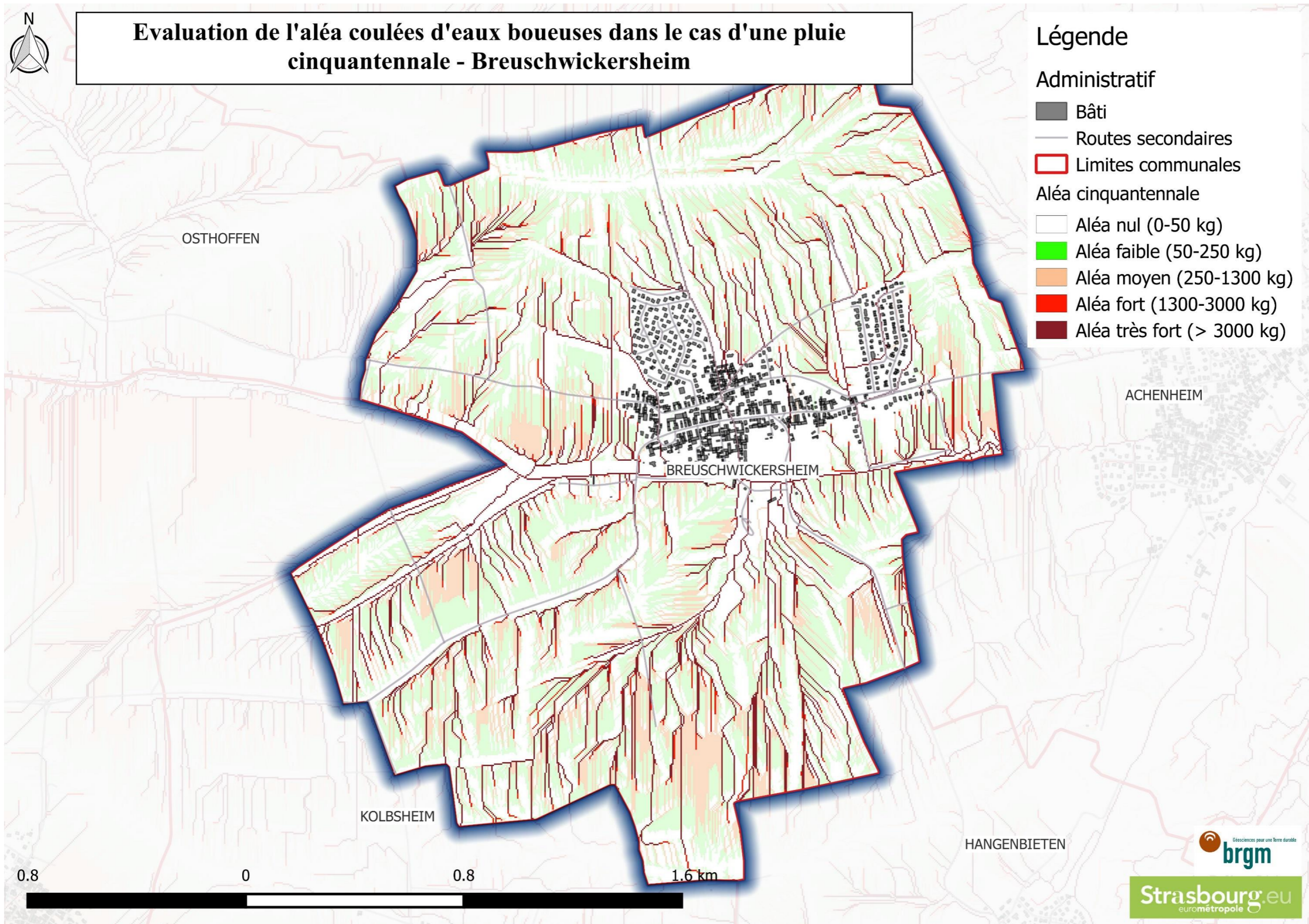


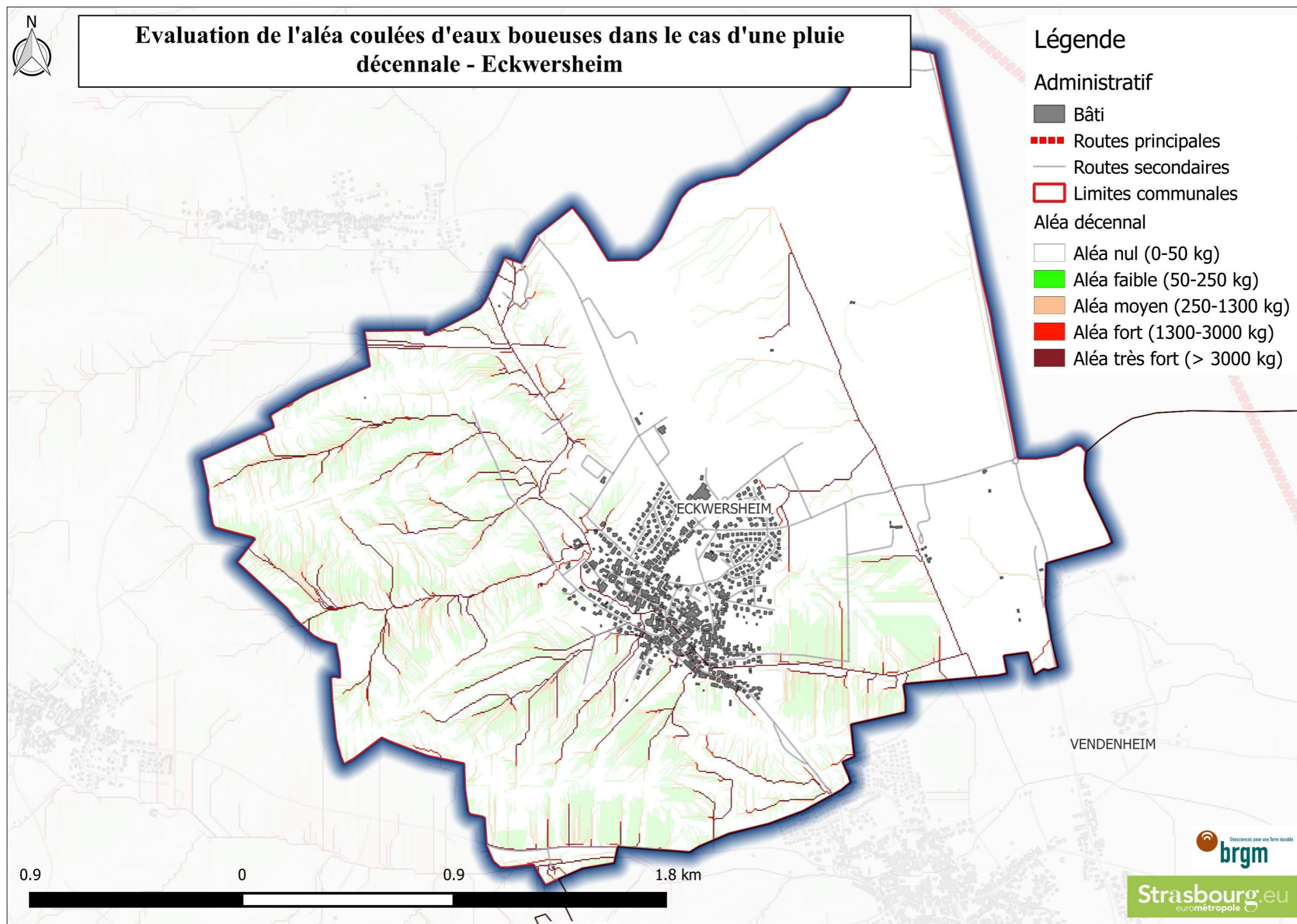
Evaluation de l'aléa "coulées d'eaux boueuses" dans le cas d'une pluie cinquantennale - Blaesheim

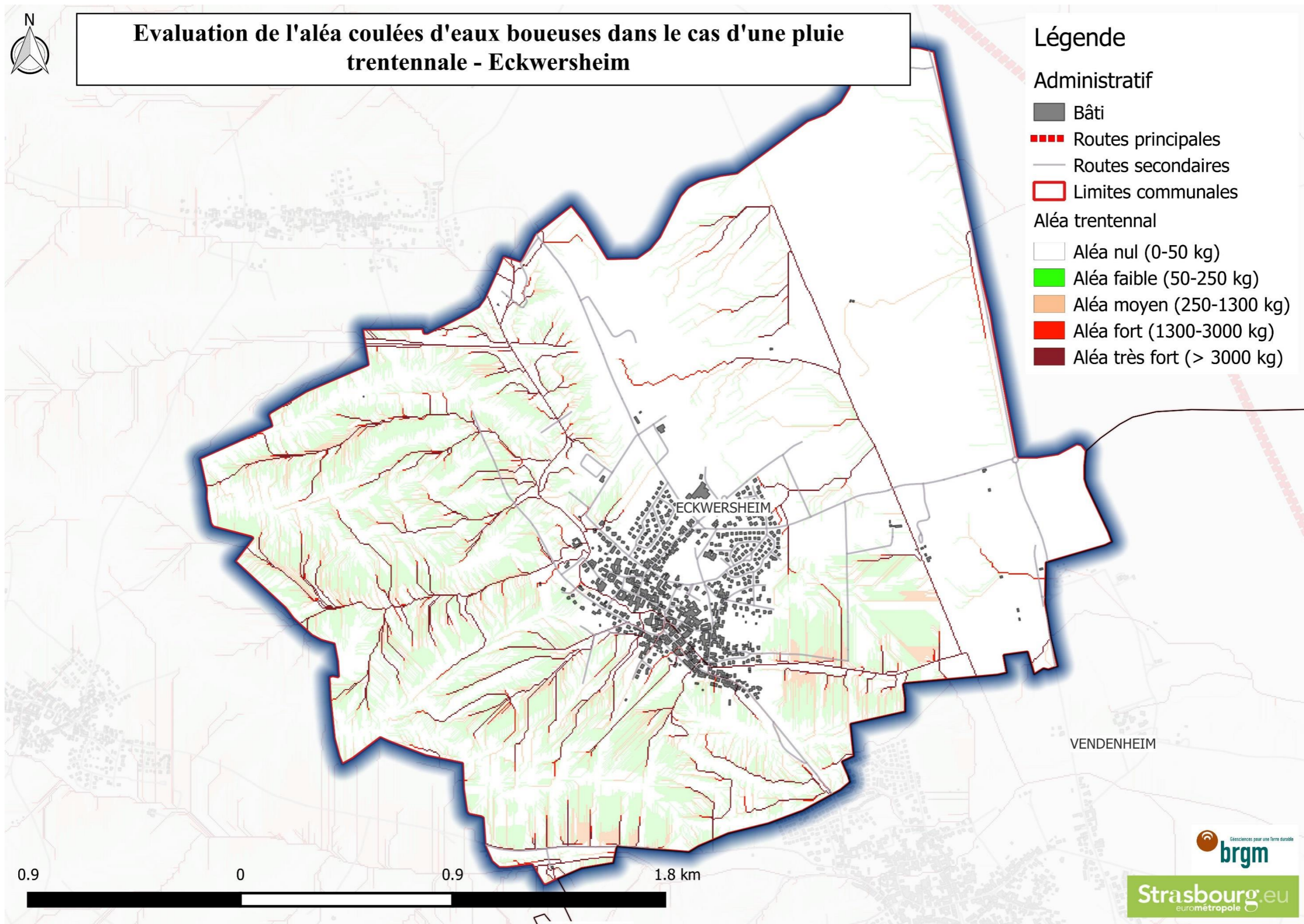


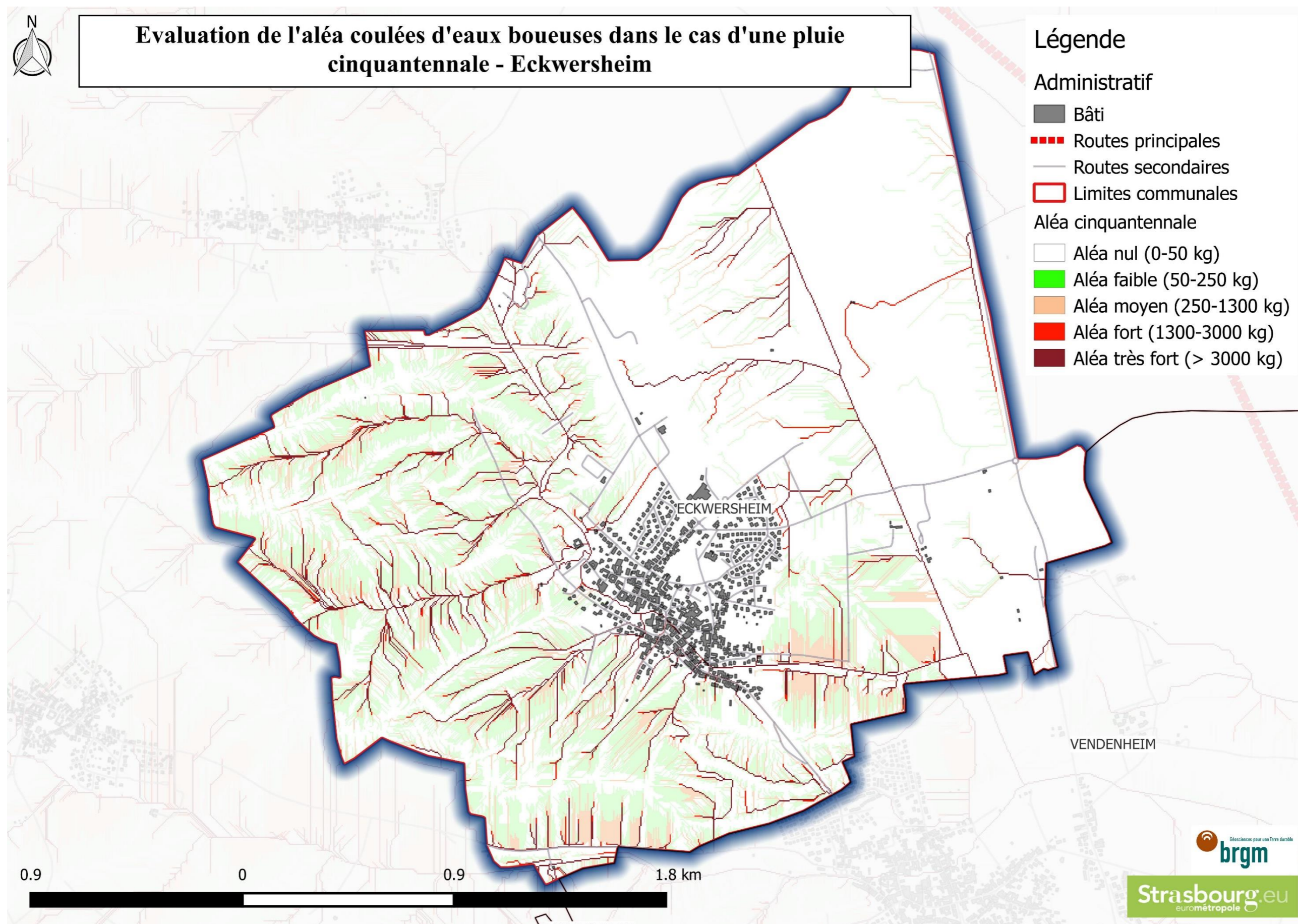


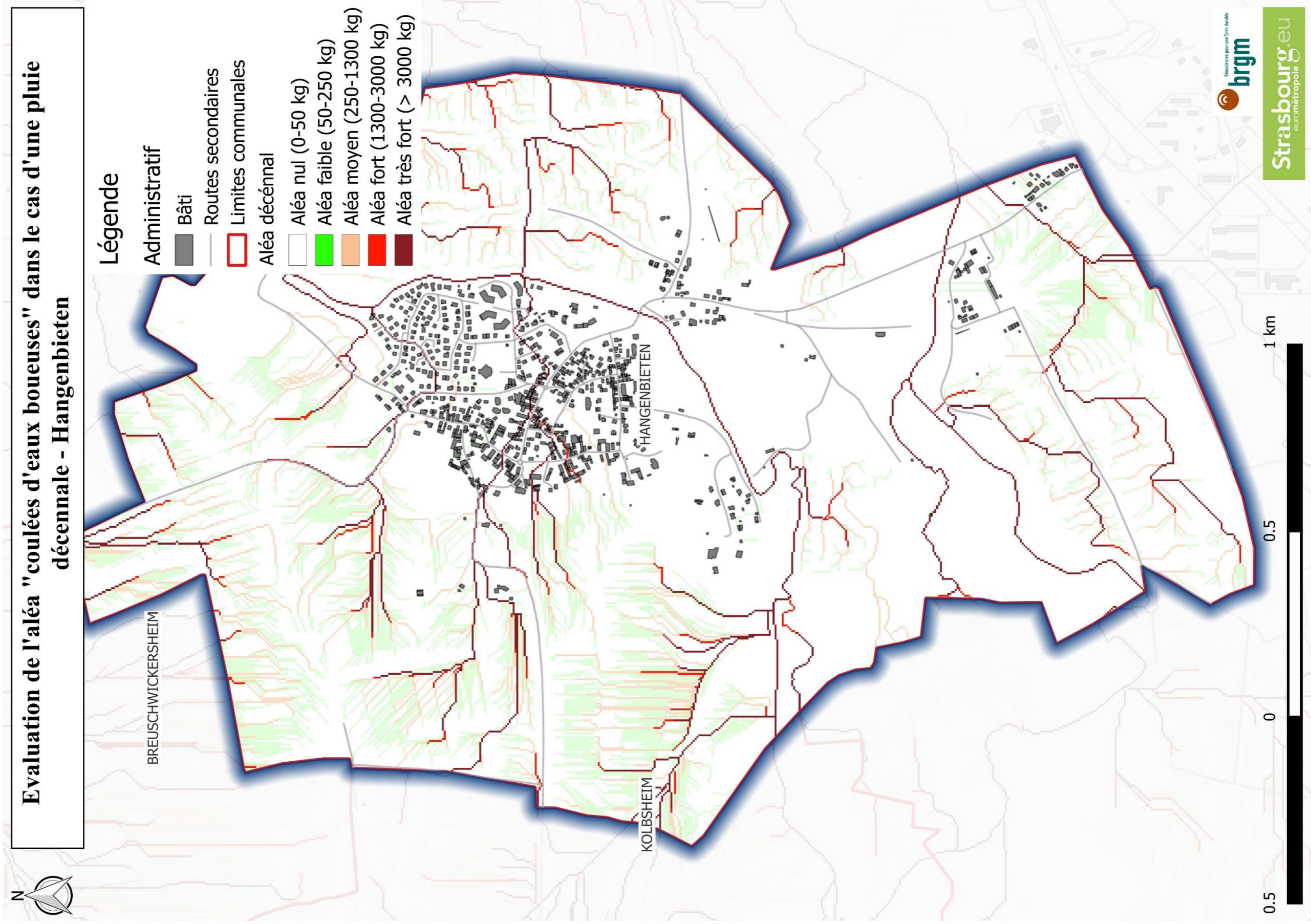


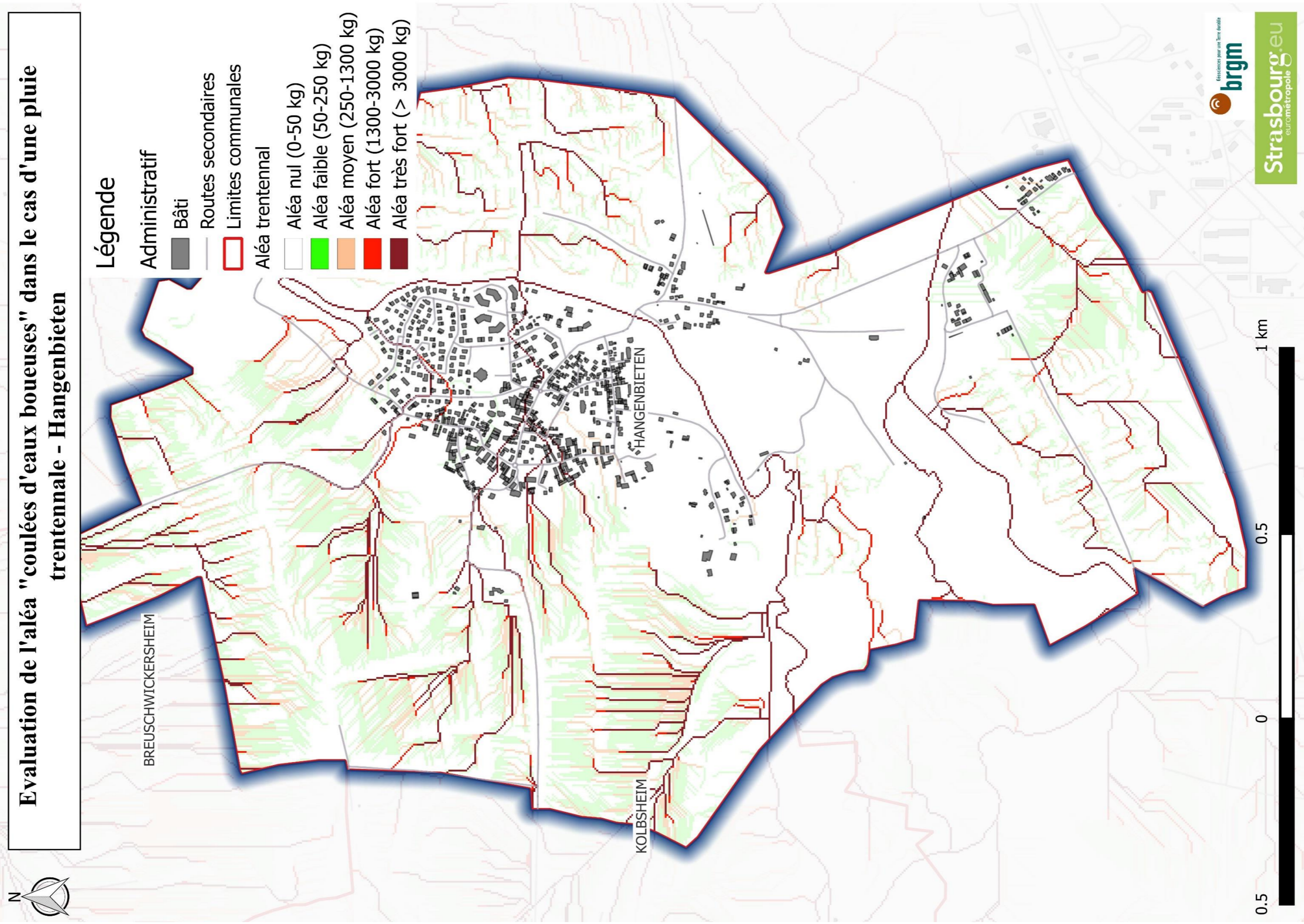


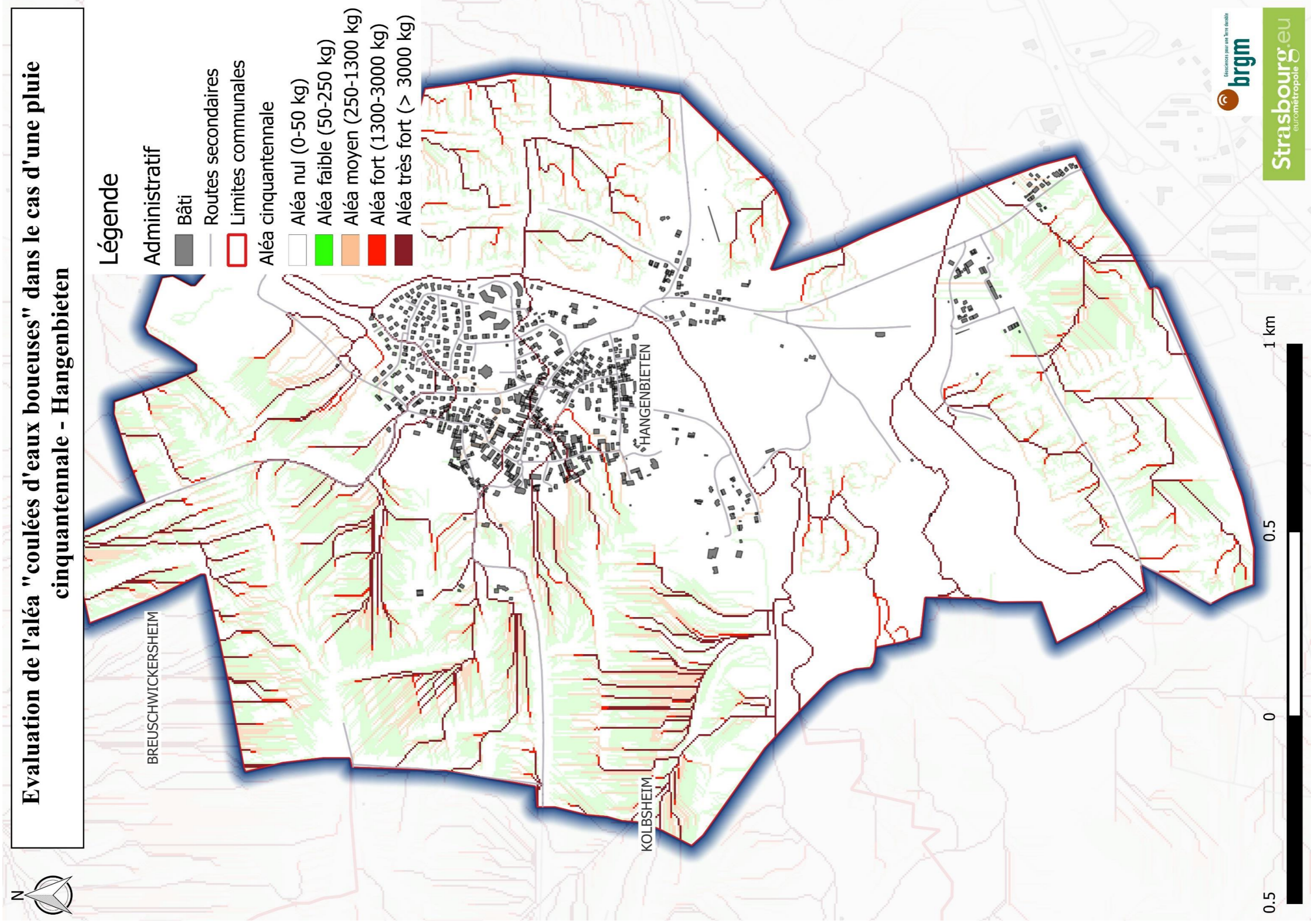


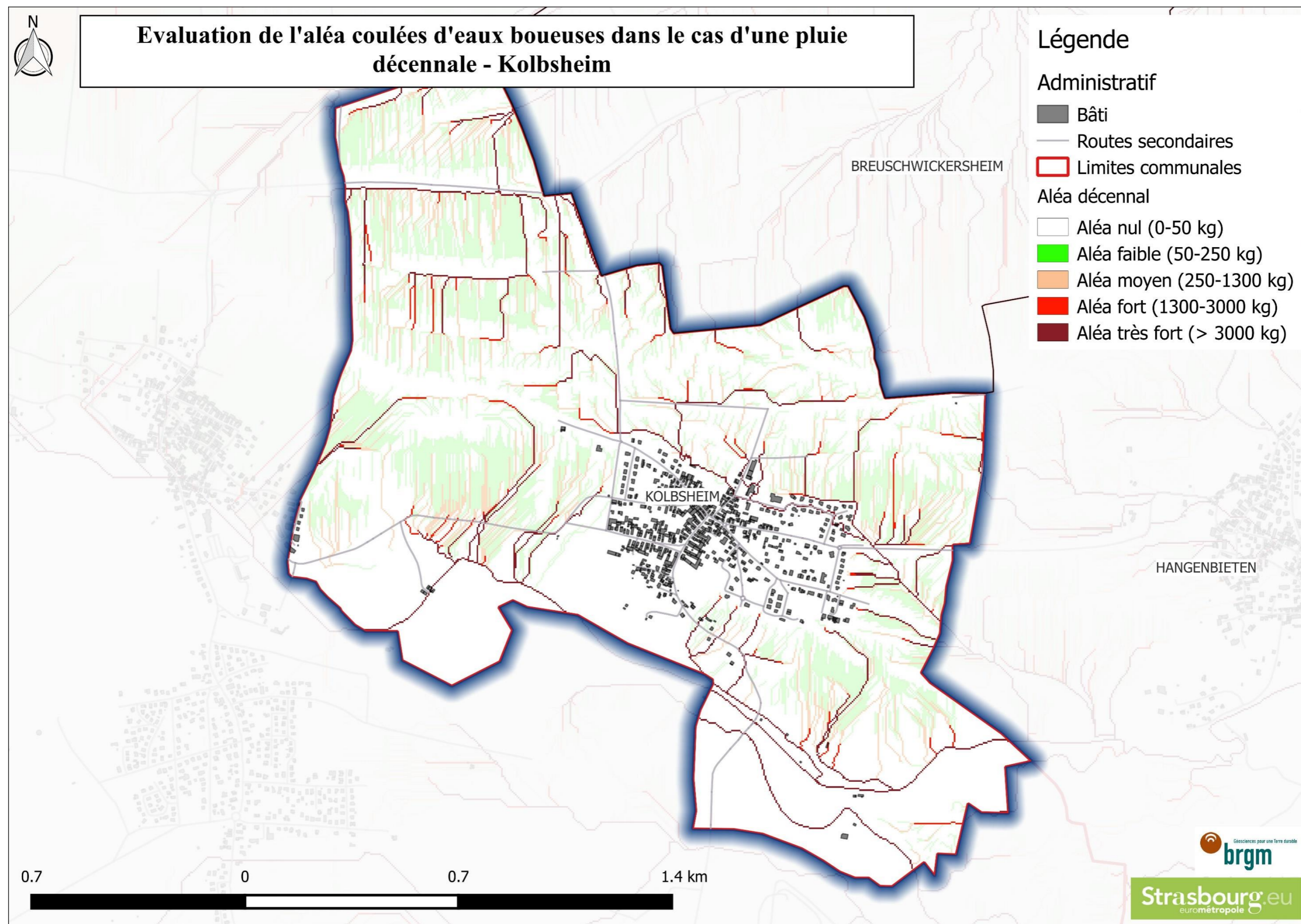


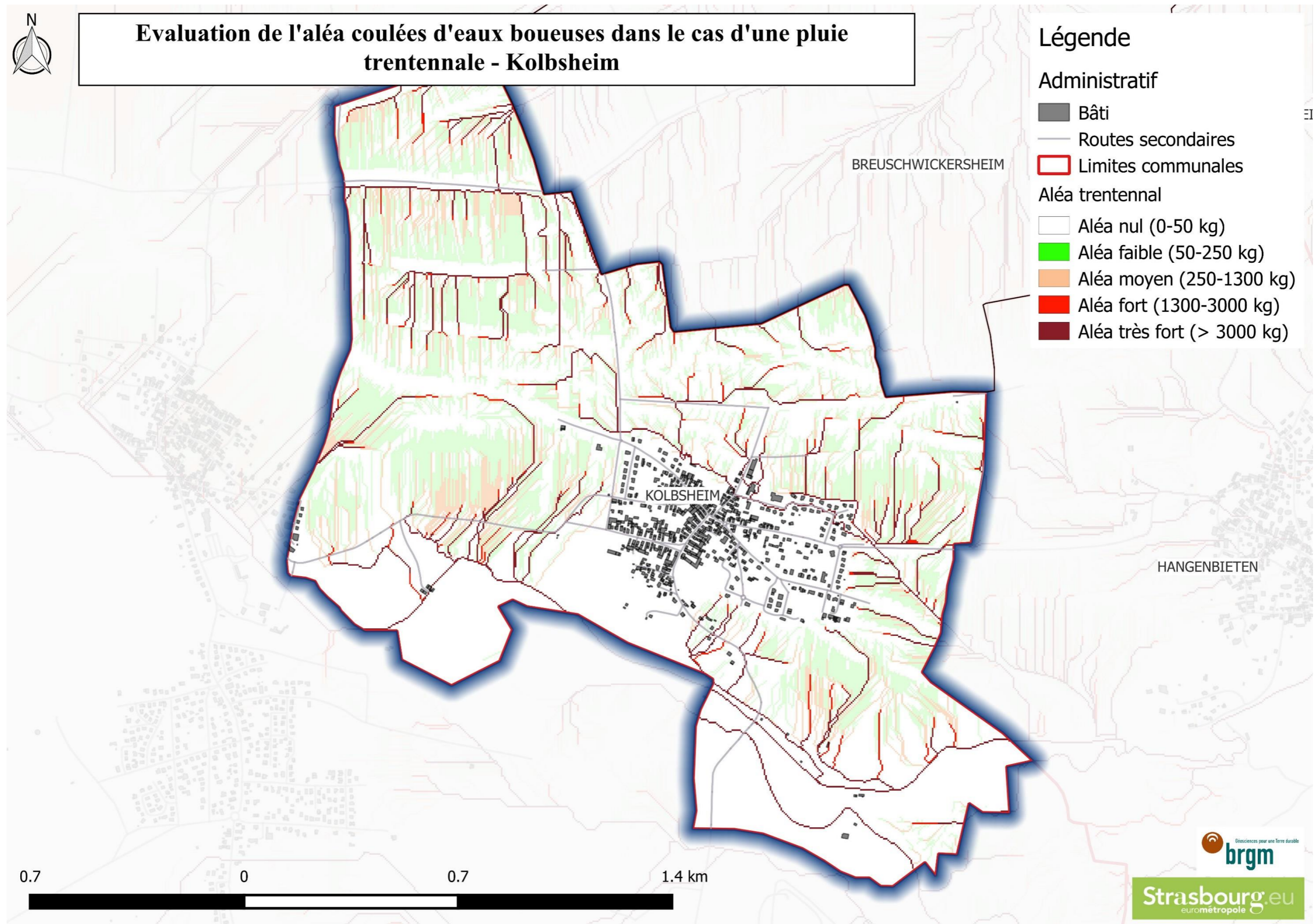


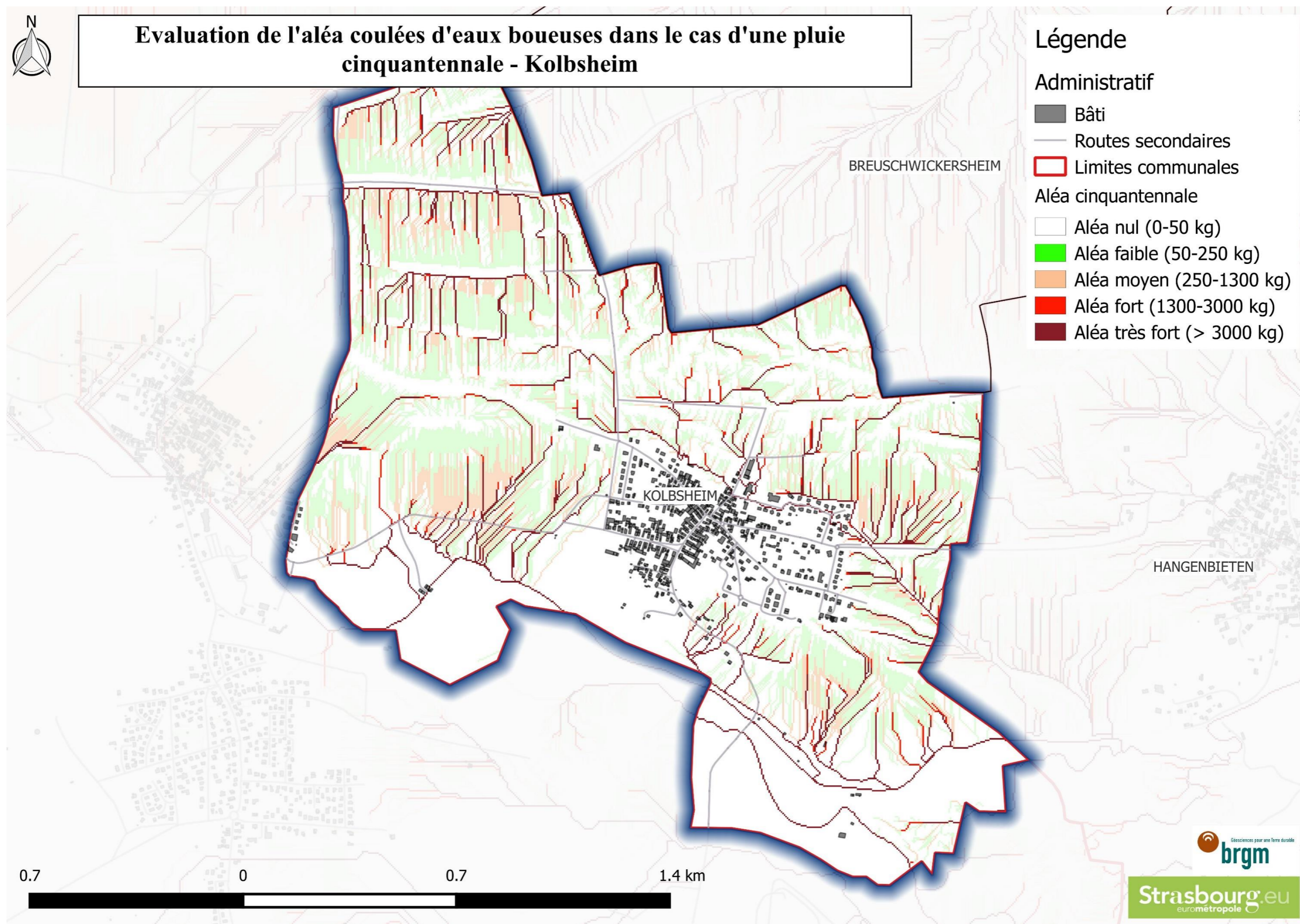


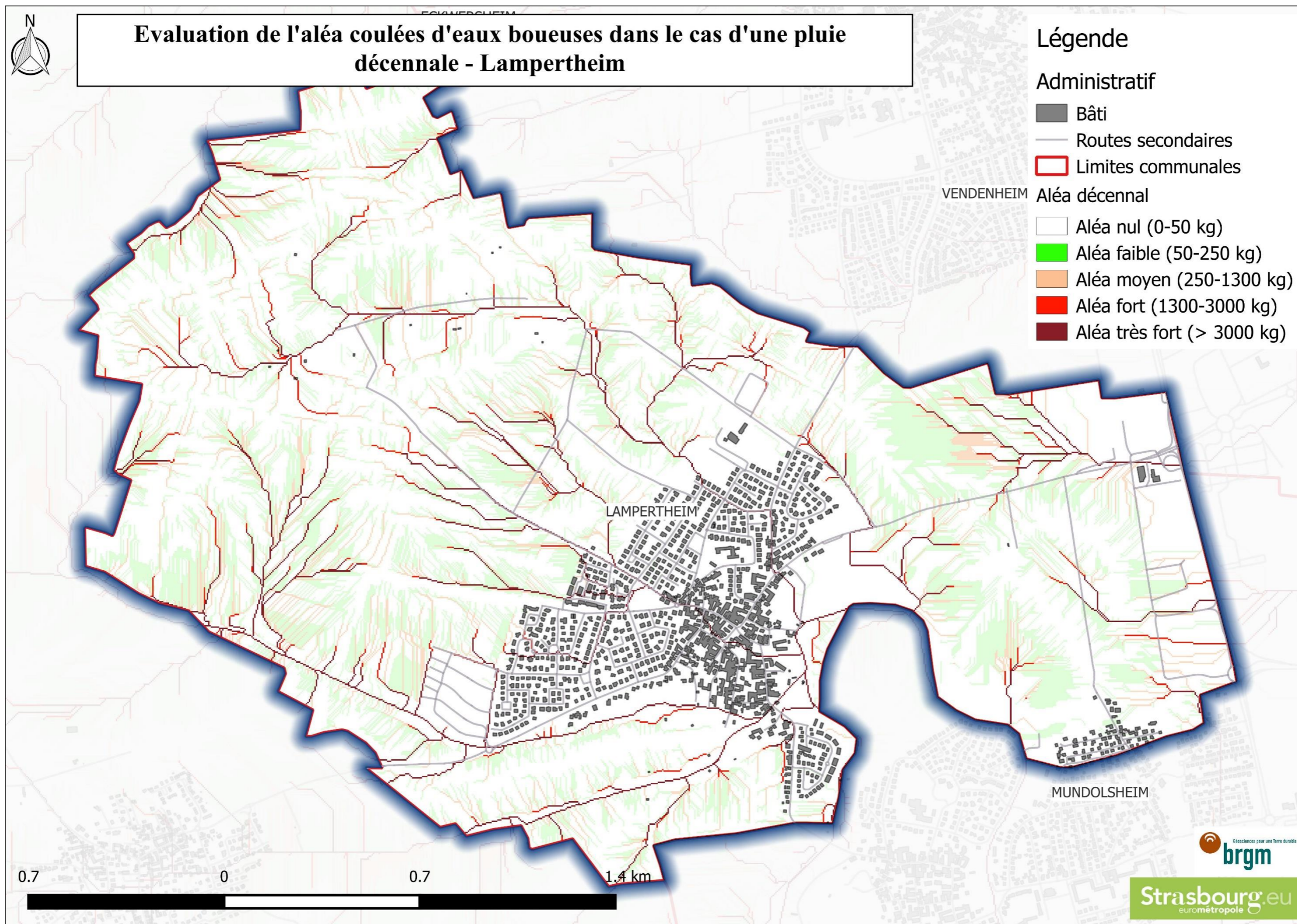


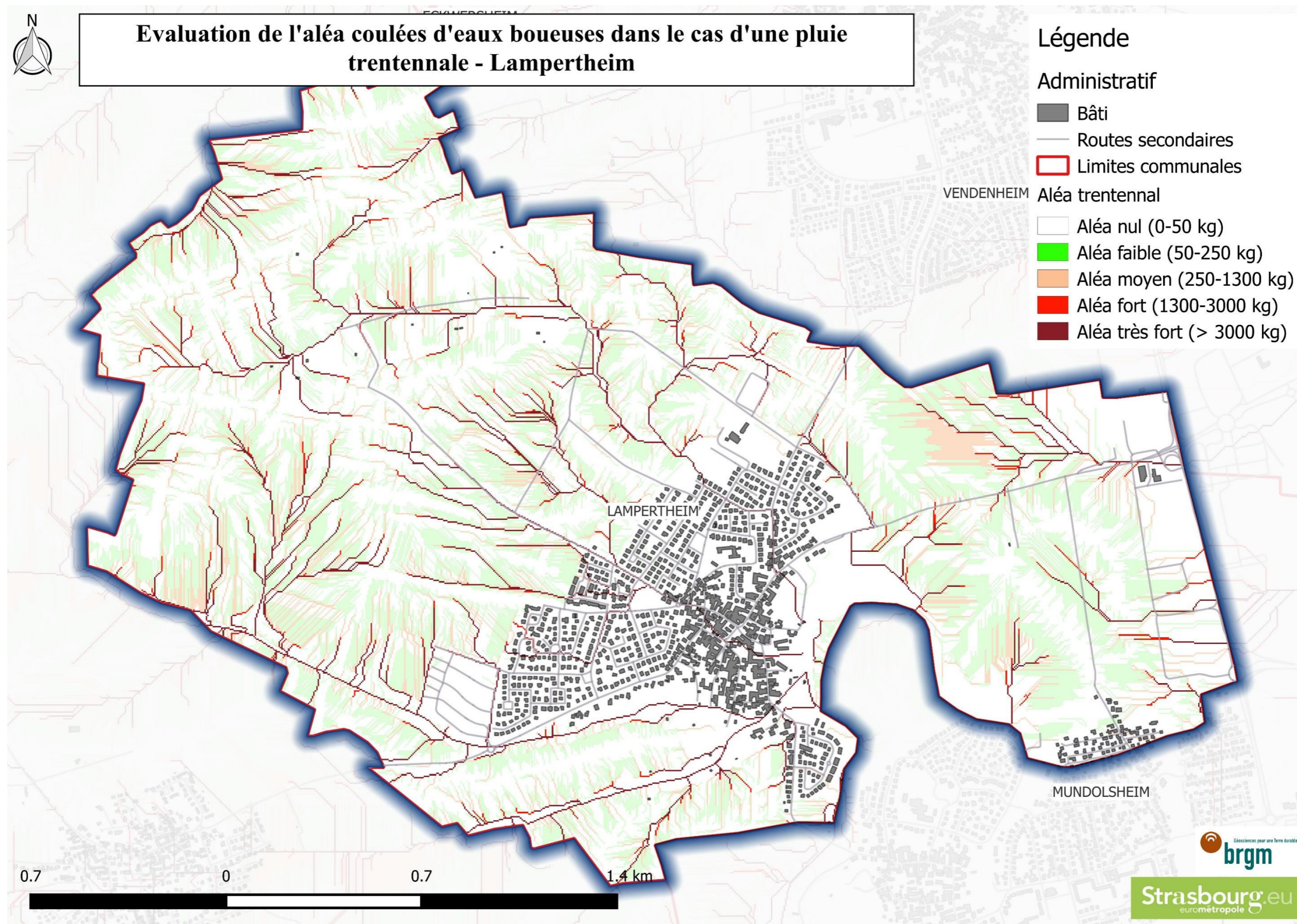


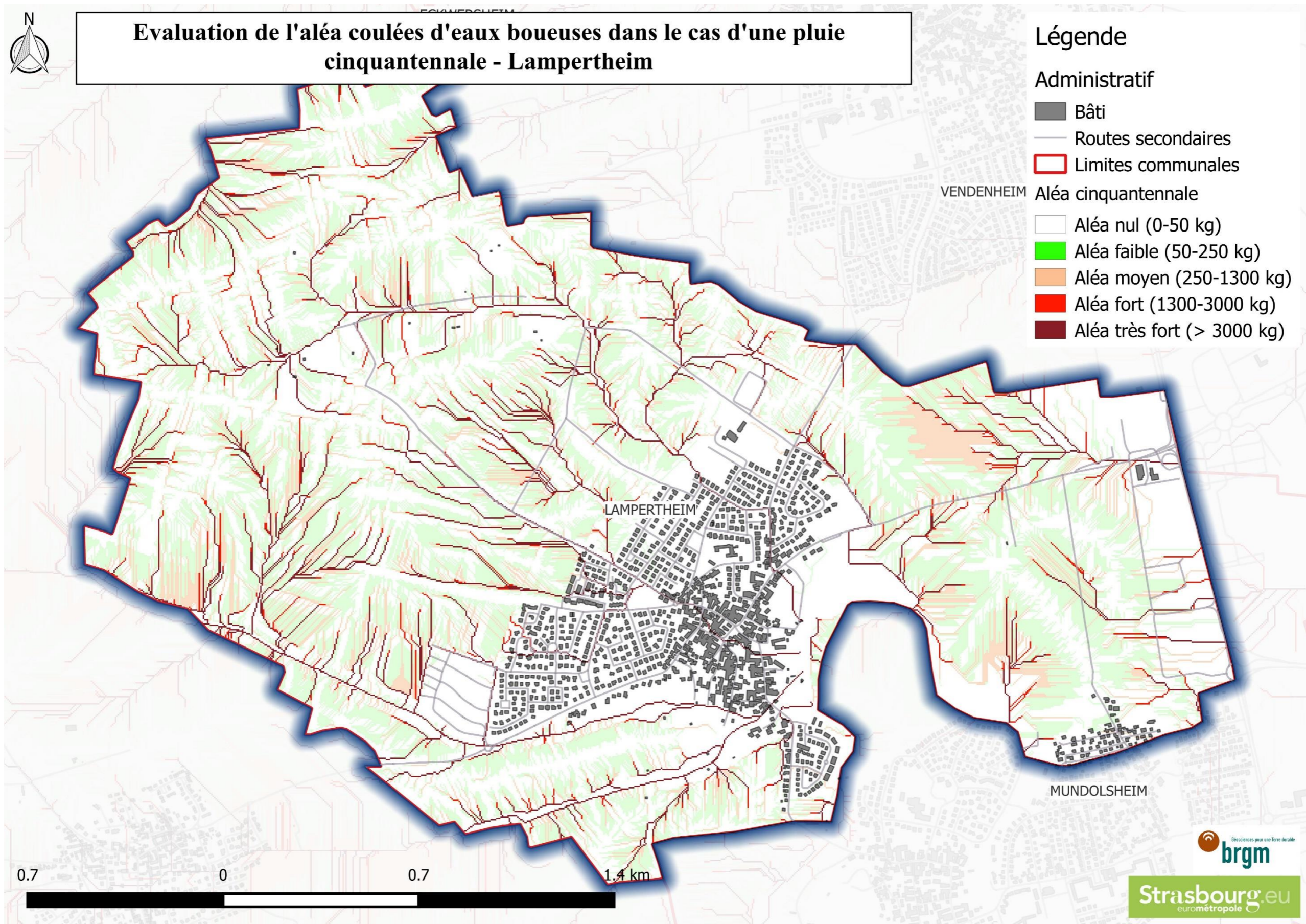


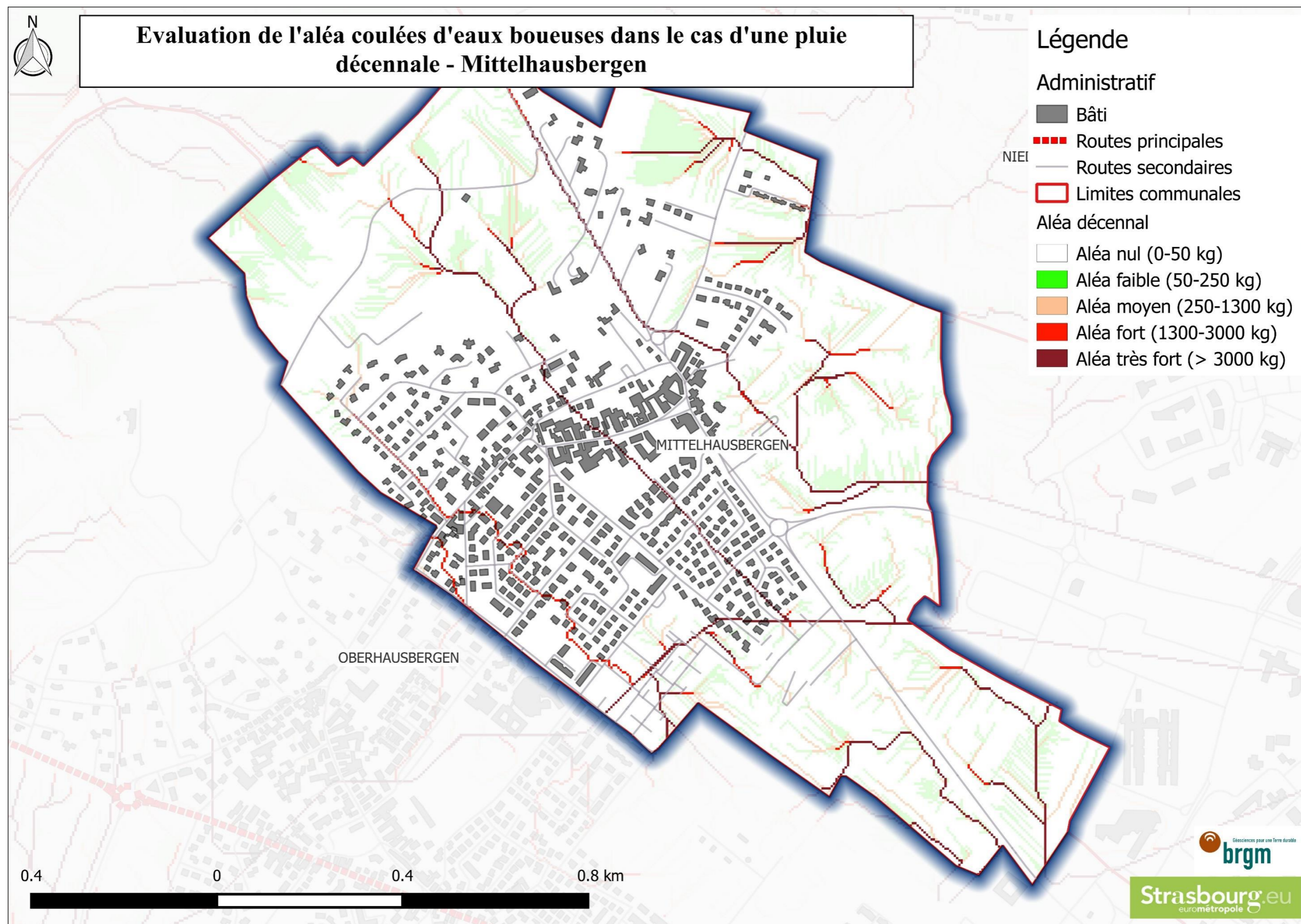


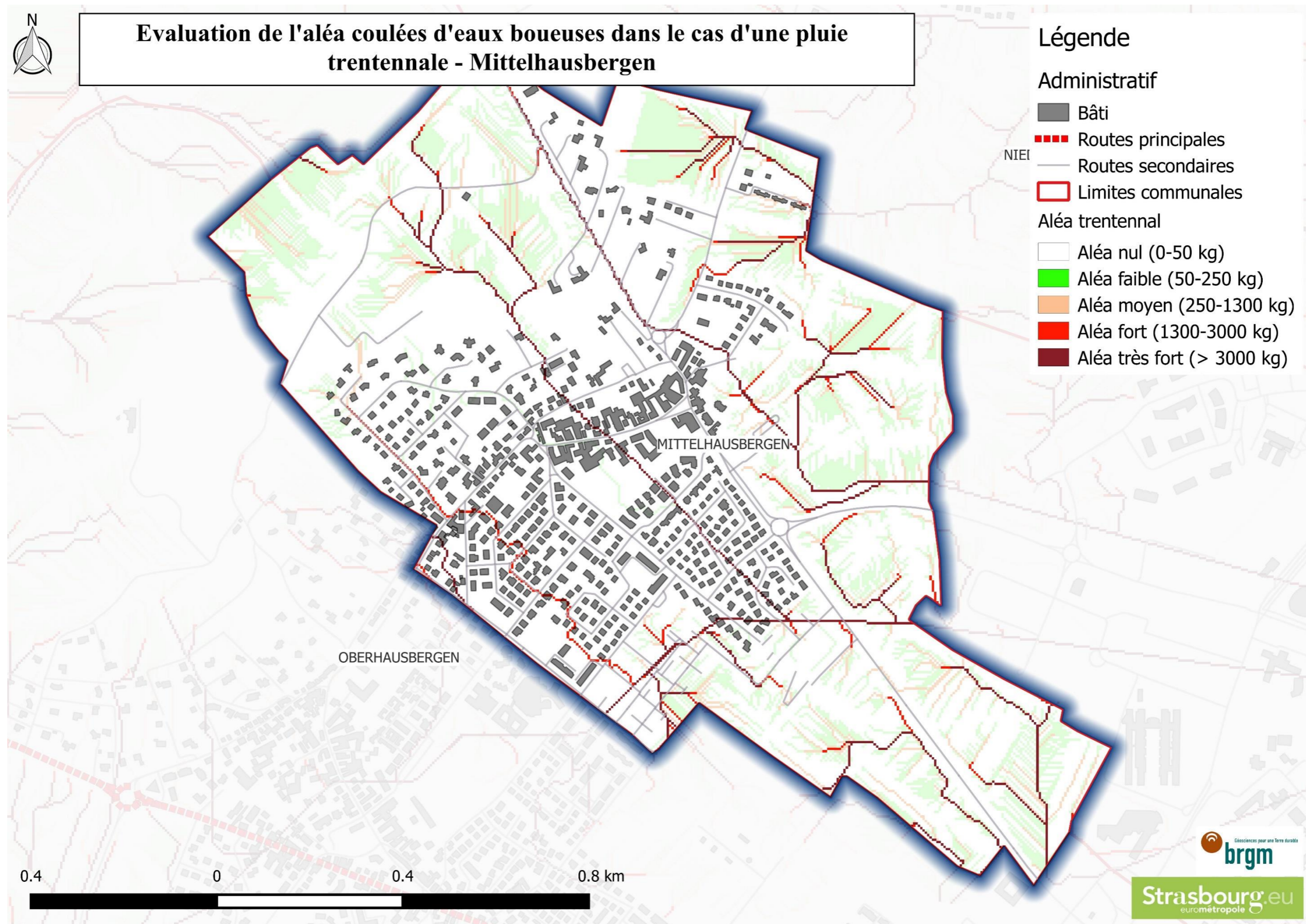


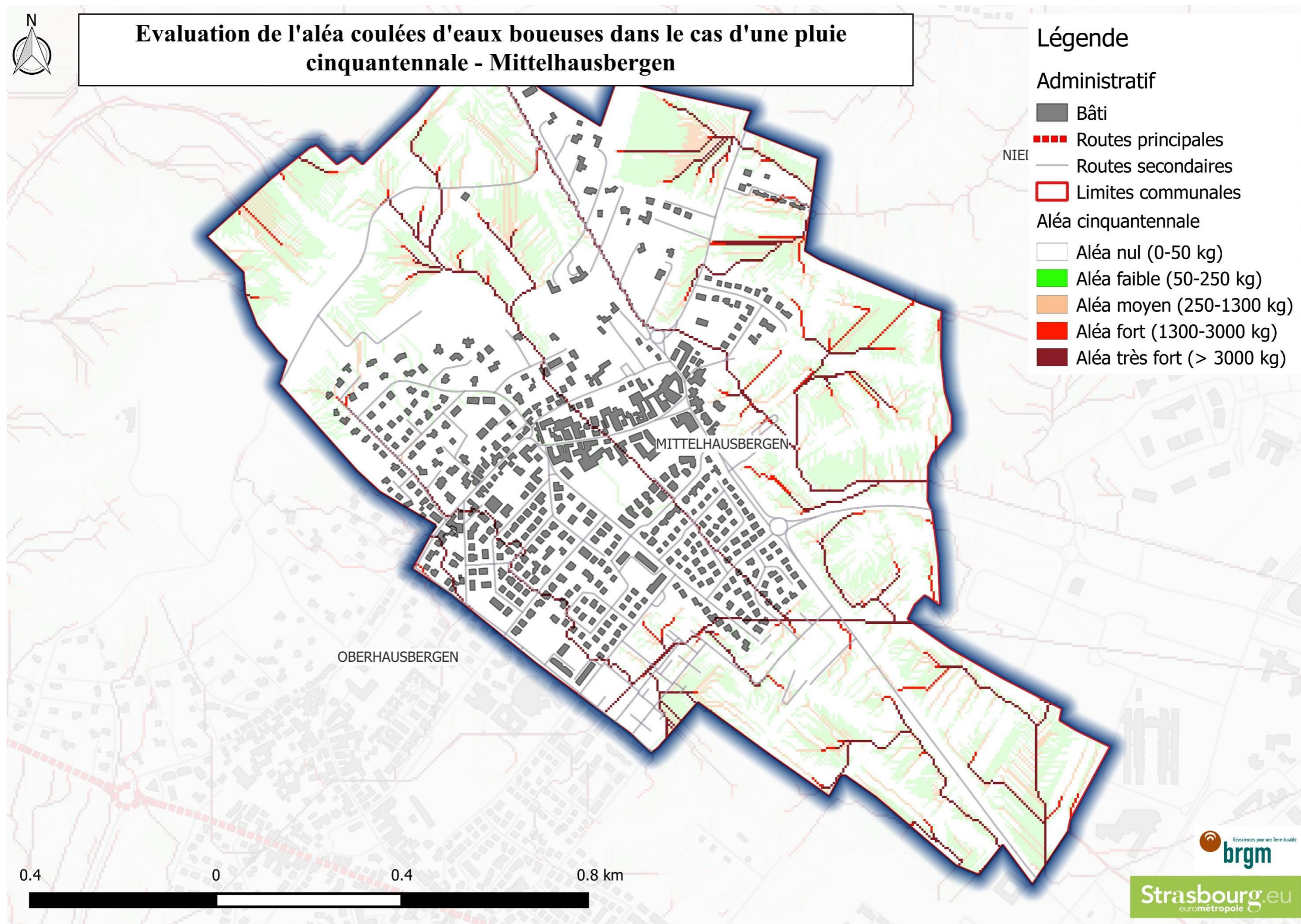


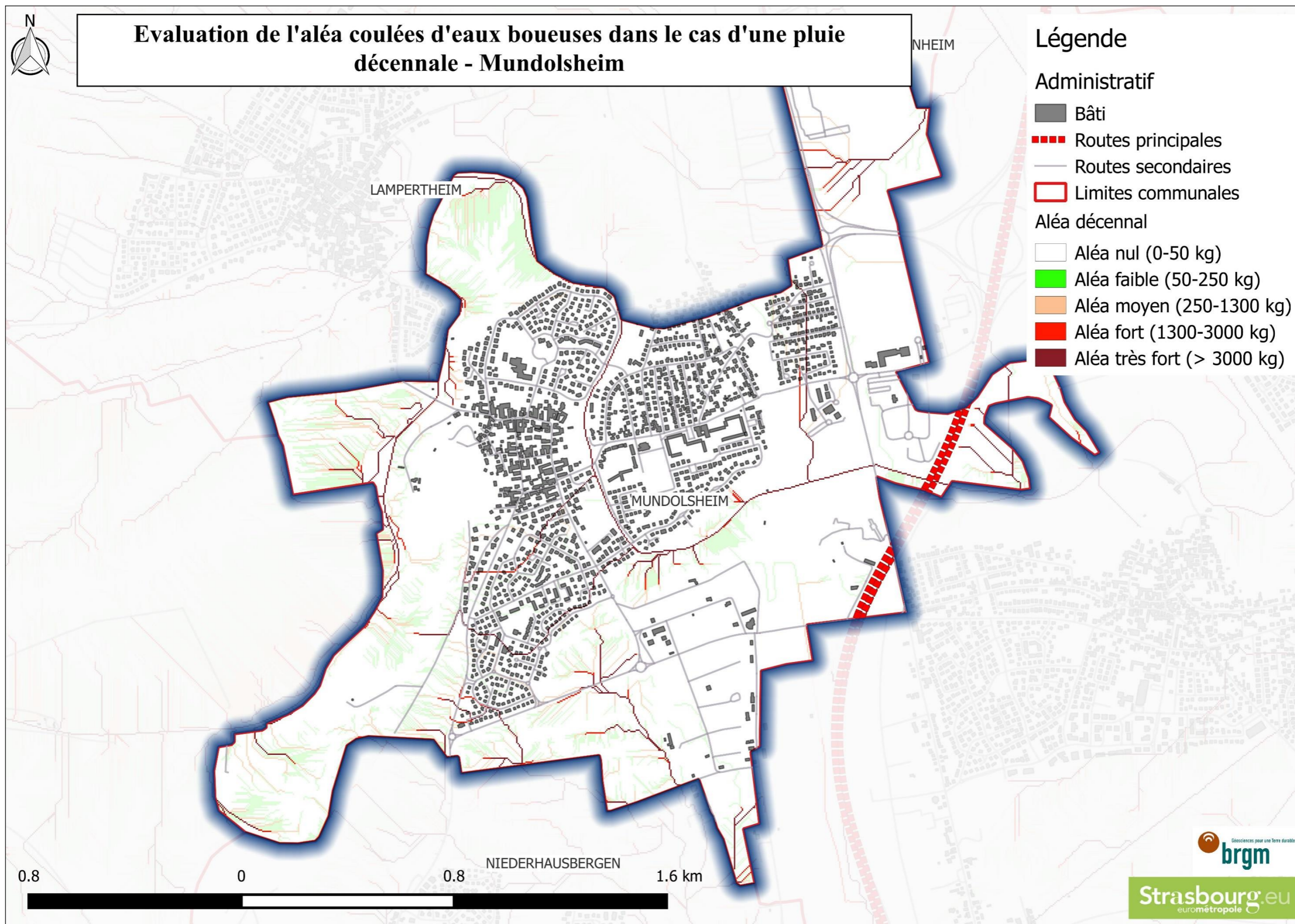


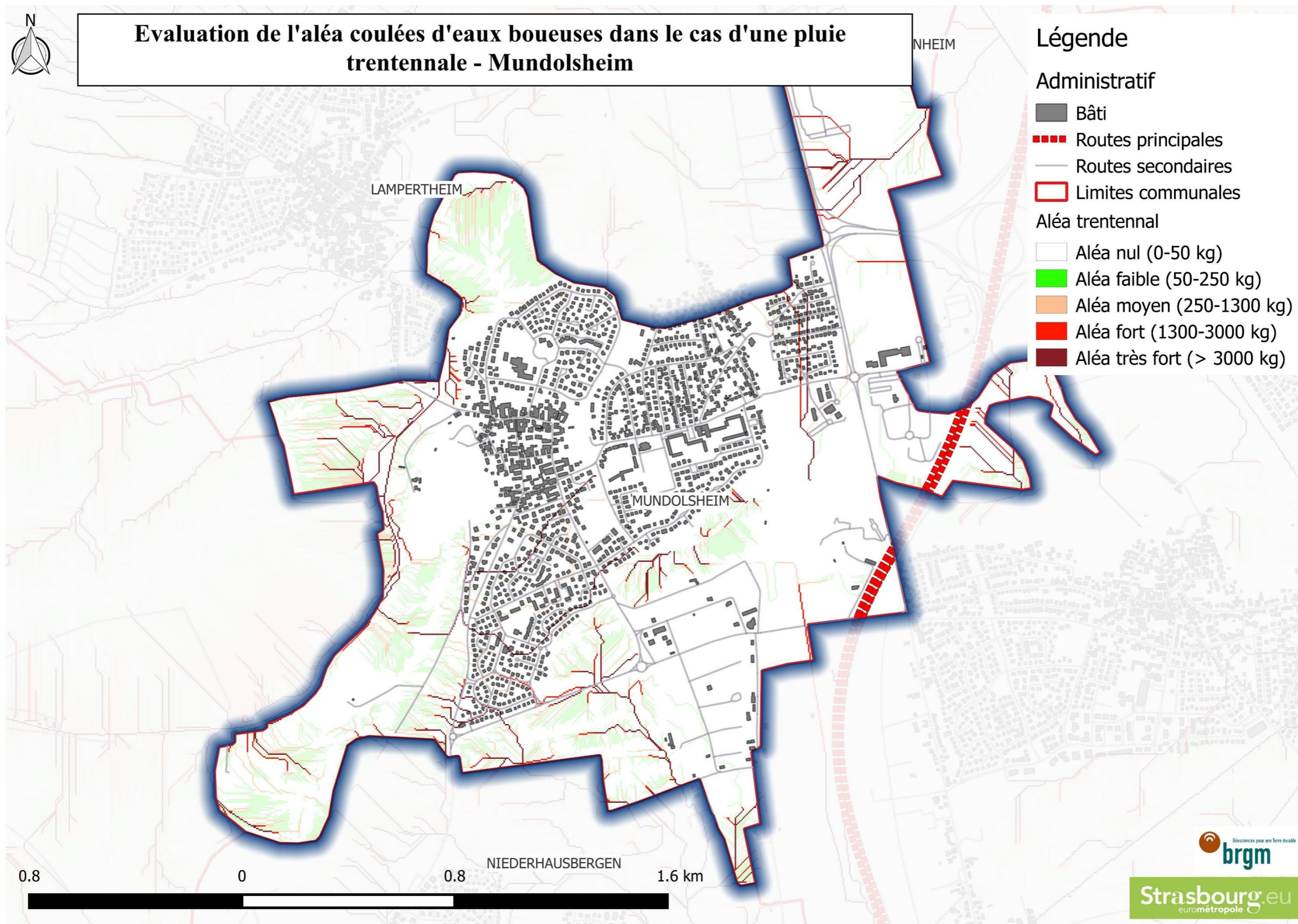


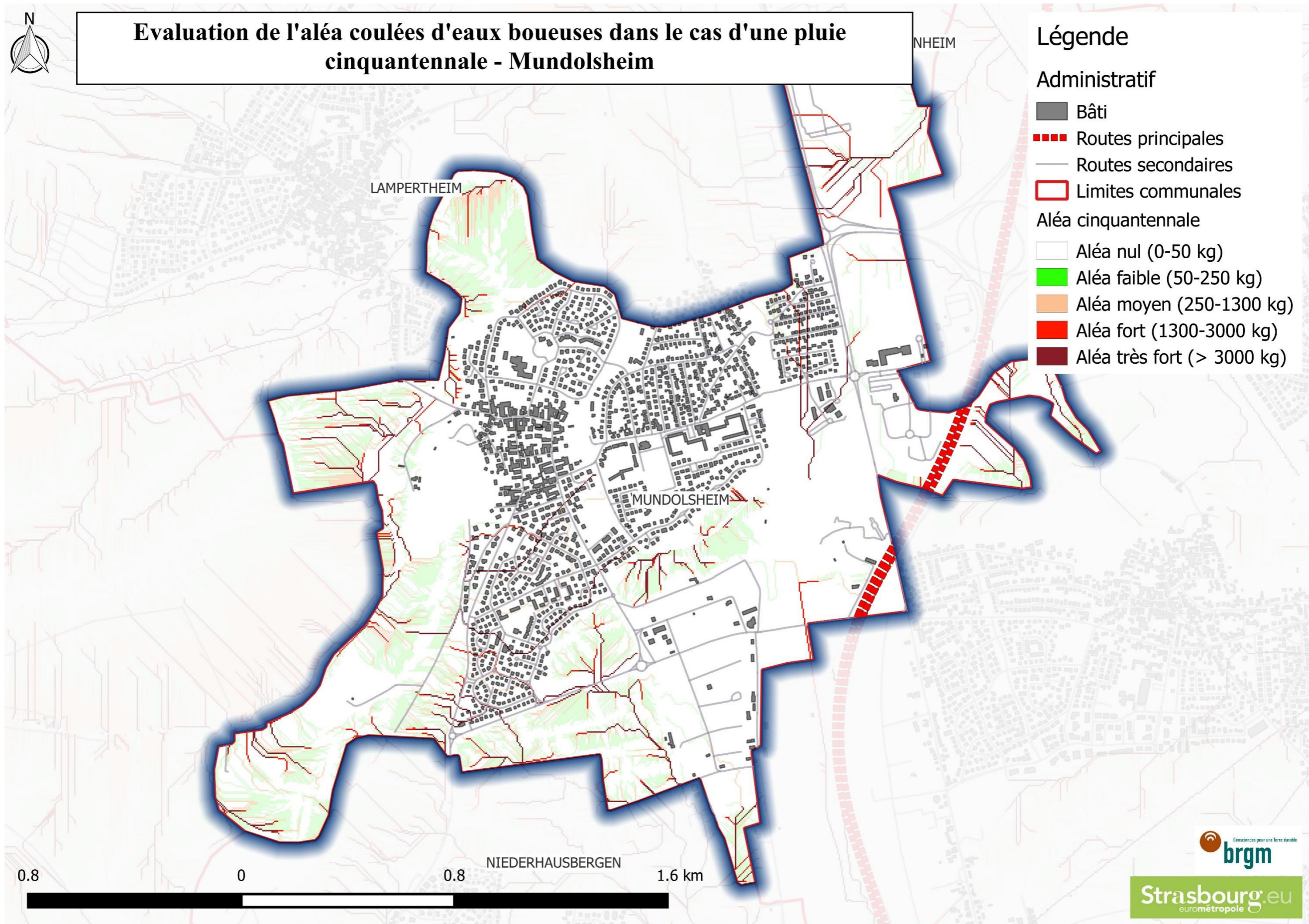


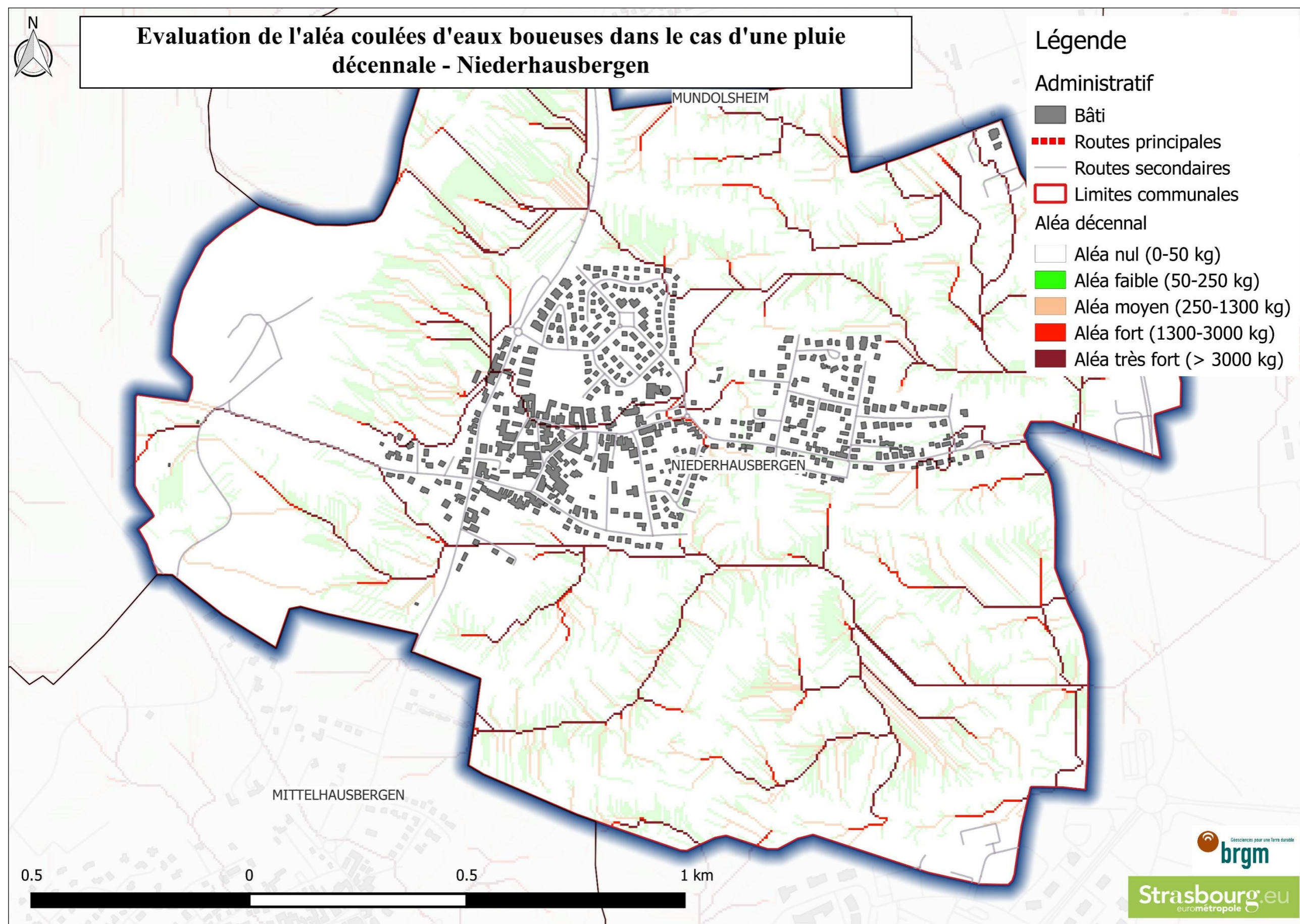


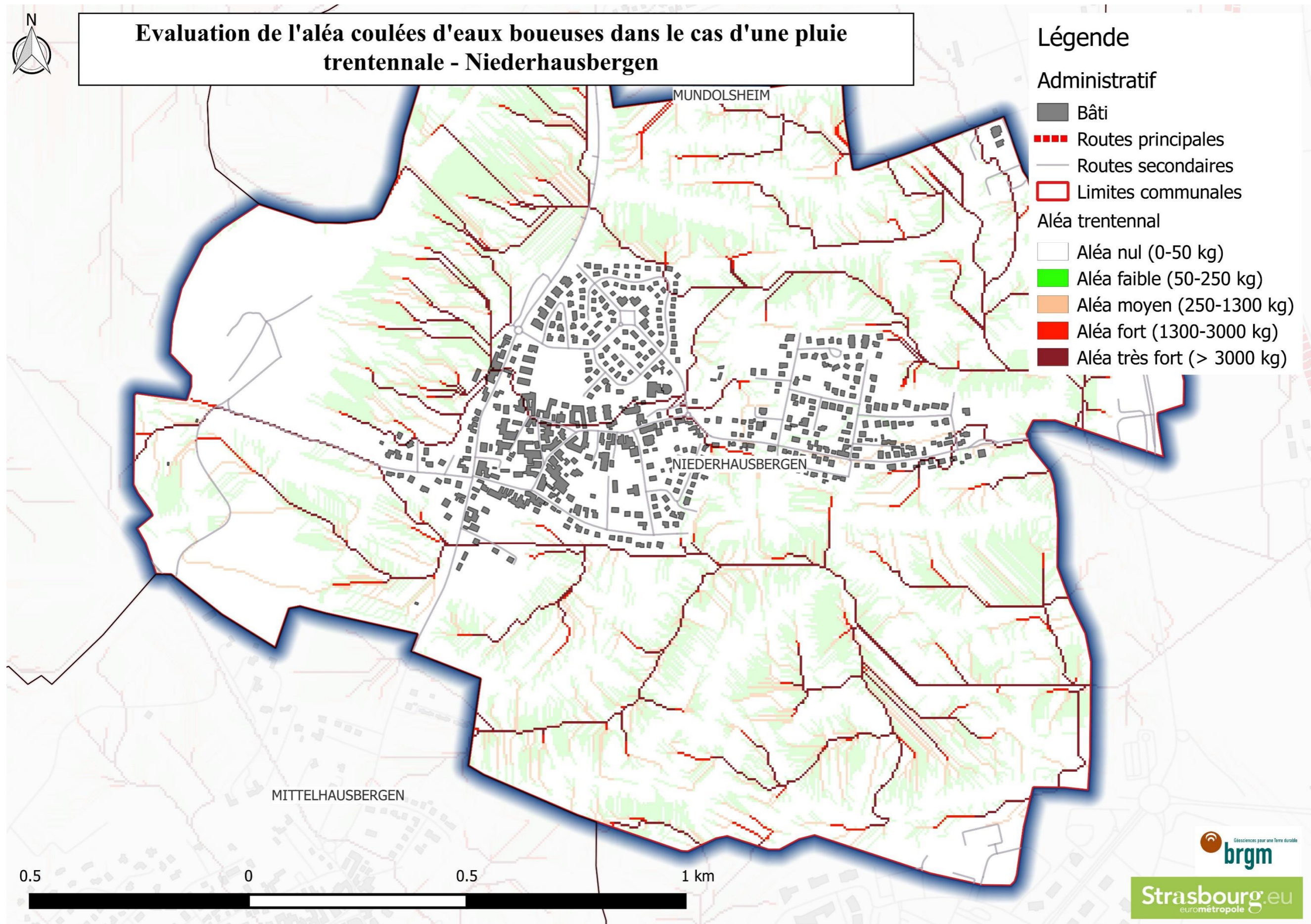


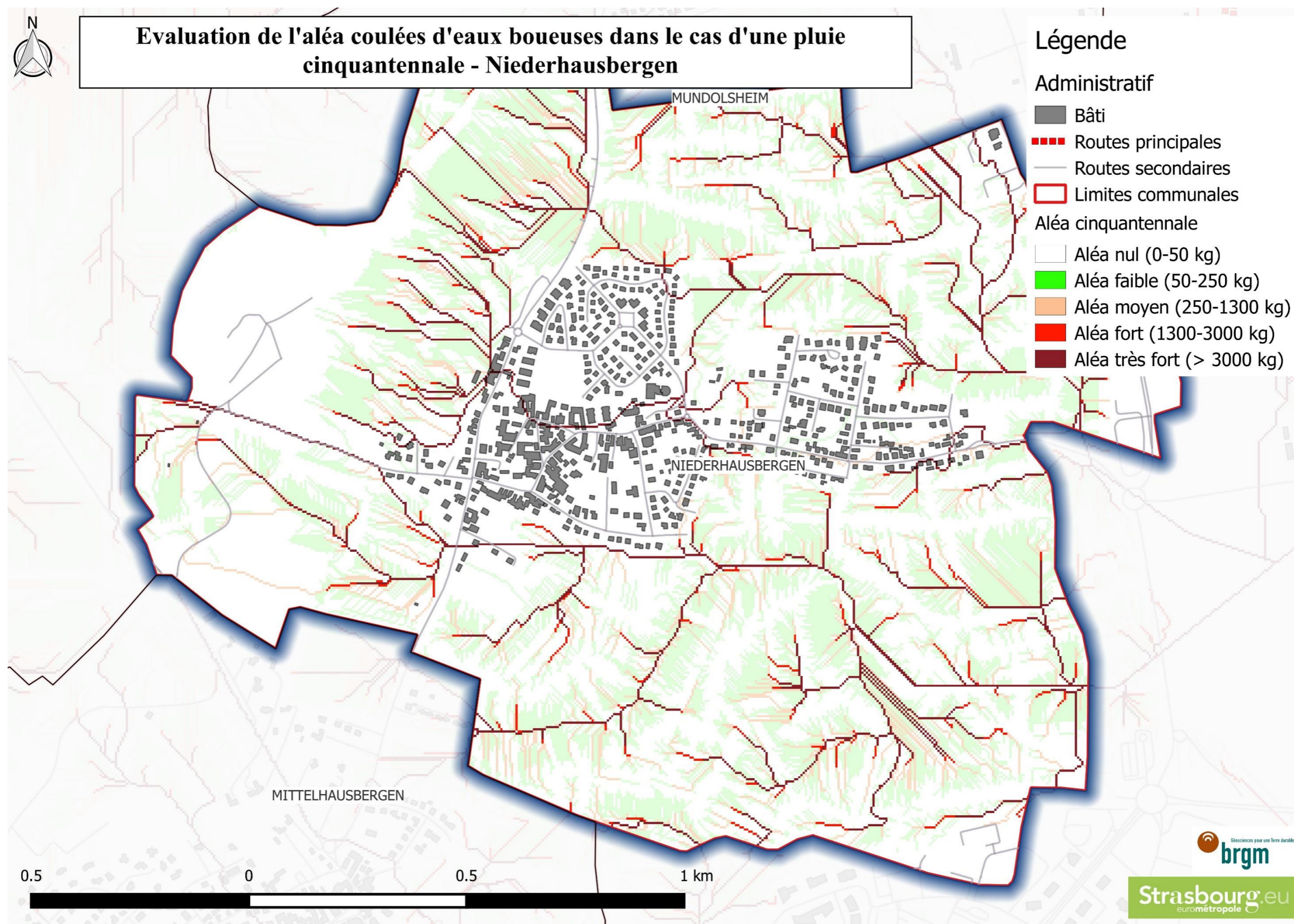


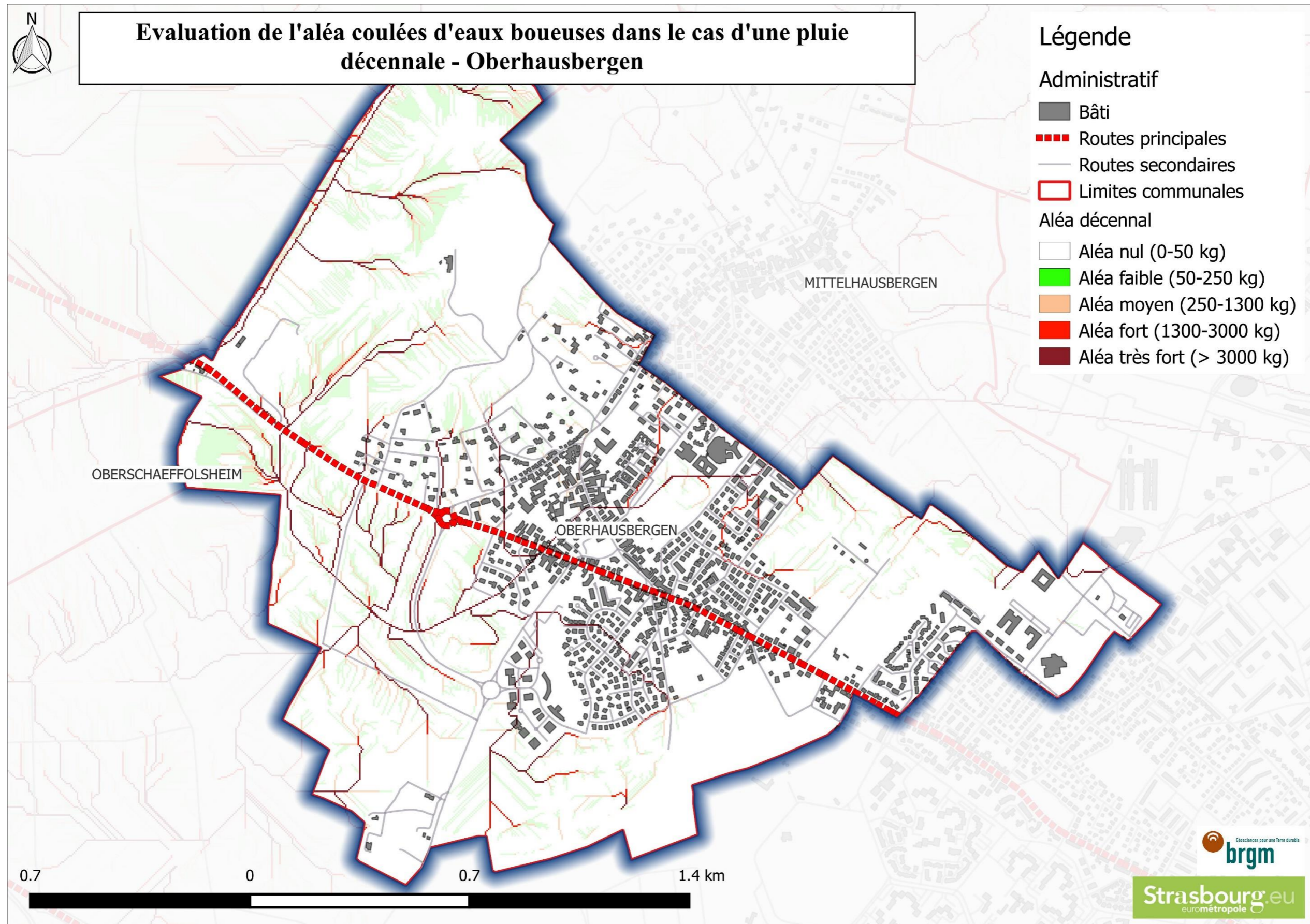


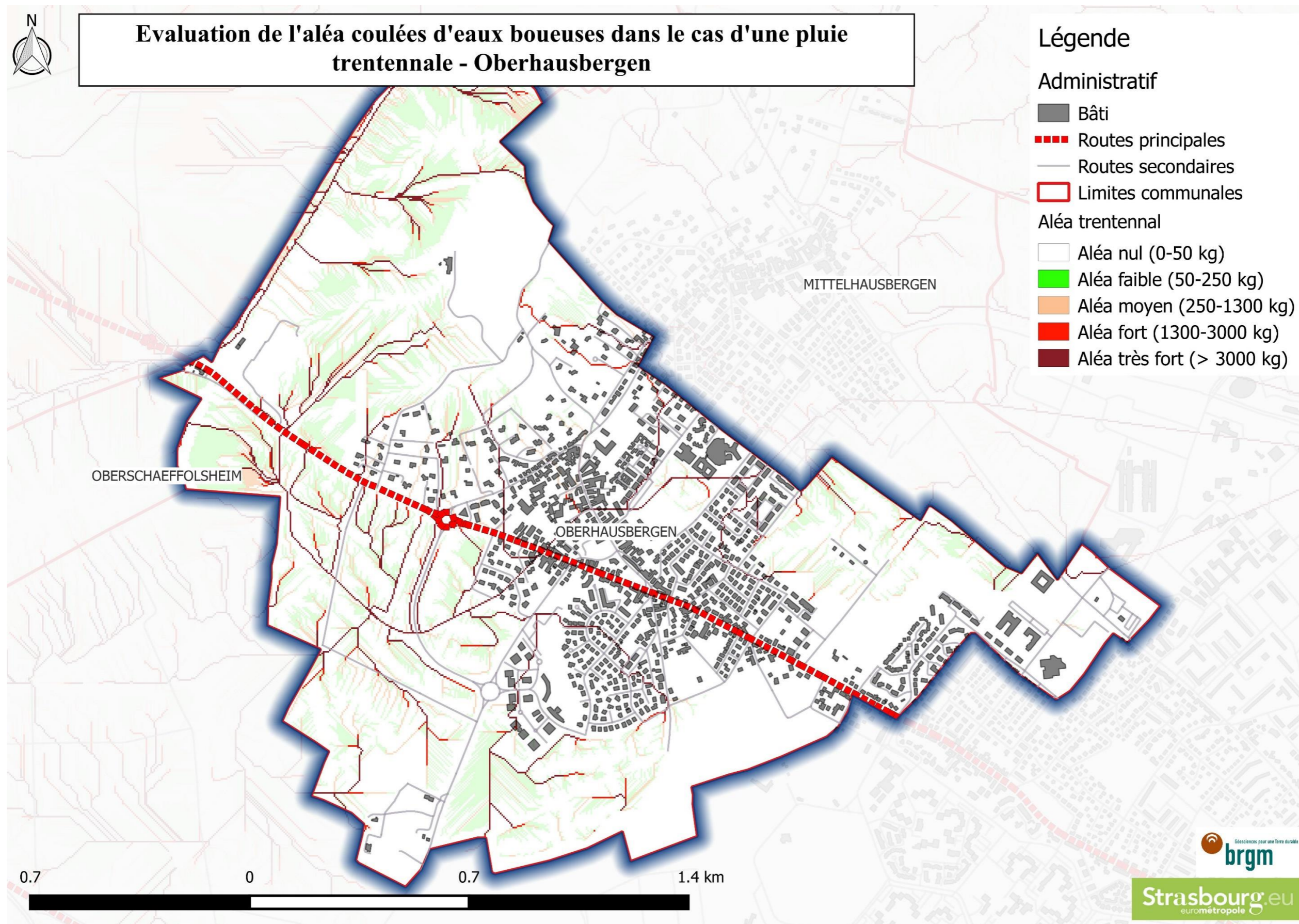


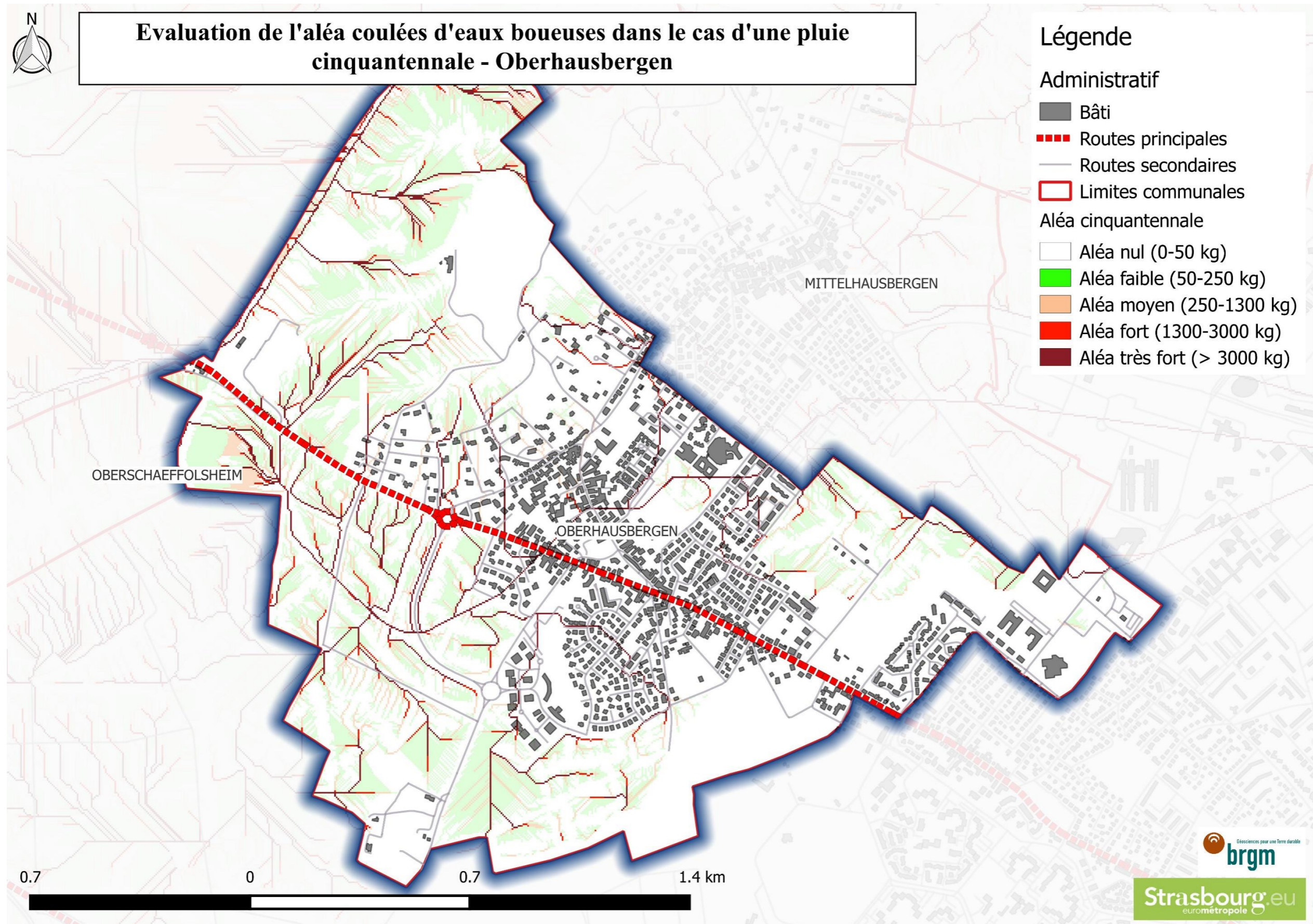






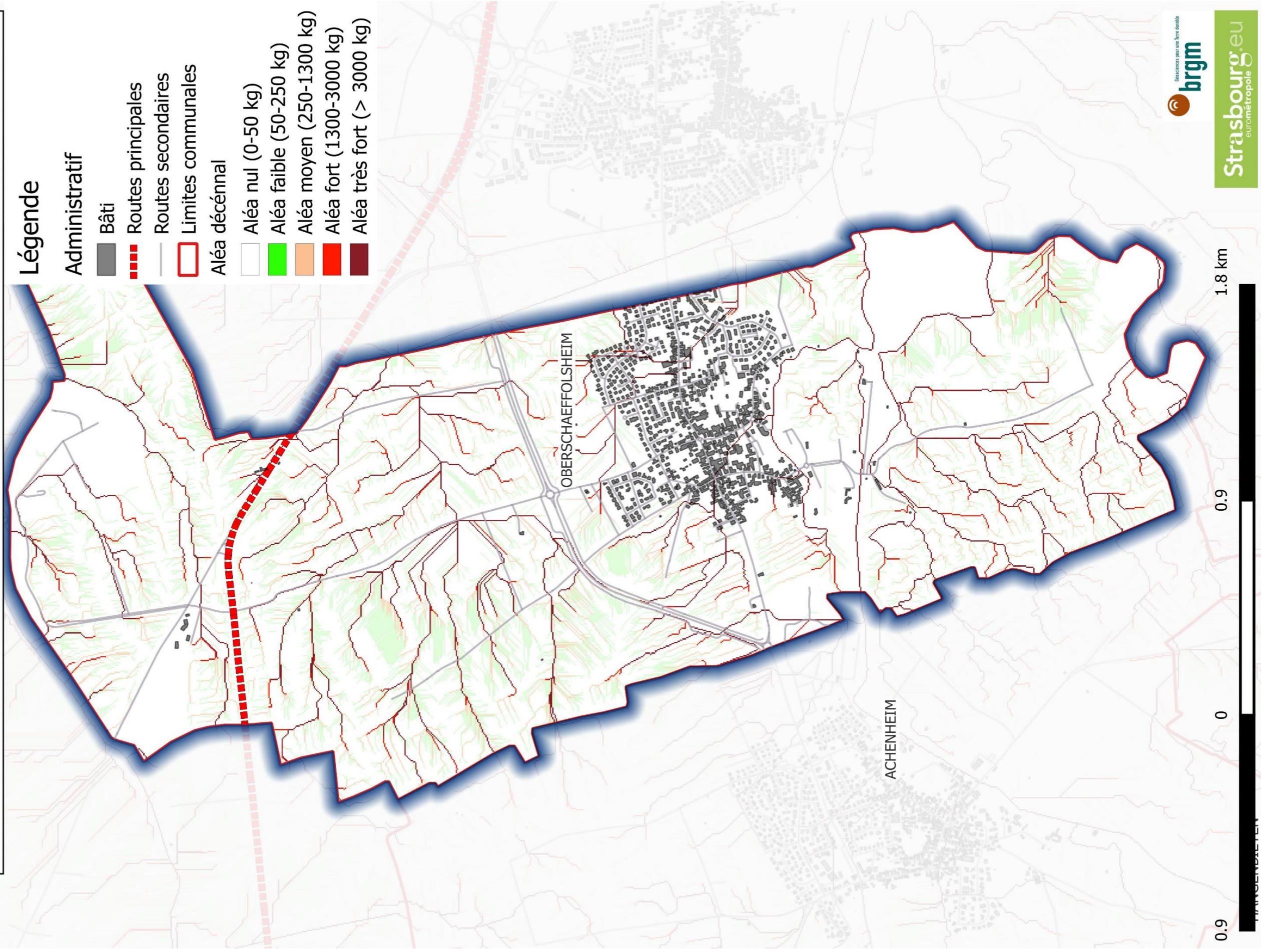






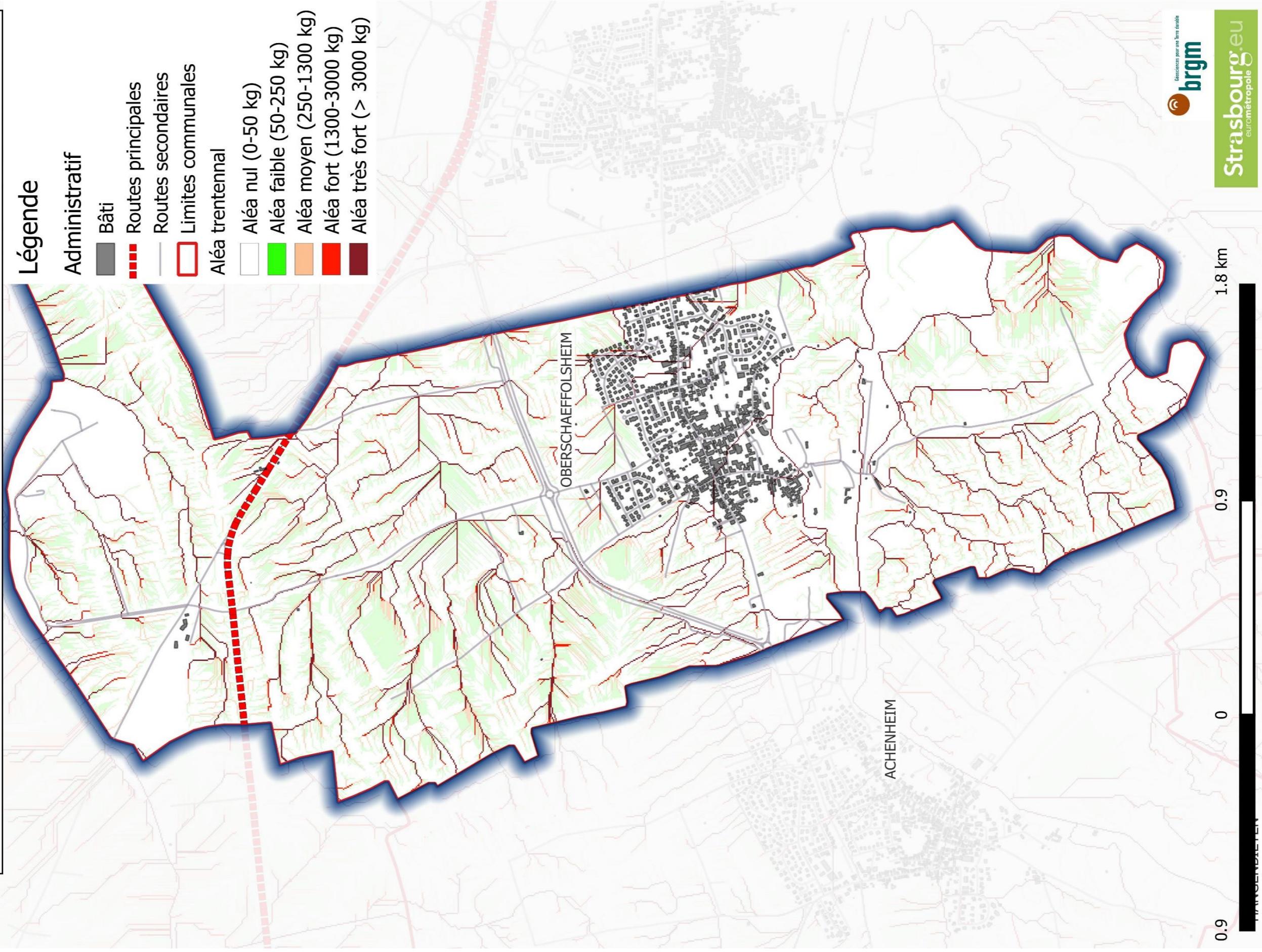


Evaluation de l'aléa "coulées d'eaux boueuses" dans le cas d'une pluie décennale - Oberschaeffolsheim



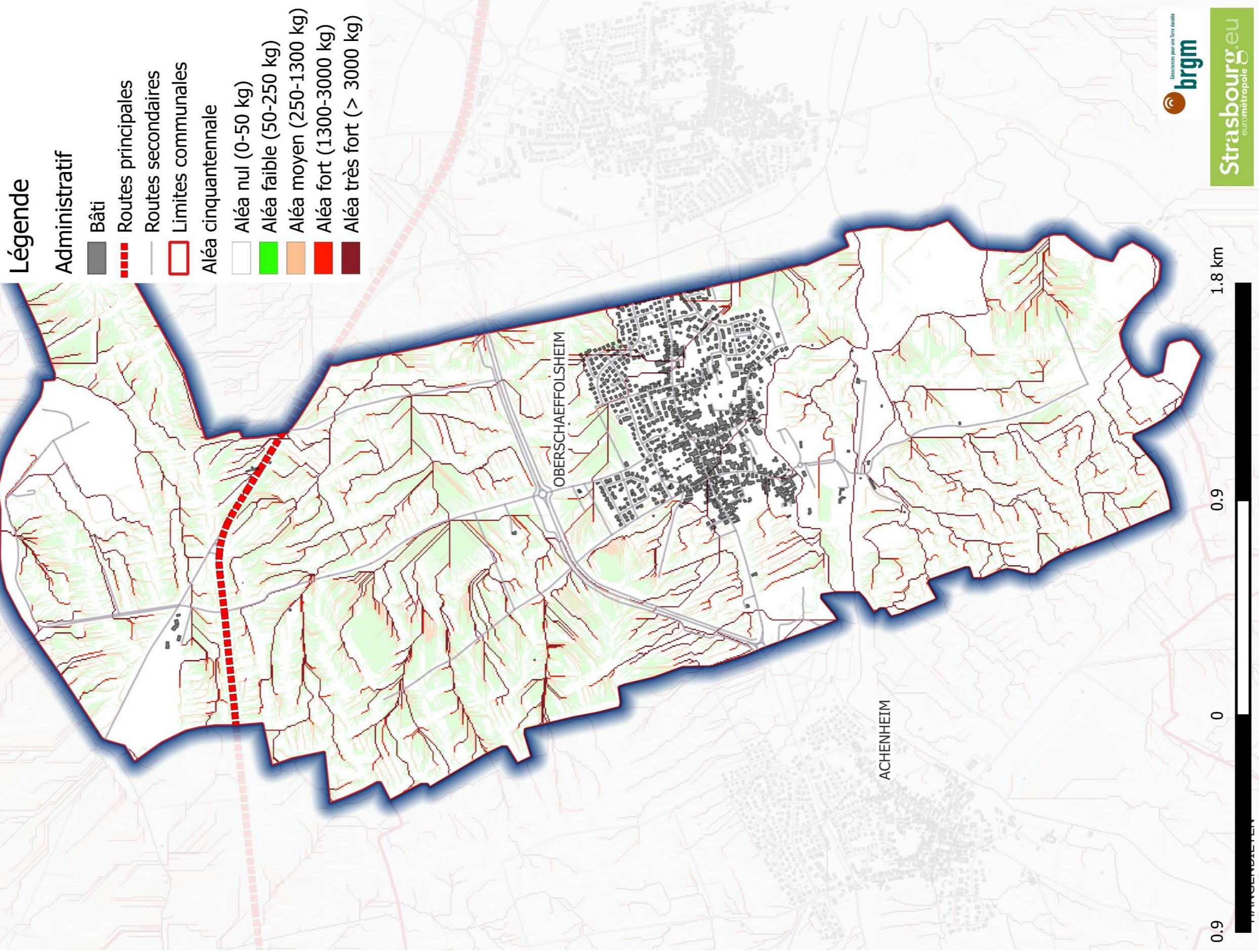


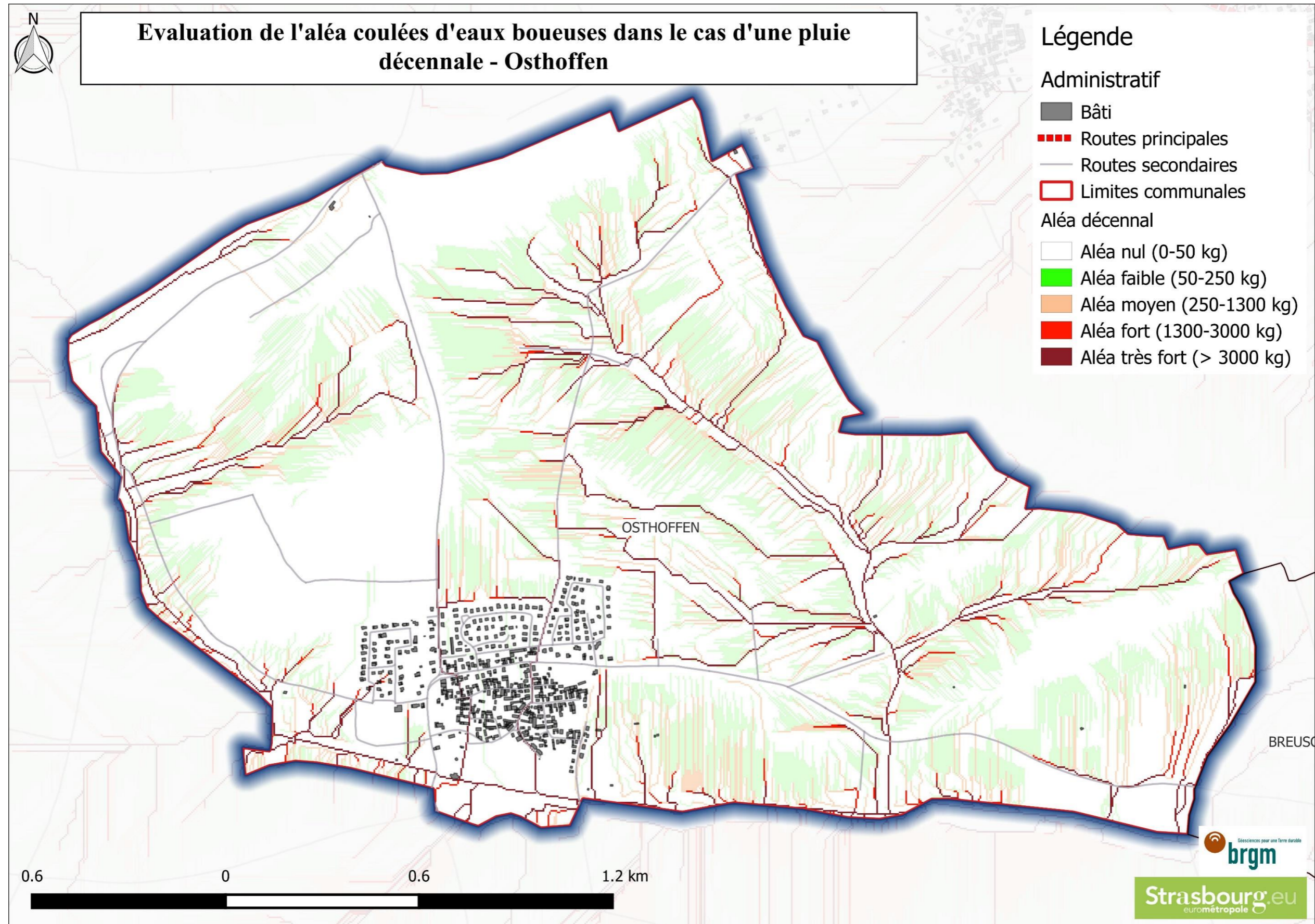
Evaluation de l'aléa "coulées d'eaux boueuses" dans le cas d'une pluie trentennale - Oberschaeffolsheim

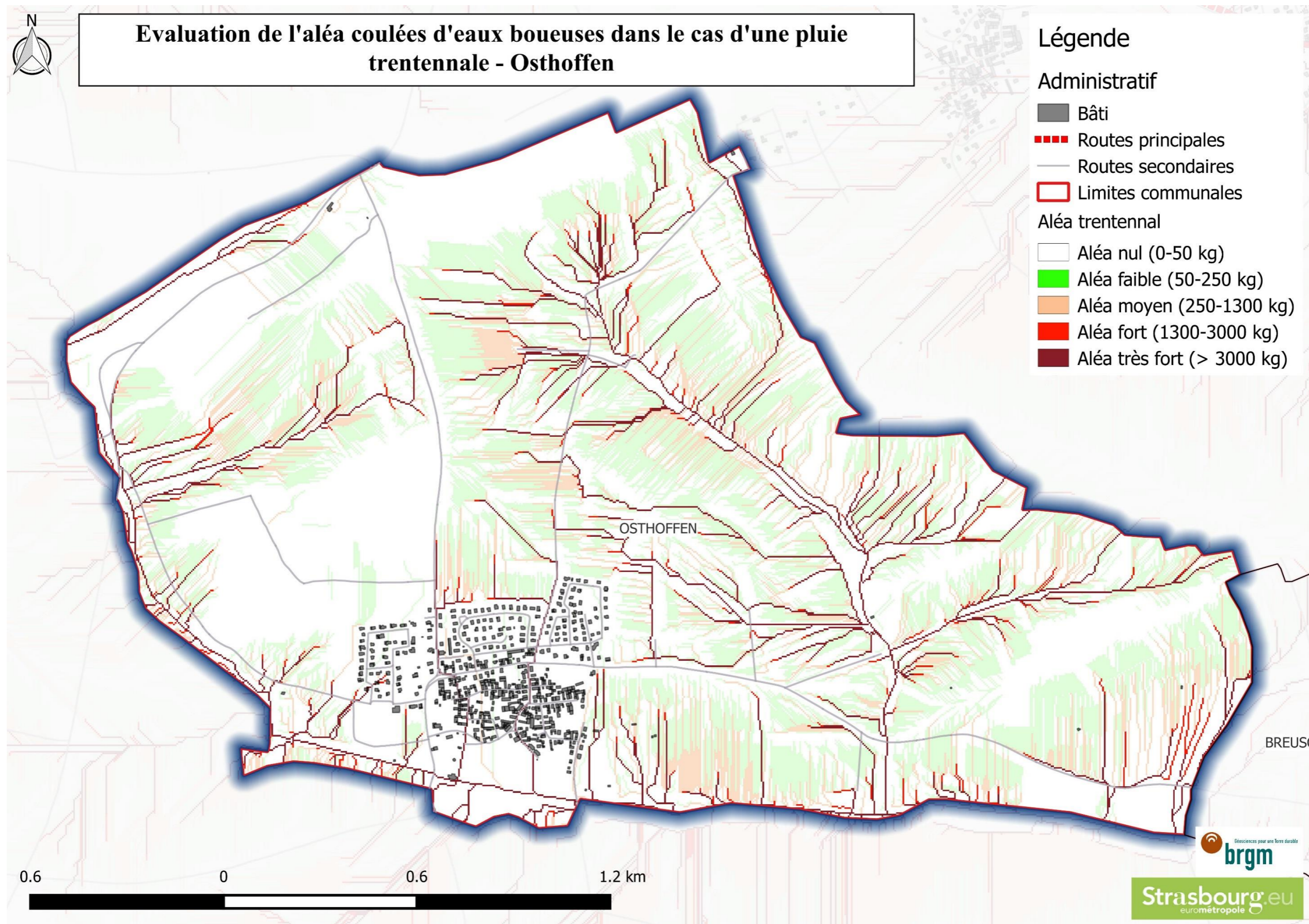


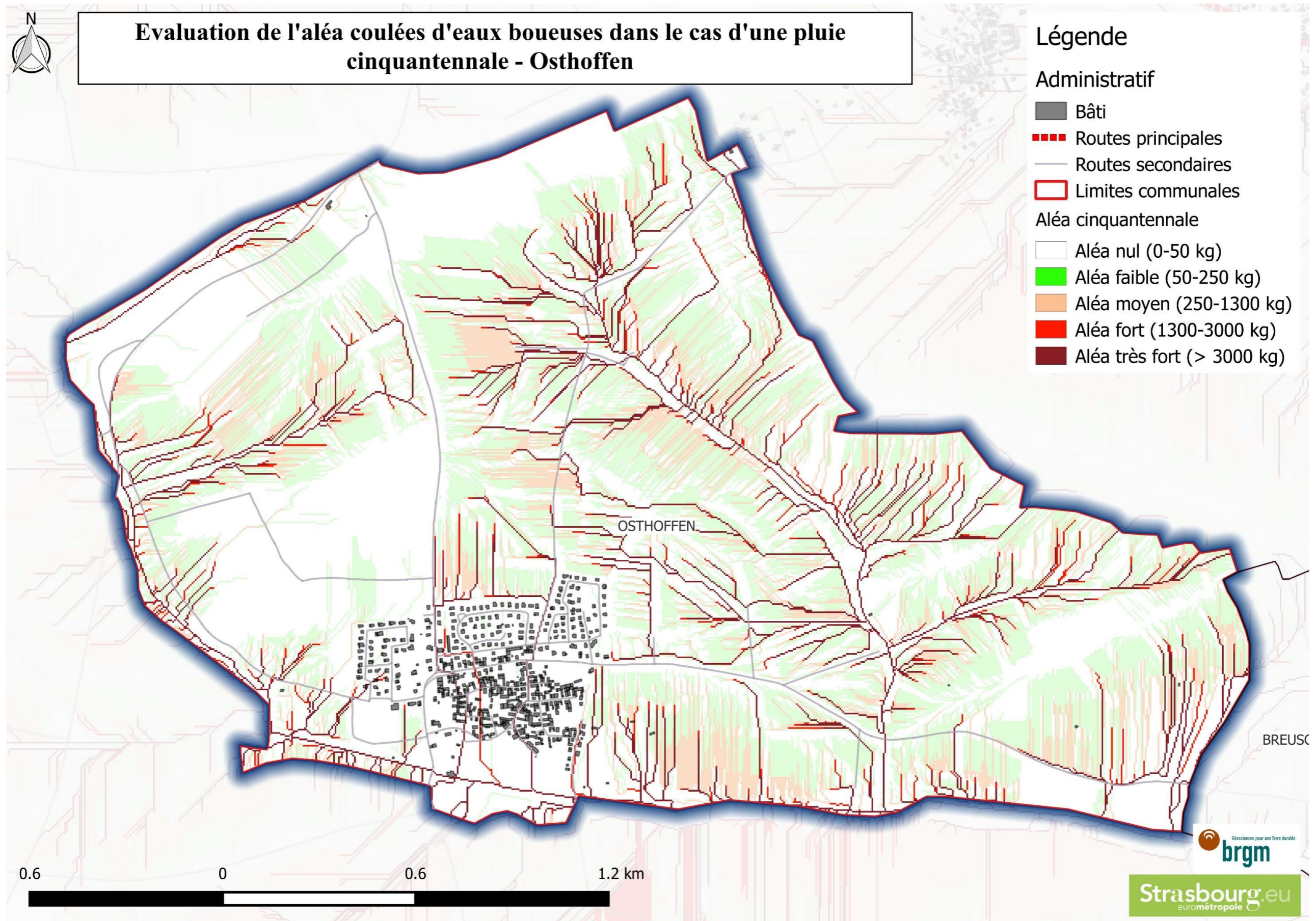


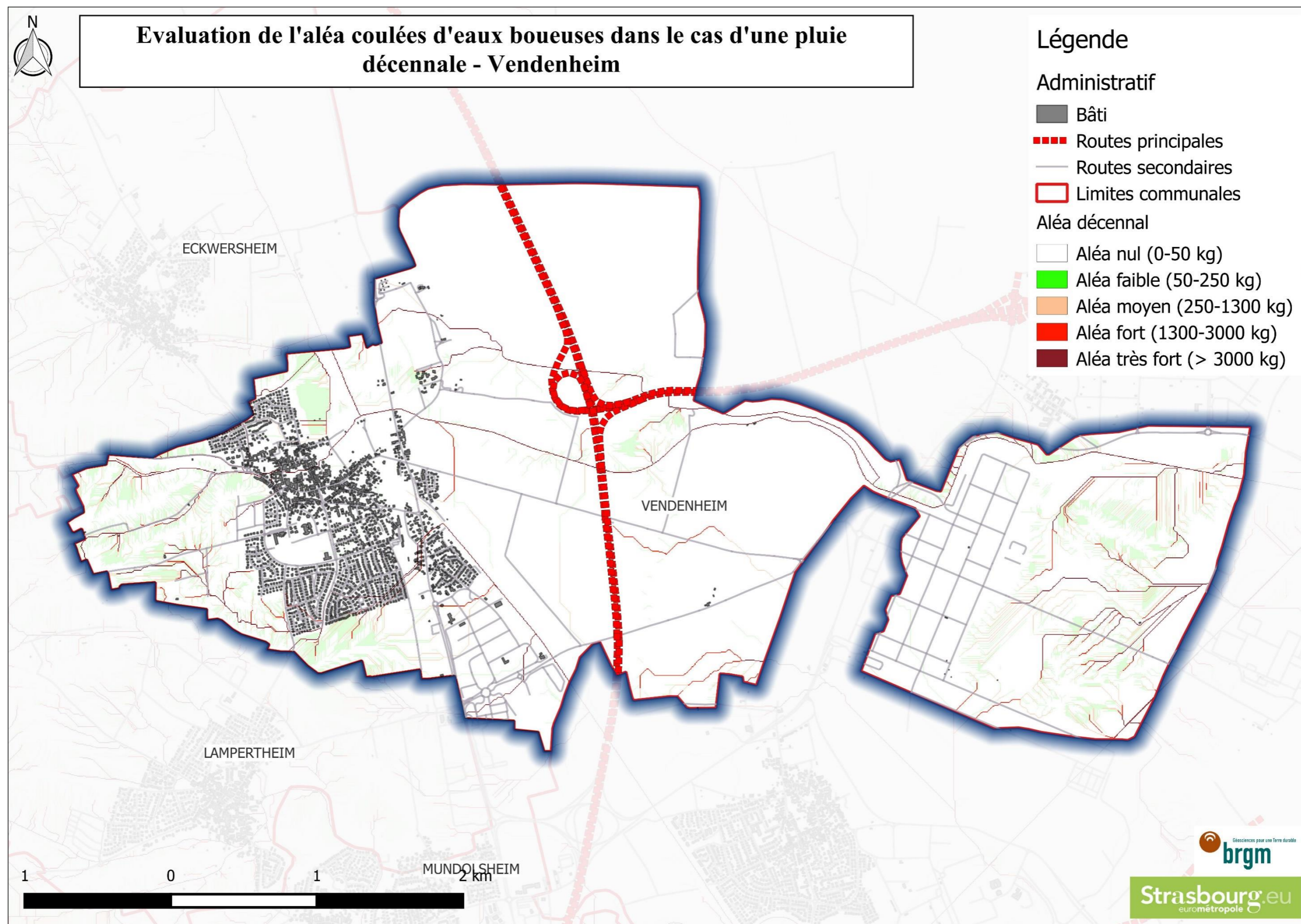
Evaluation de l'aléa "coulées d'eaux boueuses" dans le cas d'une pluie cinquantennale - Oberschaeffolsheim

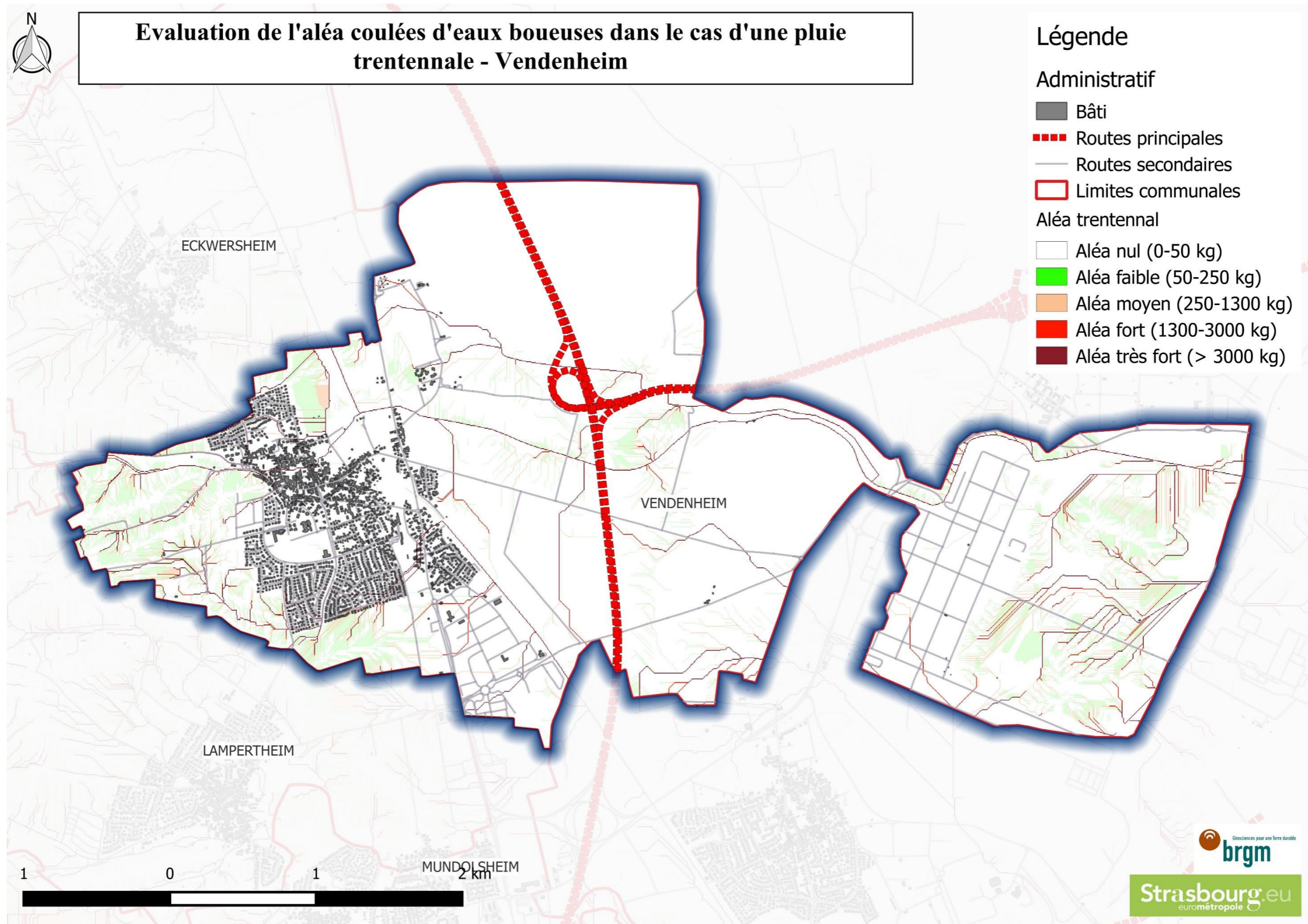


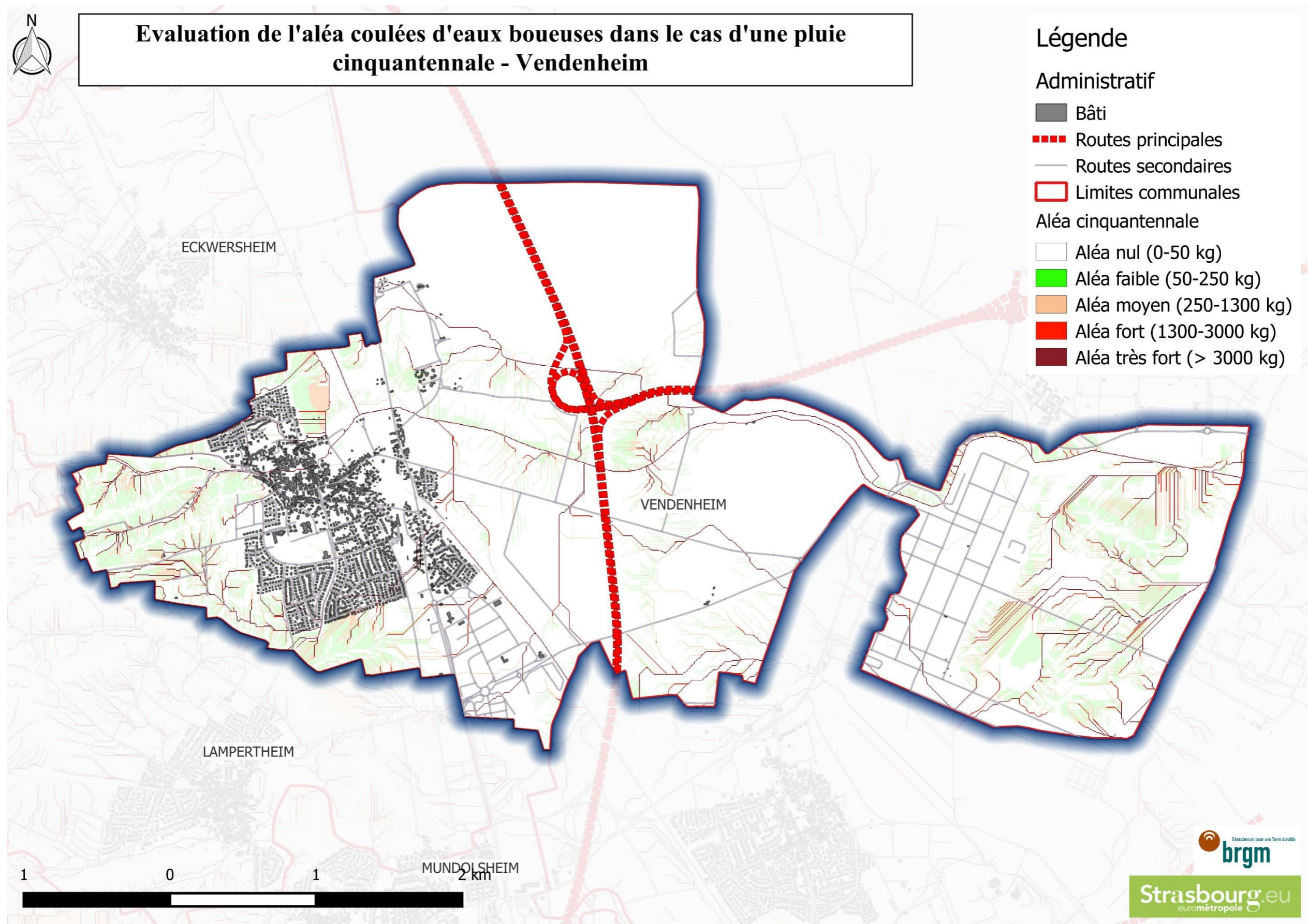












Annexe 5

Présentation de la stratégie de gestion de l'aléa coulées d'eaux boueuses et quantification des résultats

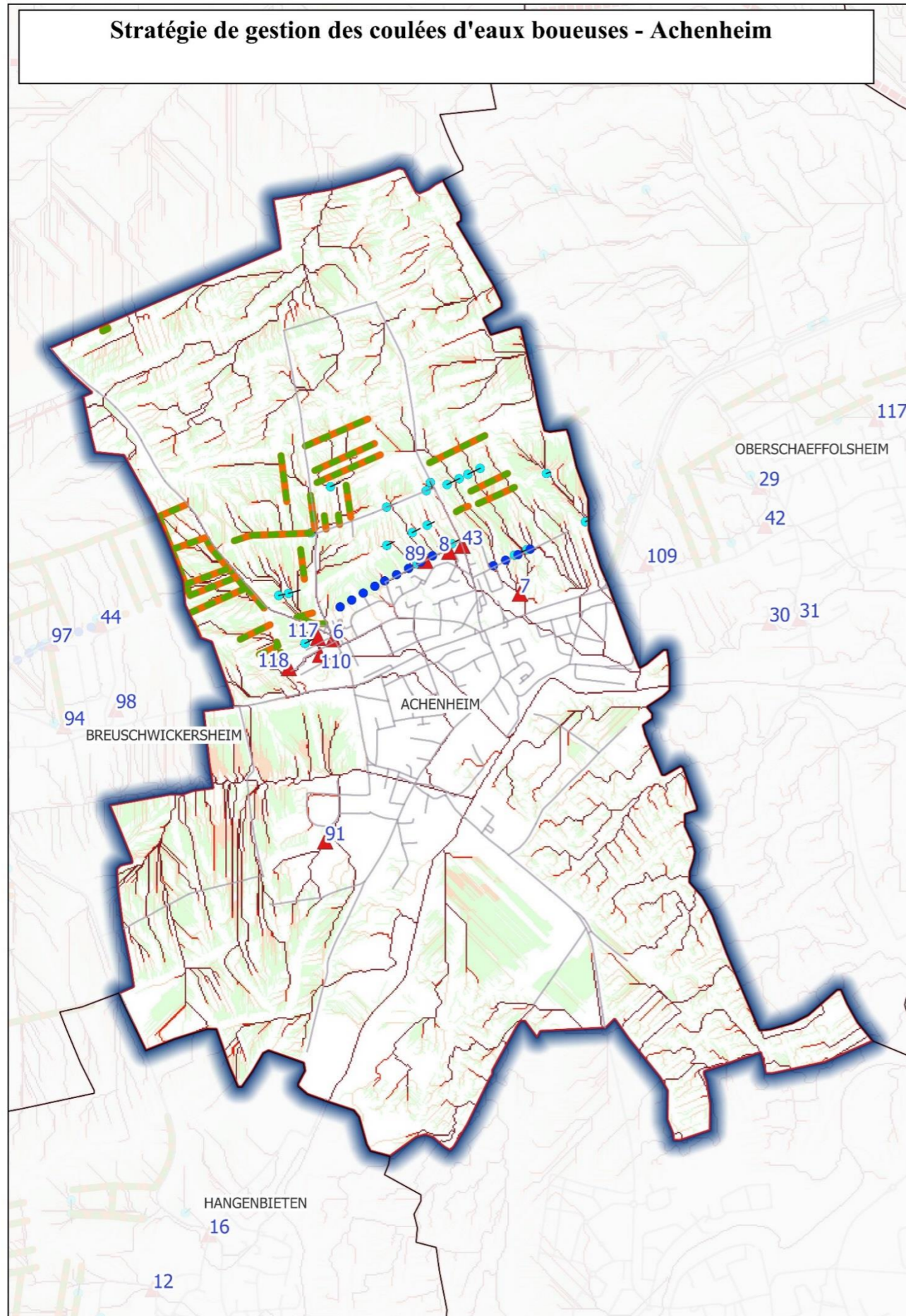
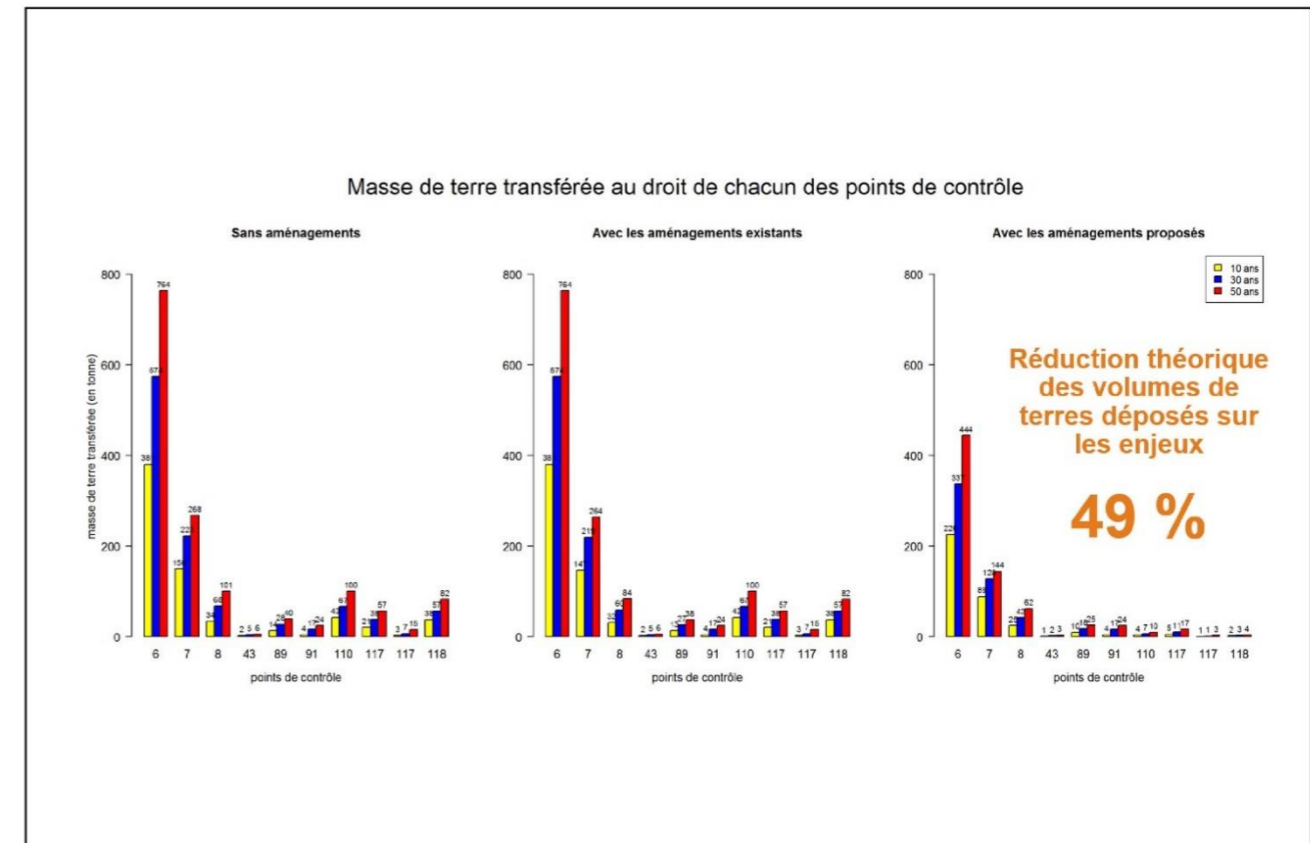


Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Achenheim



Légende

Administratif

- Routes principales
- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Points de contrôle

Ouvrages existants

- Bandes Enherbées
- Proposition Bandes enherbées
- Proposition Fascines

Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquantennale

- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



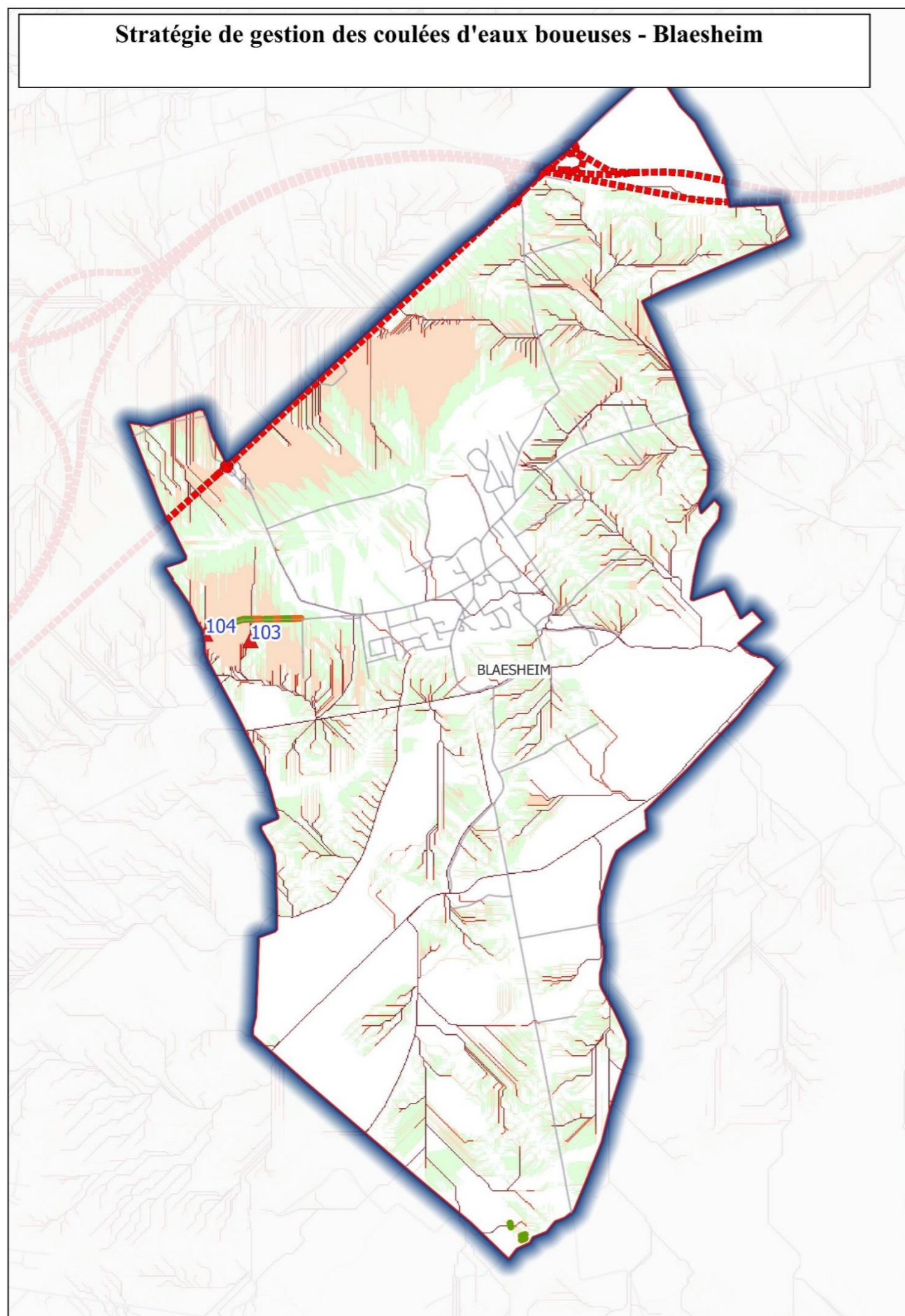
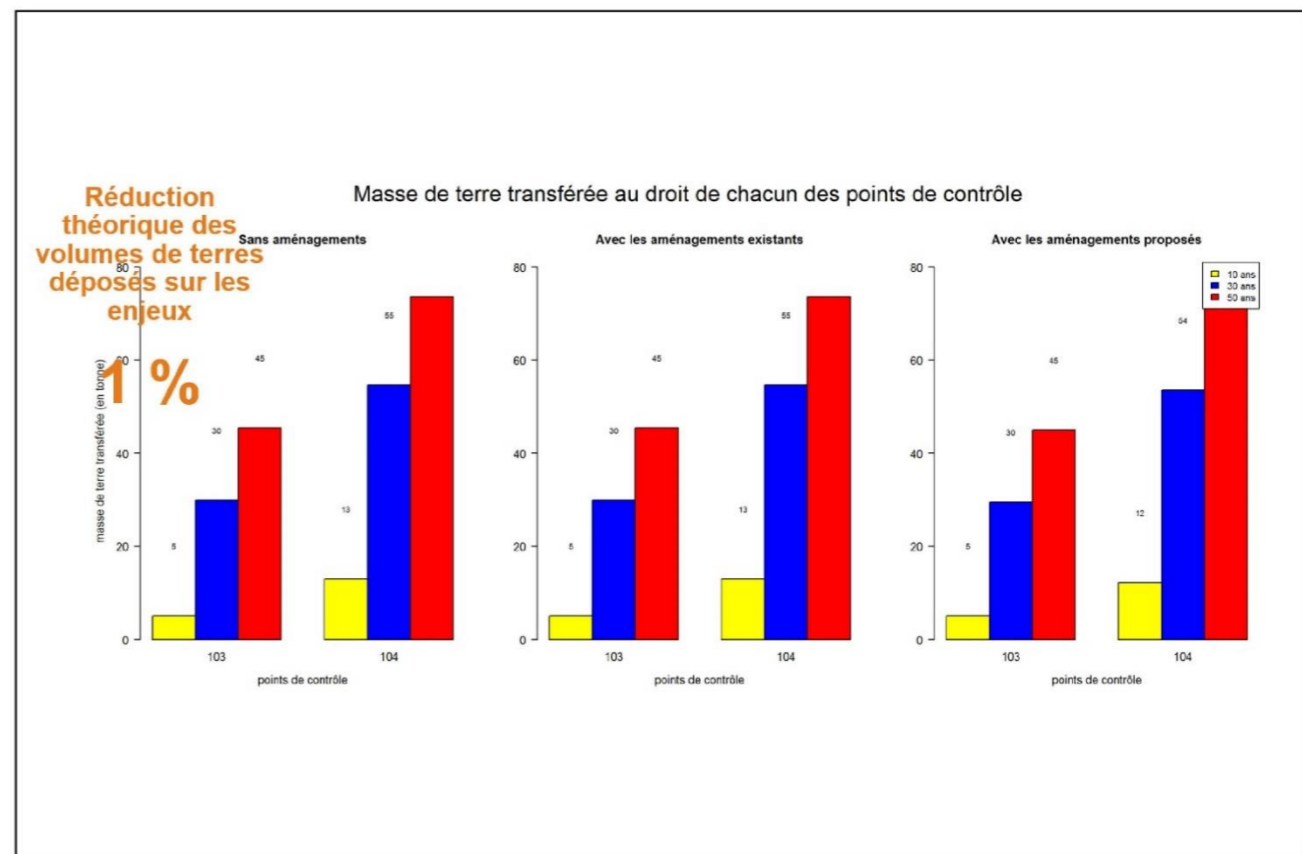


Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Blaesheim



Légende

Administratif

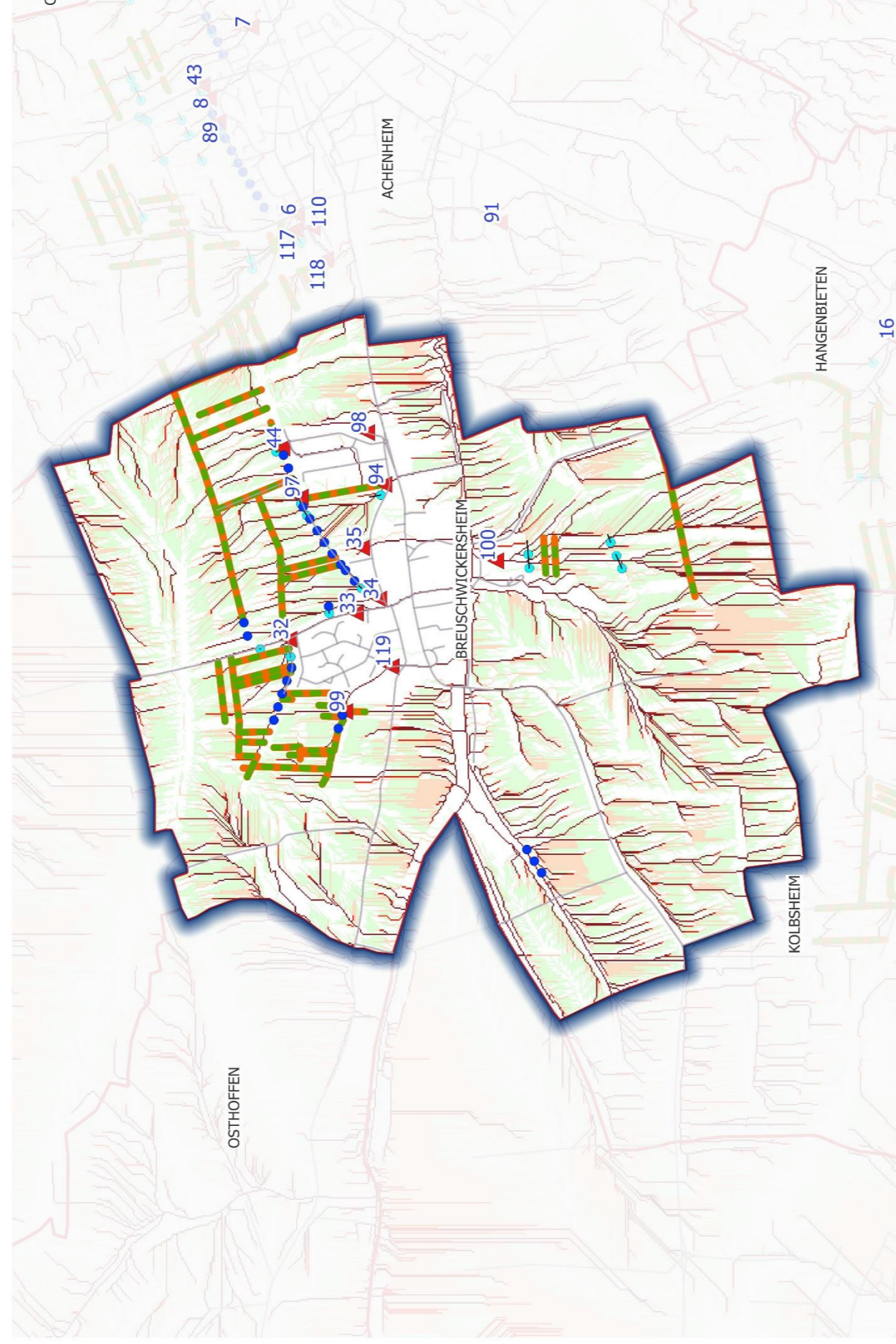
- Routes principales
- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Points de contrôle
- Proposition Bandes enherbées

Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquantennale

- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



Stratégie de gestion des coulées d'eaux boueuses - Breuschwickersheim



0.8

0 0.8

Légende

Administratif

- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Ouvrages existants
- Bandes Enherbées
- ▬ Proposition Bandes enherbées

Proposition Fascines

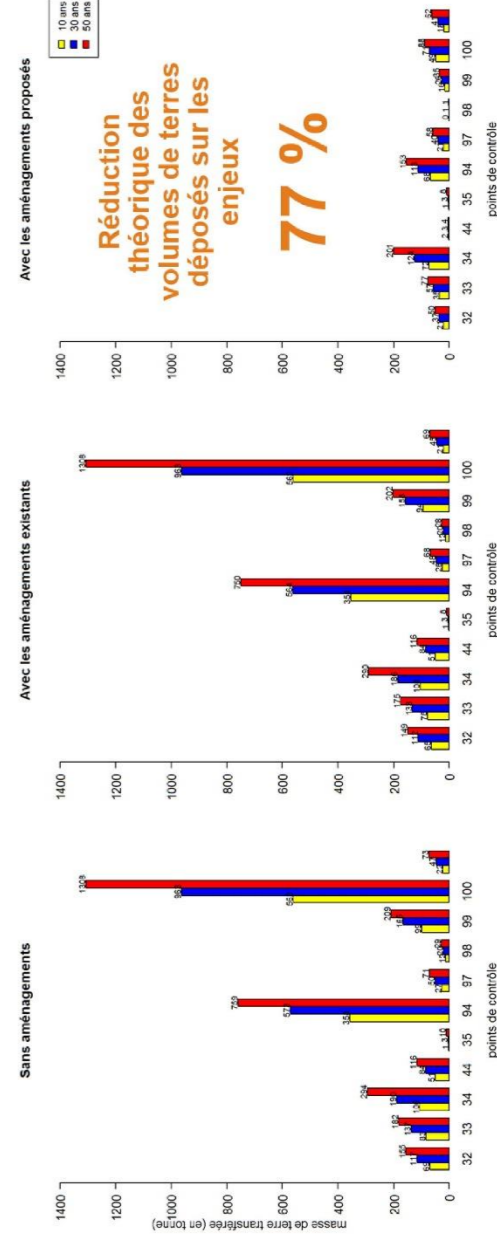
- Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquante
- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



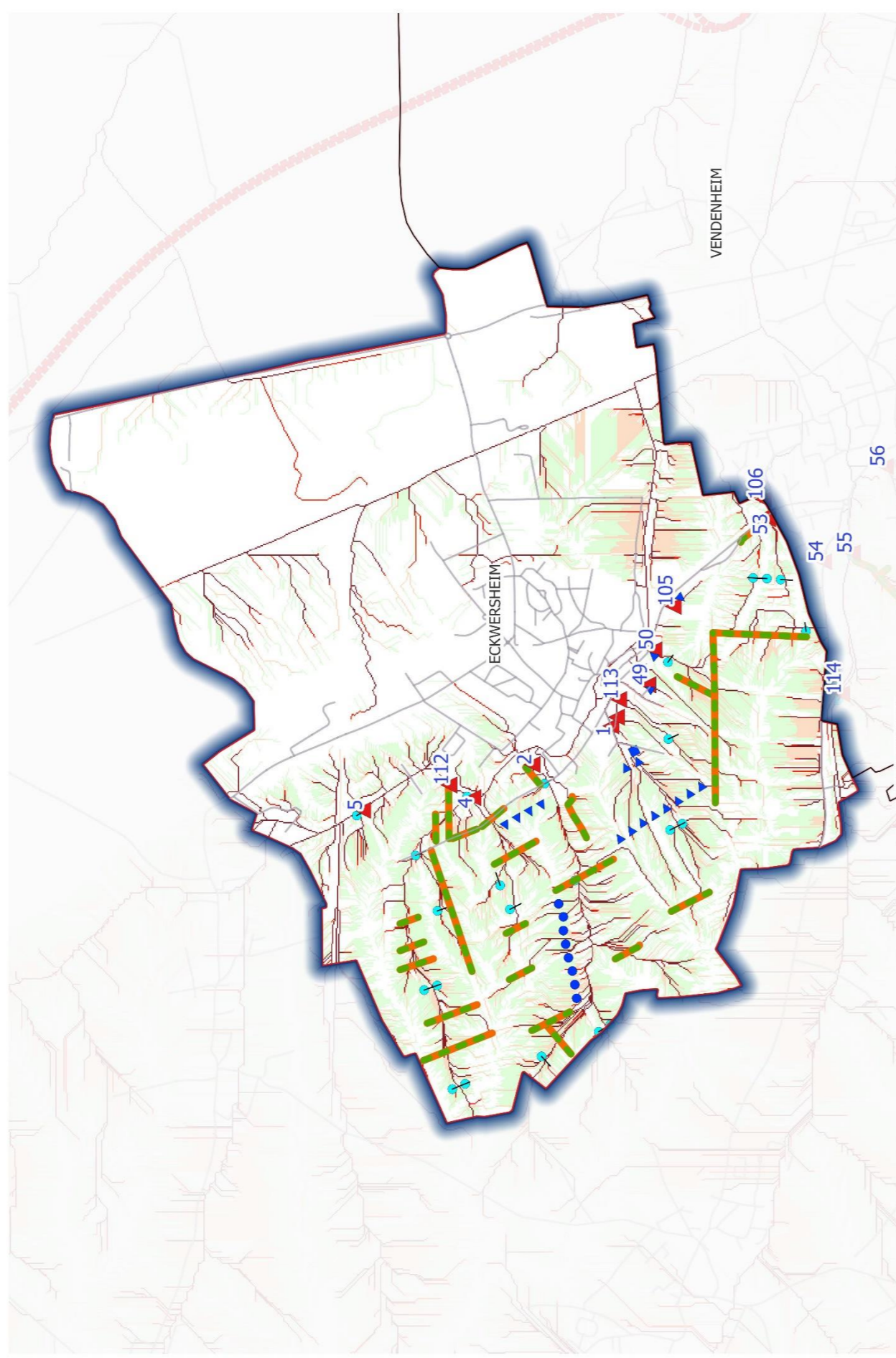
Strasbourg.eu
eurometropole

Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Breuschwickersheim

Masse de terre transférée au droit de chacun des points de contrôle



Stratégie de gestion des coulées d'eaux boueuses - Eckwersheim



1

0

1

Légende

Administratif

- Routes principales
- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Points de contrôle
- Ouvrages existants
- Fascines
- ▲ Miscanthus
- Bandes Enherbées

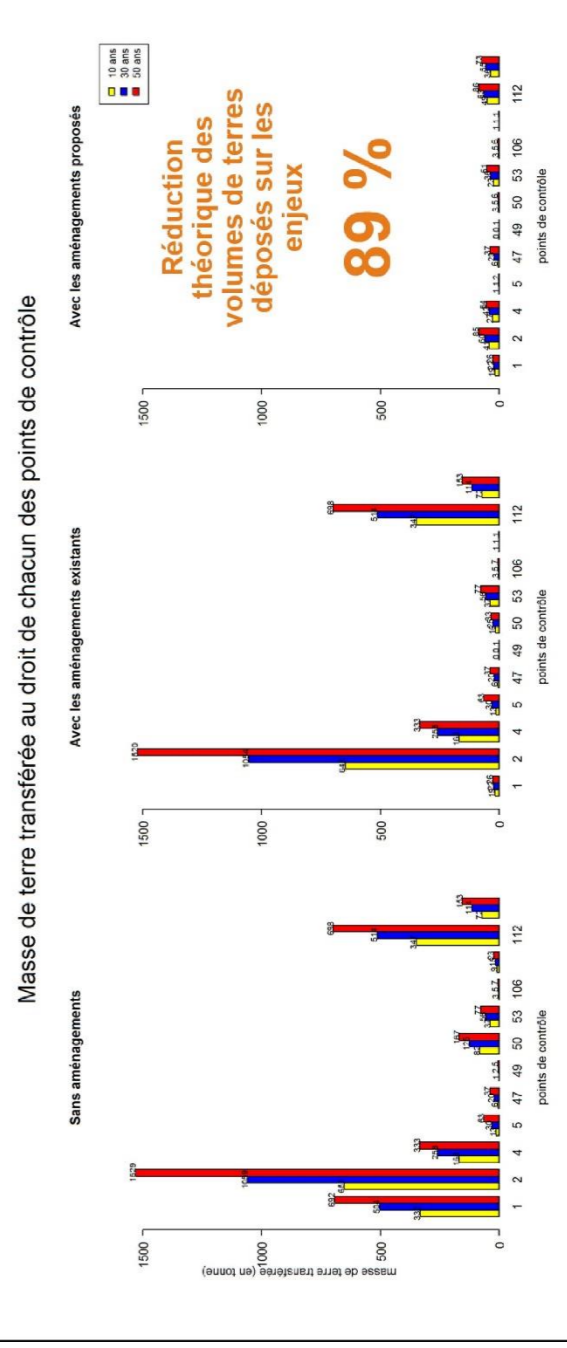
- Proposition Bandes enherbées
- Proposition Fascines

Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquantennale

- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Eckwersheim



Stratégie de gestion des coulées d'eaux boueuses - Hangenbieten

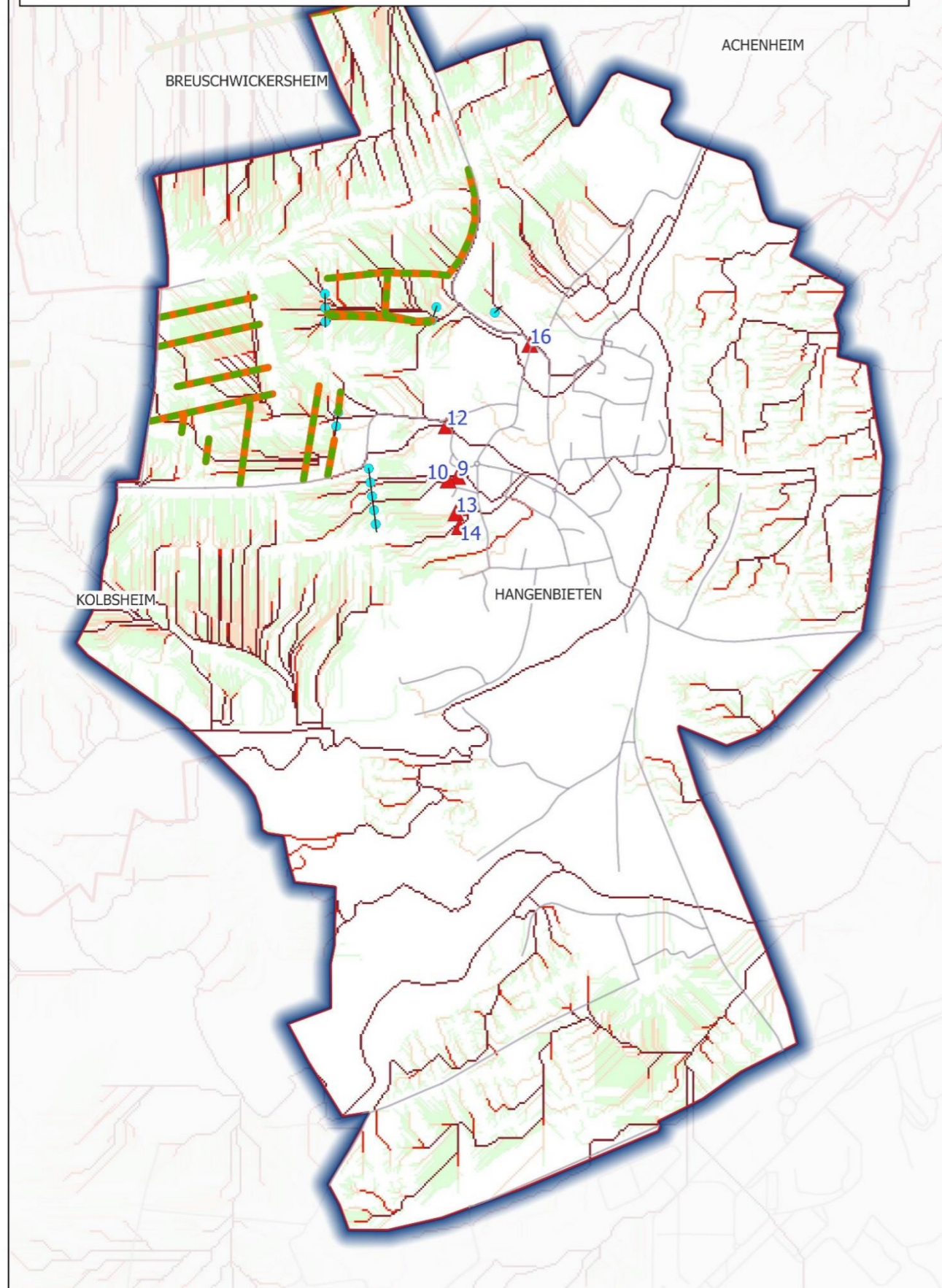
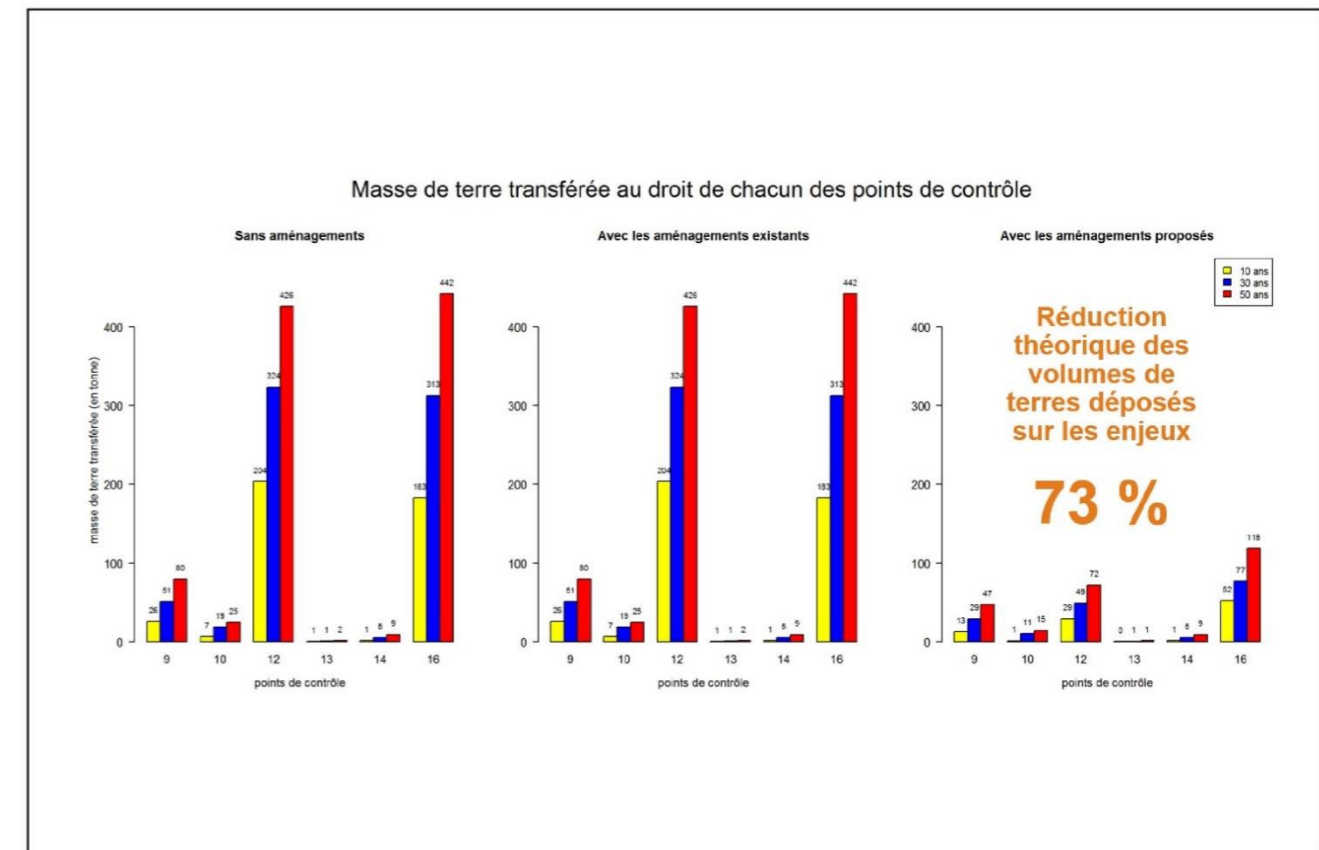


Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Hangenbieten



Légende

Administratif

- Routes secondaires
- ▭ Limites communales
- ▲ Points de contrôle
- Proposition Bandes enherbées
- Proposition Fascines

Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquantennale

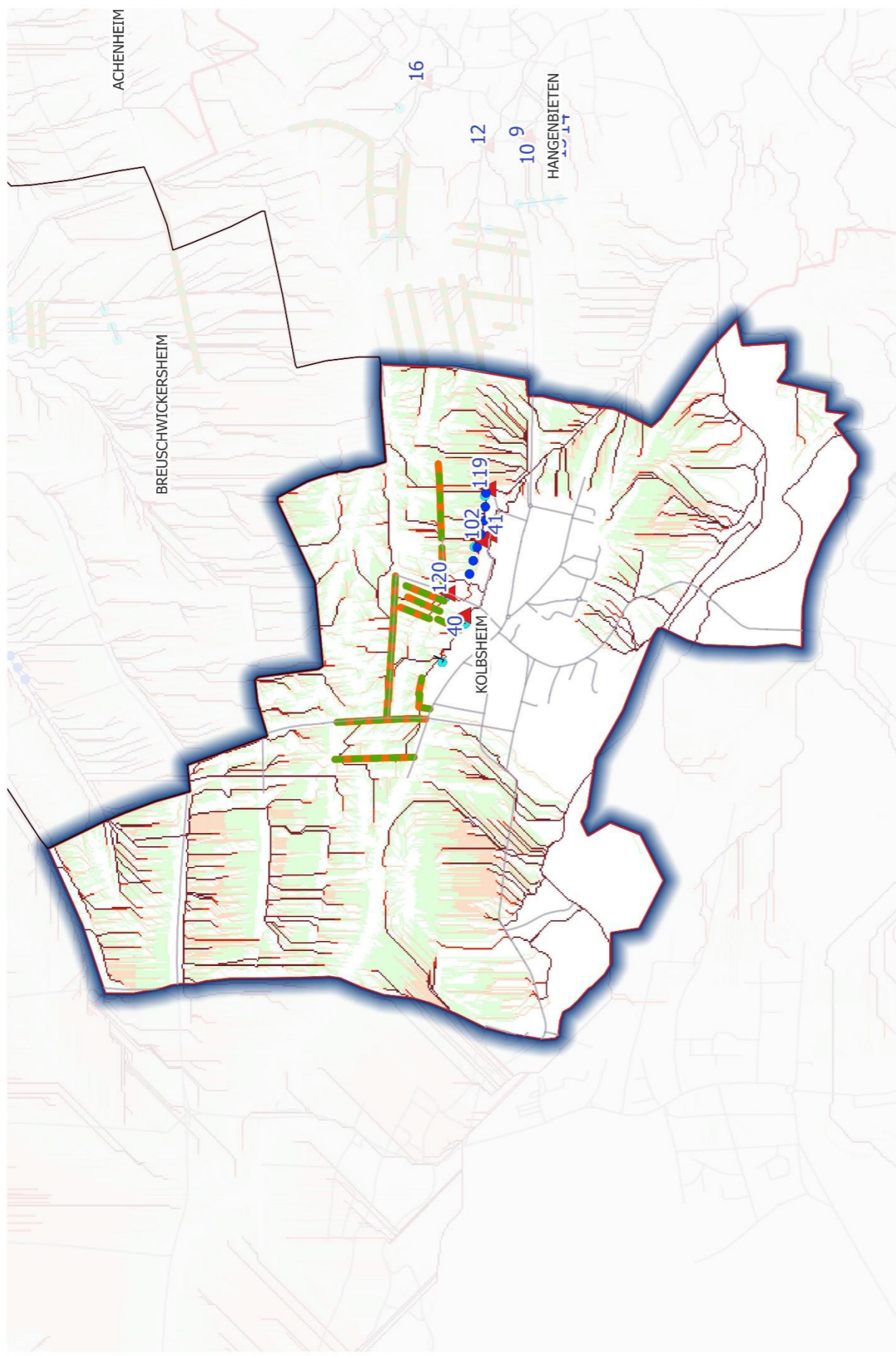
- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



0.6 0 0.6 1.2 km



Stratégie de gestion des coulées d'eaux boueuses - Kolbsheim



0.7 0 0.7

Légende

Administratif

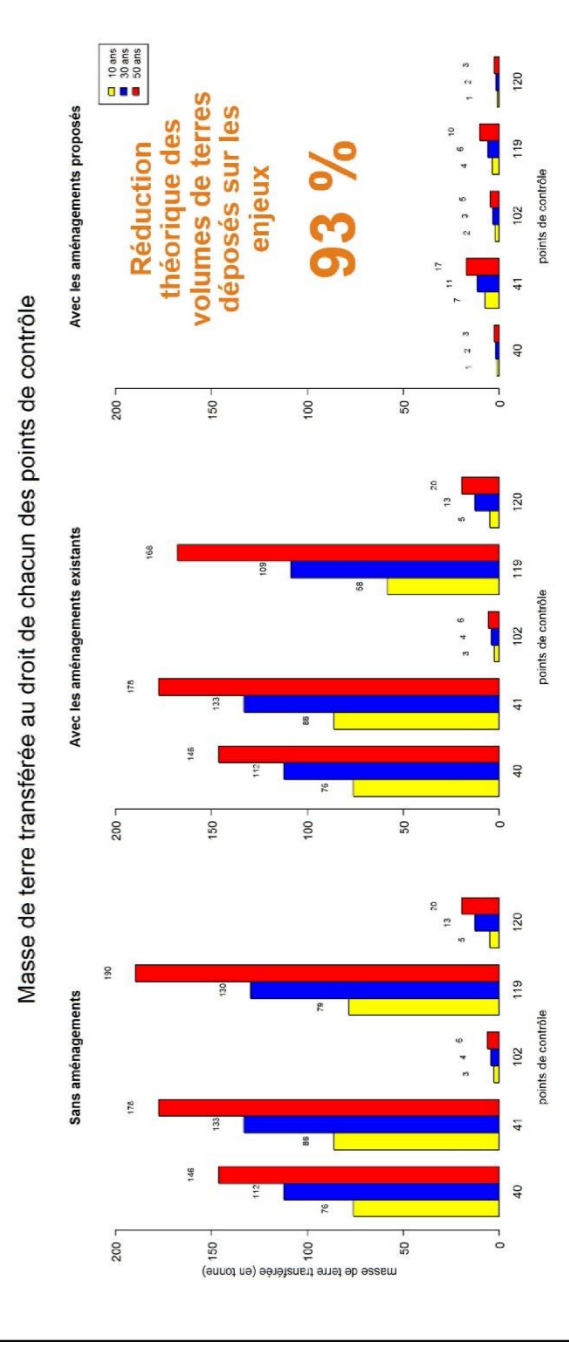
- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Ouvrages existants
- Bandes Enherbées
- ▬ Proposition Bandes enherbées

Proposition Fascines

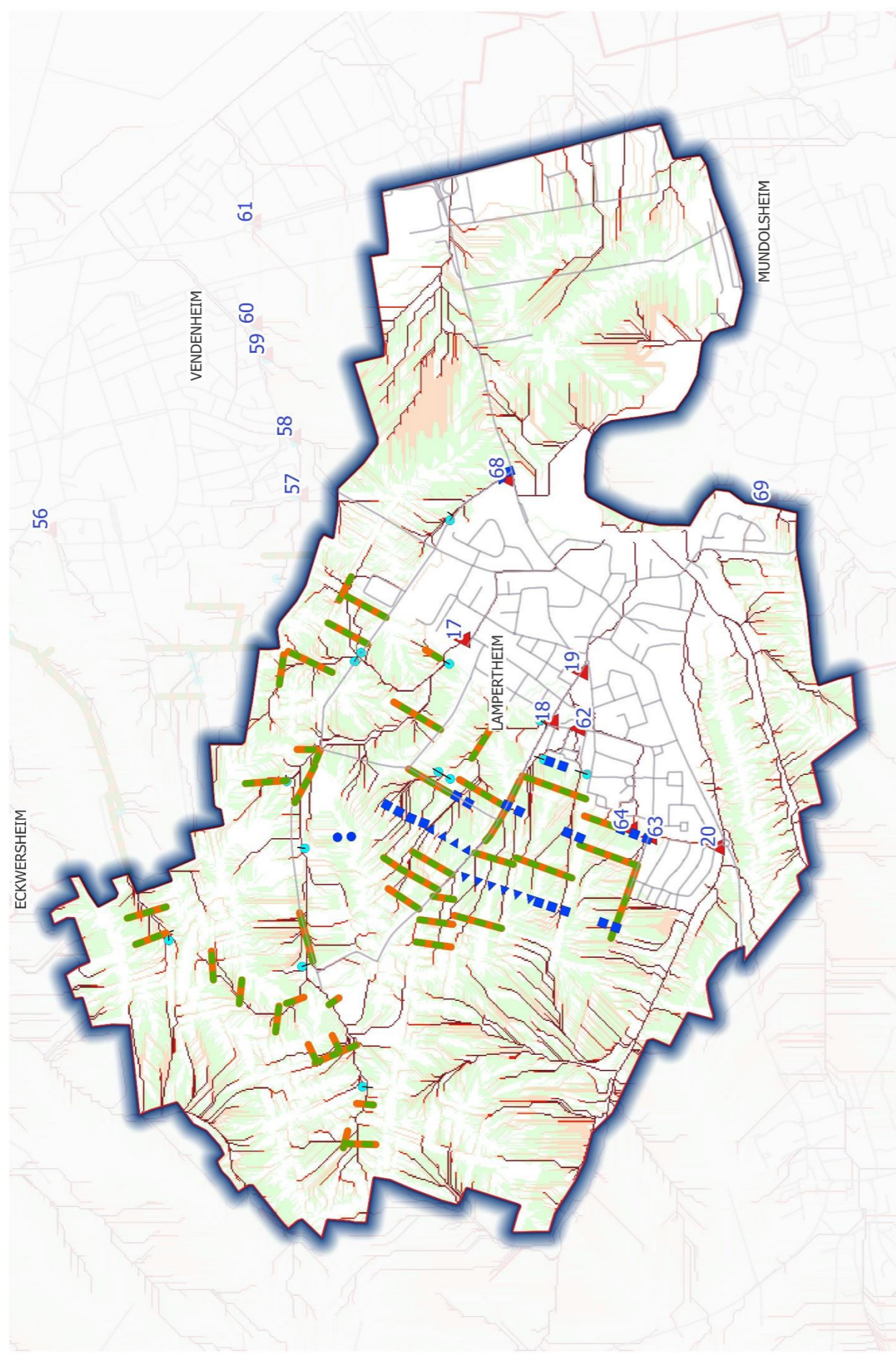
- Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquante
- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Kolbsheim



Stratégie de gestion des coulées d'eaux boueuses - Lampertheim



0.8



Légende

Administratif

- Routes principales
- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Points de contrôle
- Ouvrages existants
- Fascines
- ▲ Miscanthus
- Bandes Enherbées

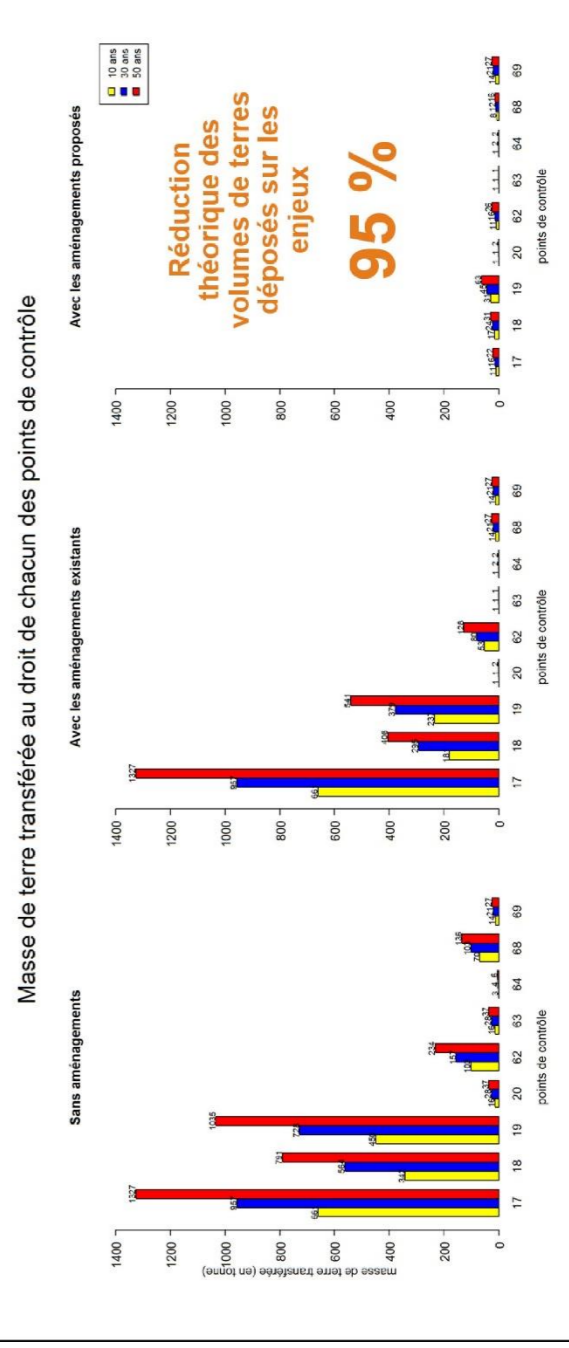
- Proposition Bandes enherbées
- Proposition Fascines

Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquantennale

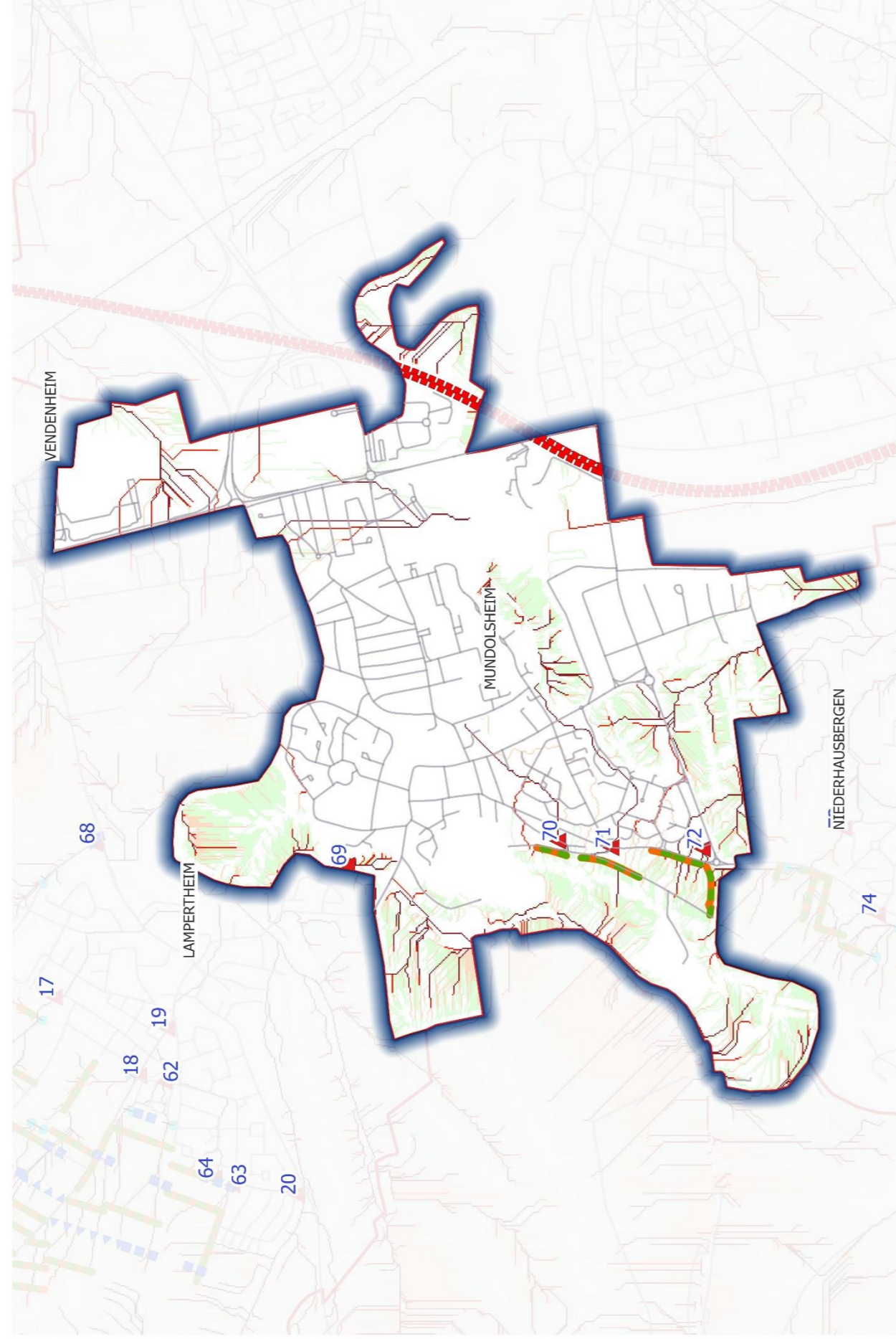
- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Lampertheim



Stratégie de gestion des coulées d'eaux boueuses - Mundolsheim



0.8



Légende

Administratif

- Routes principales
- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Points de contrôle
- Ouvrages existants
- Fascines
- ▲ Miscanthus

- Proposition Bandes enherbées
- Proposition Fascines

Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquantennale

- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)

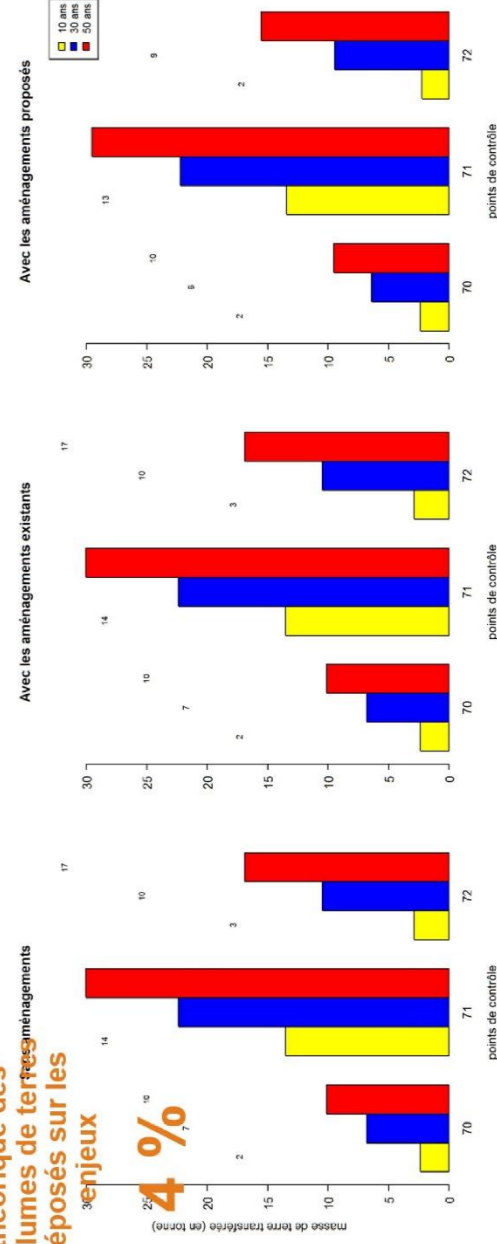


Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Mundolsheim

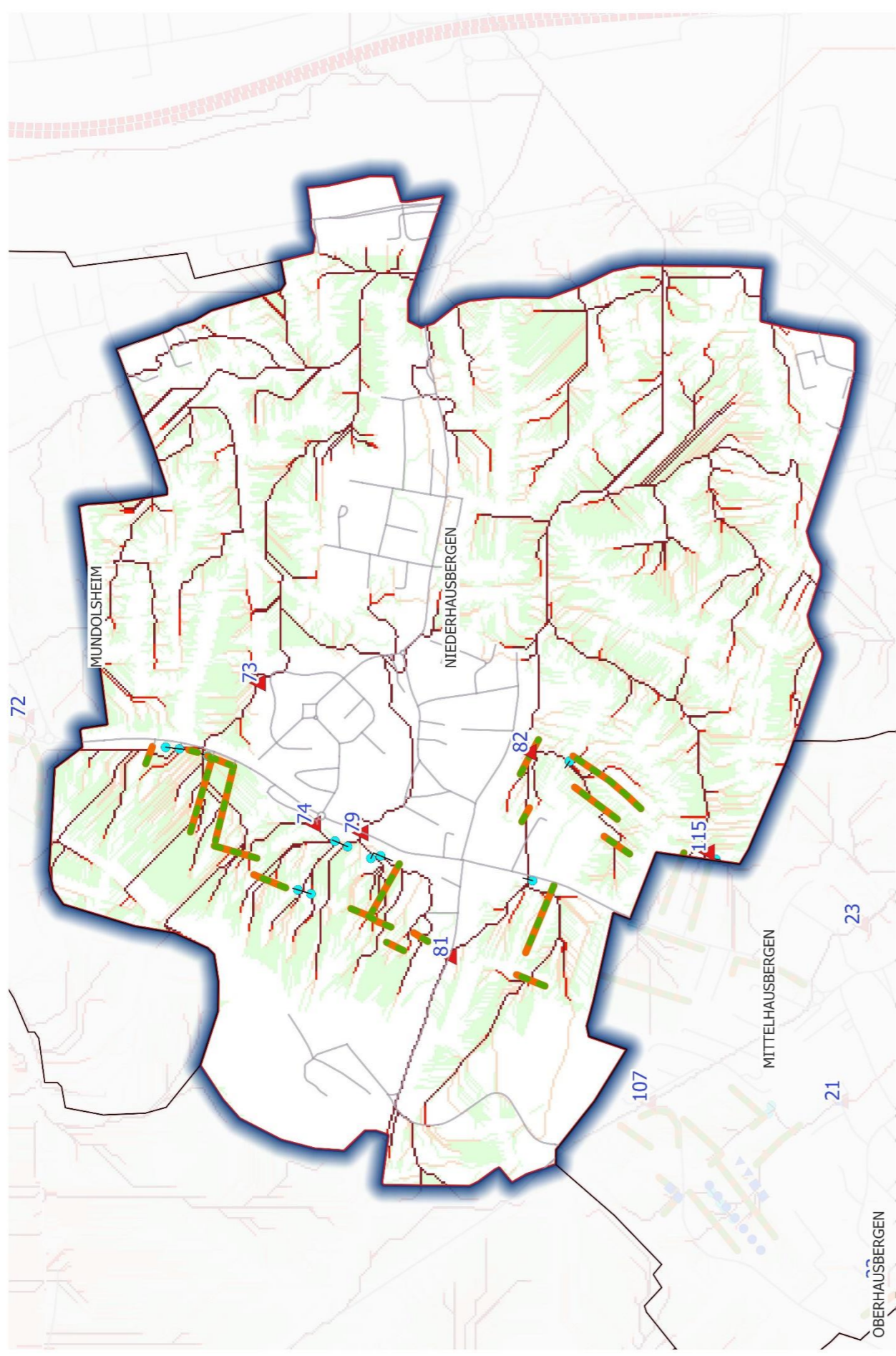
Réduction théorique des volumes de terres déposés sur les enjeux

4%

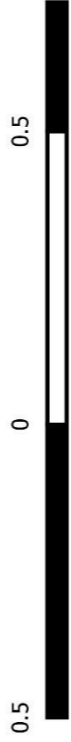
Masse de terre transférée au droit de chacun des points de contrôle



Stratégie de gestion des coulées d'eaux boueuses - Niederhausbergen



Légende



Administratif

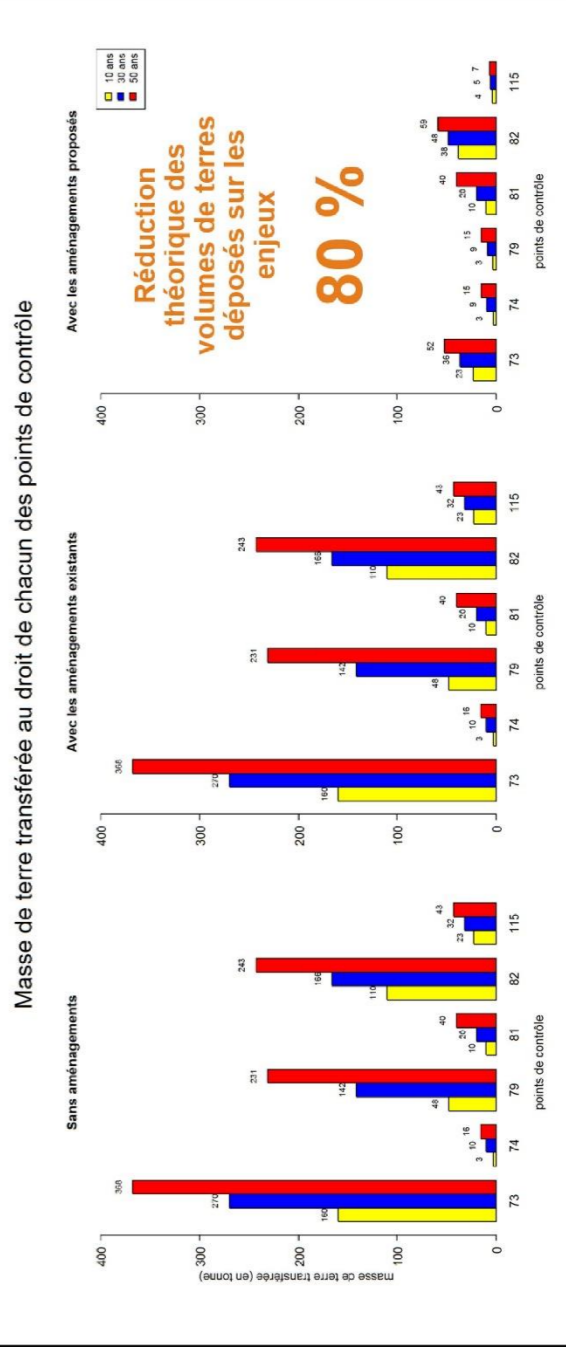
- Routes principales
- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Points de contrôle
- Ouvrages existants
- Fascines
- ▲ Miscanthus
- Bandes Enherbées

Proposition Bandes enherbées

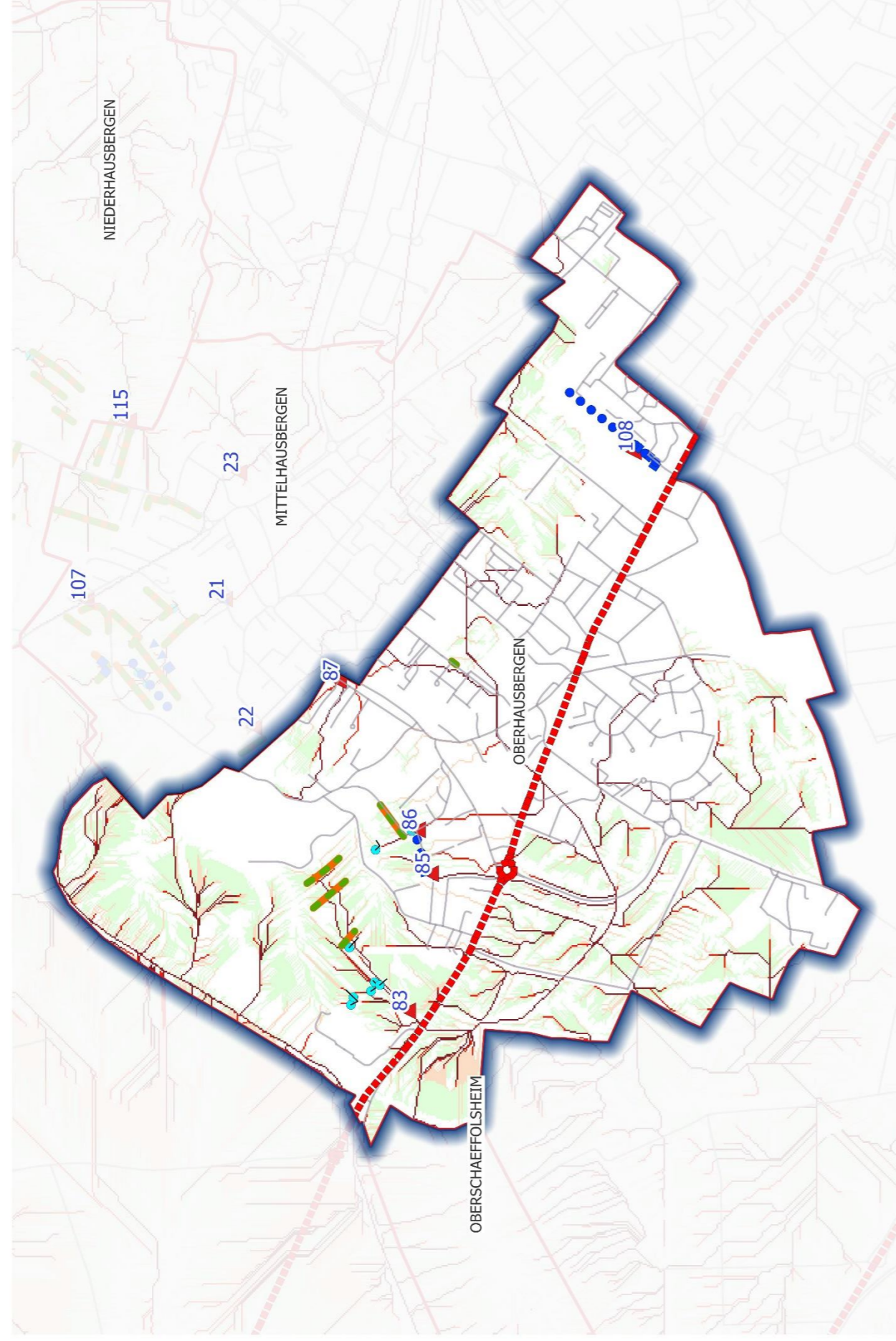
- Proposition Fascines
- Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquantennale
- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Niederhausbergen



Stratégie de gestion des coulées d'eaux boueuses - Oberhausbergen



0 0.7

Légende

Administratif

- - - Routes principales
- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Points de contrôle
- Ouvrages existants
- Fascines
- ▲ Miscanthus
- Bandes Enherbées

- Proposition Bandes enherbées
- - - Proposition Fascines

Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquantennale

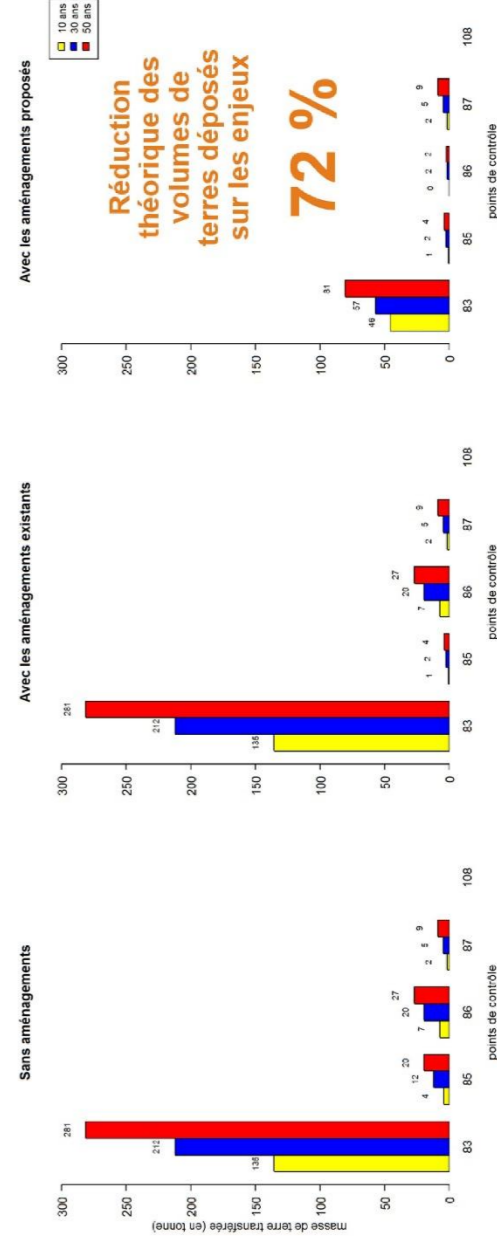
- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



Strasbourg.eu
eurometropole

Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Oberhausbergen

Masse de terre transférée au droit de chacun des points de contrôle



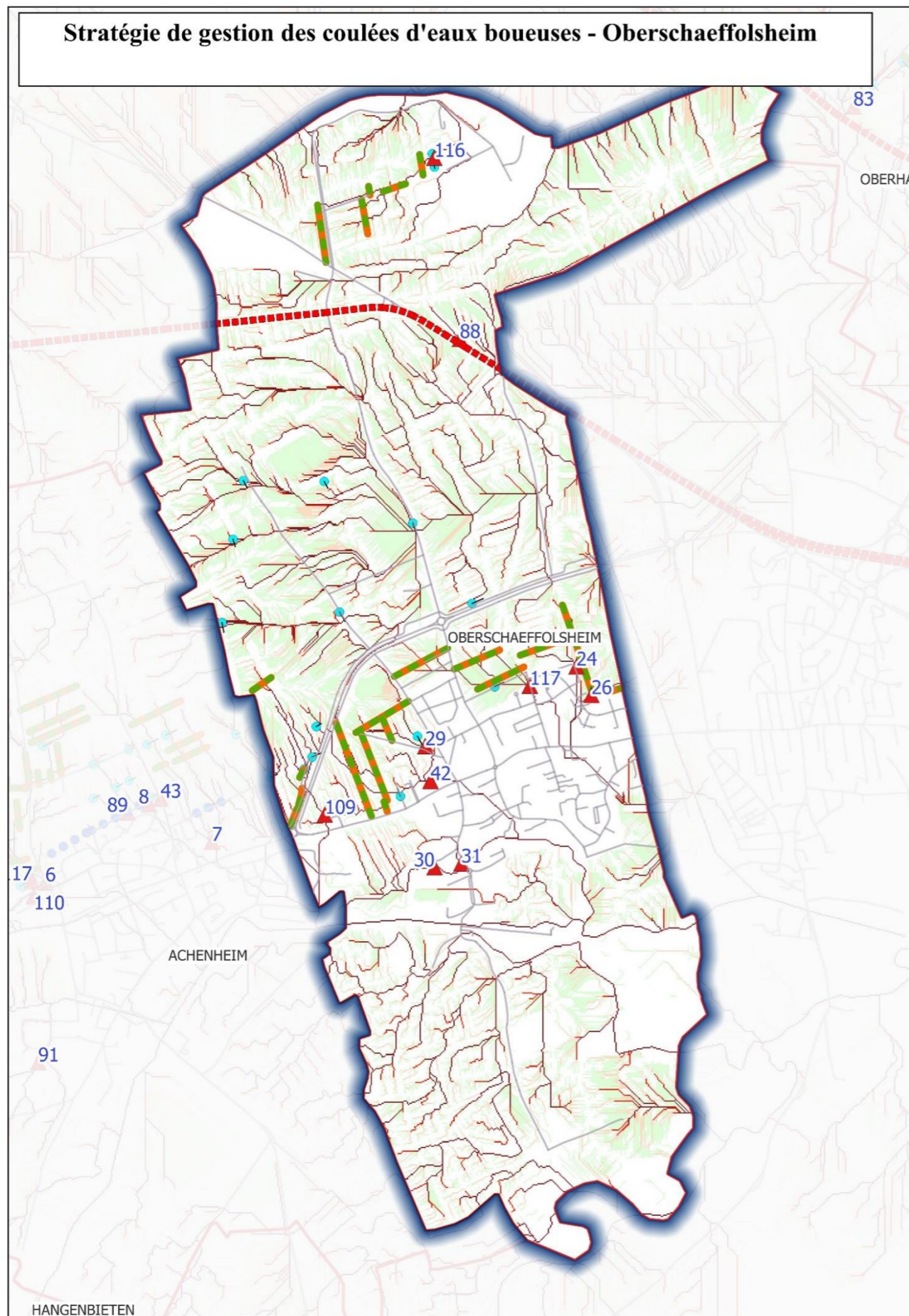
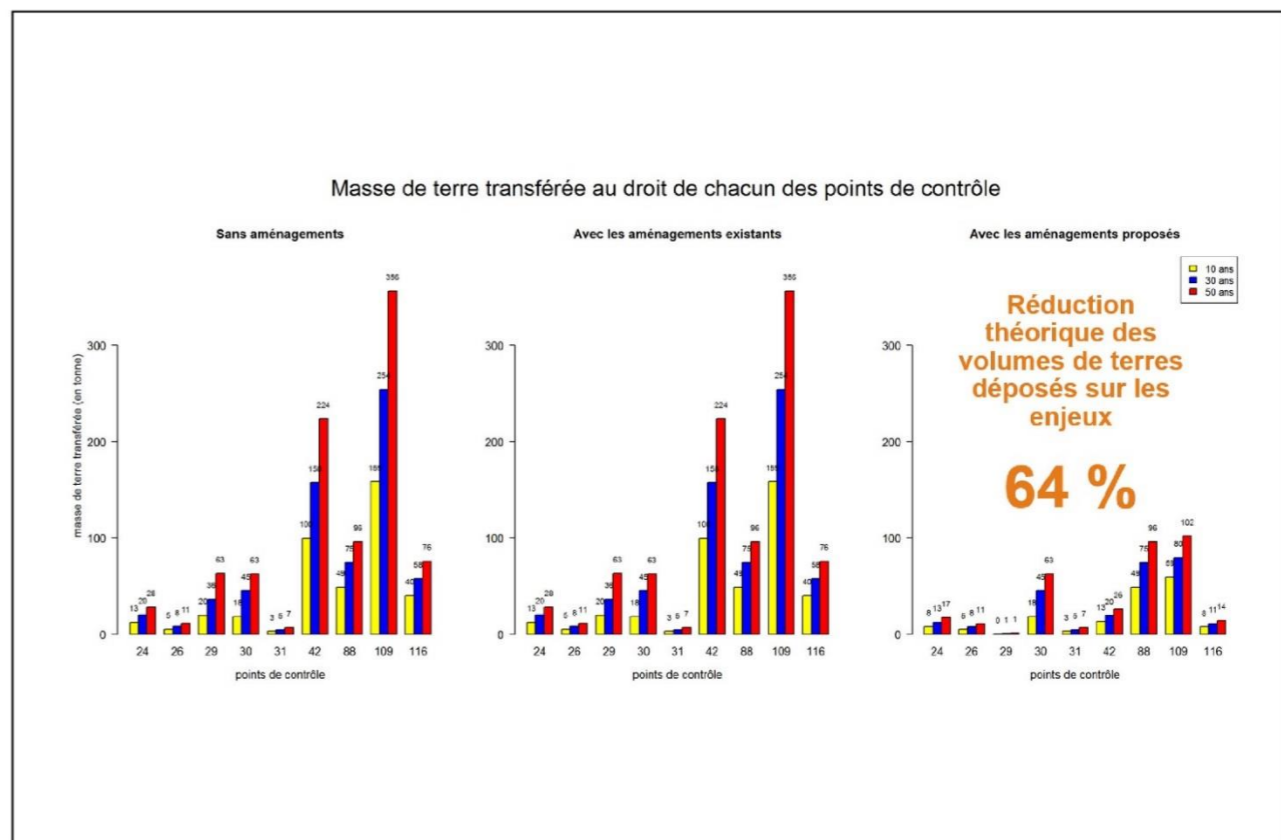


Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Oberschaeffolsheim



Légende

Administratif

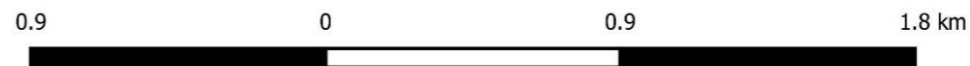
- Routes principales
- Routes secondaires
- ▭ Limites communales
- ▲ Points de contrôle

Ouvrages existants

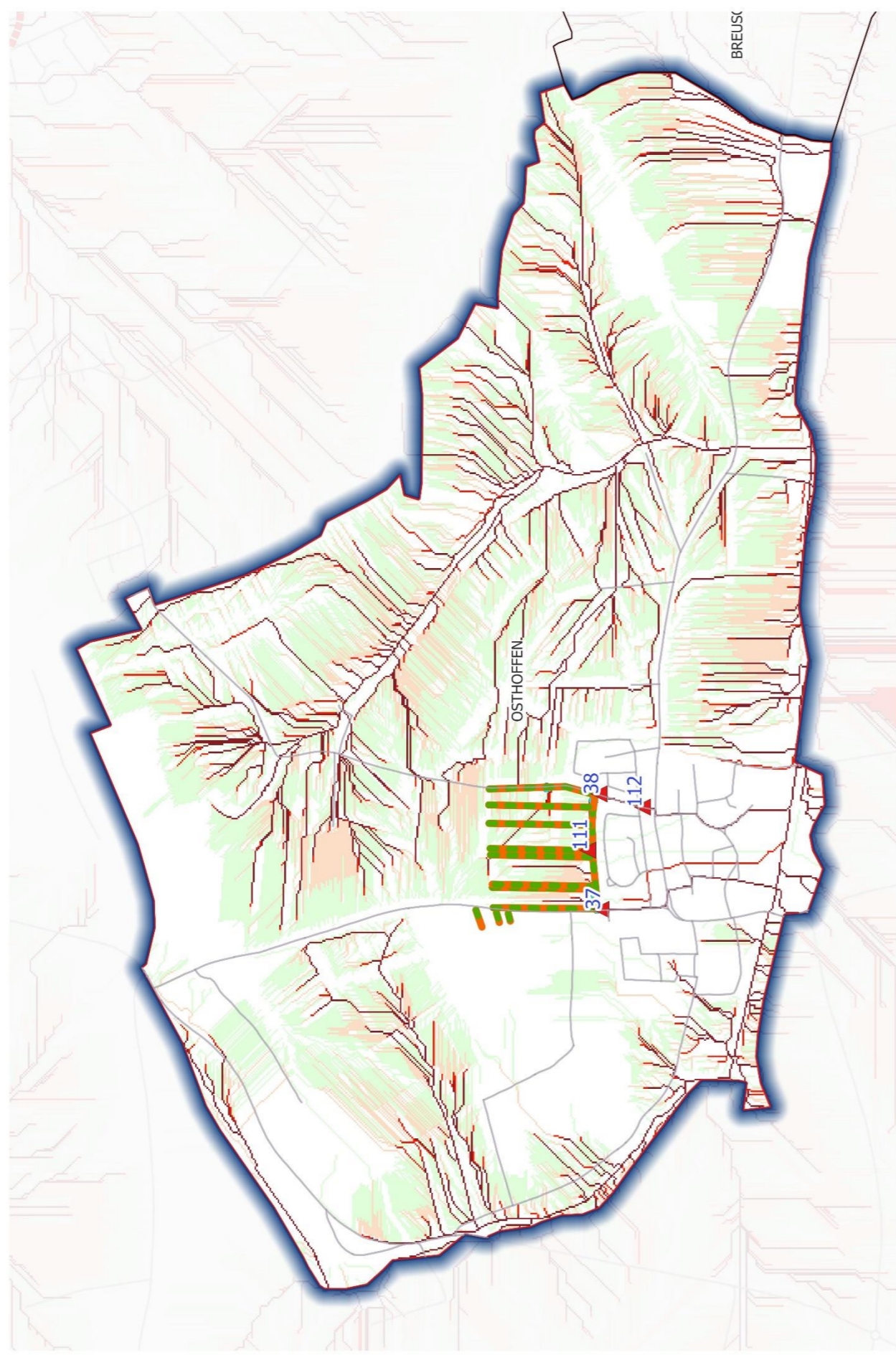
- Bandes Enherbées
- Proposition Bandes enherbées
- Proposition Fascines

Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquantennale

- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



Stratégie de gestion des coulées d'eaux boueuses - Osthoffen



0.6



Légende

Administratif

- Routes principales
- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Points de contrôle
- Proposition Bandes enherbées
- Proposition Fascines

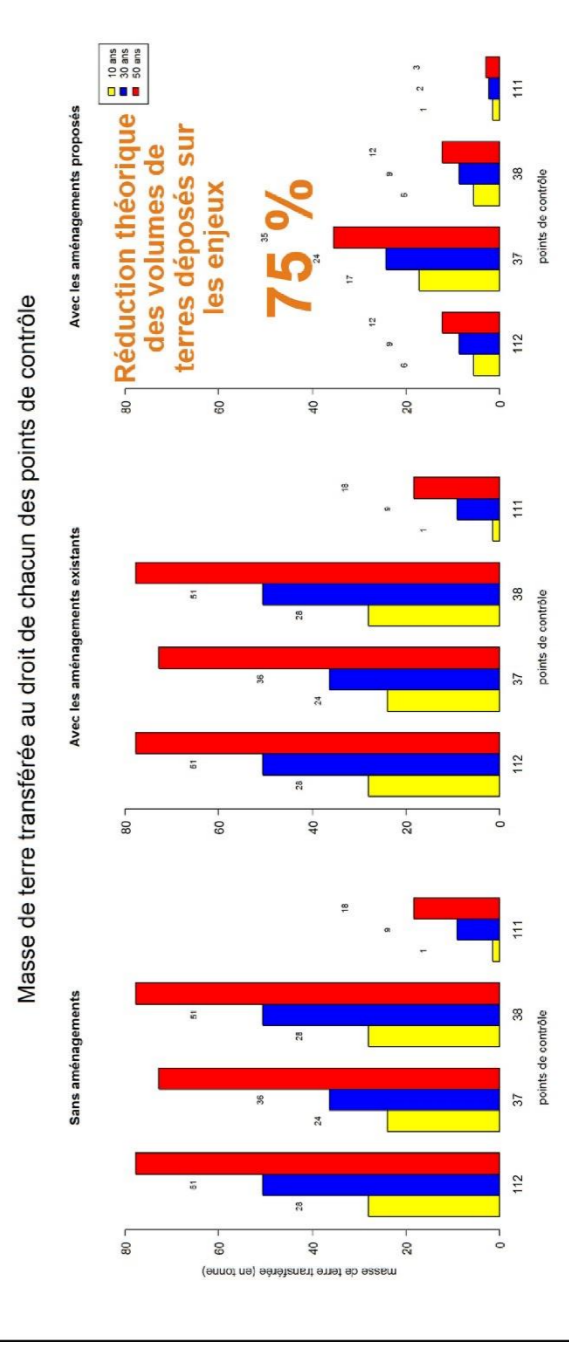
Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquant

- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)

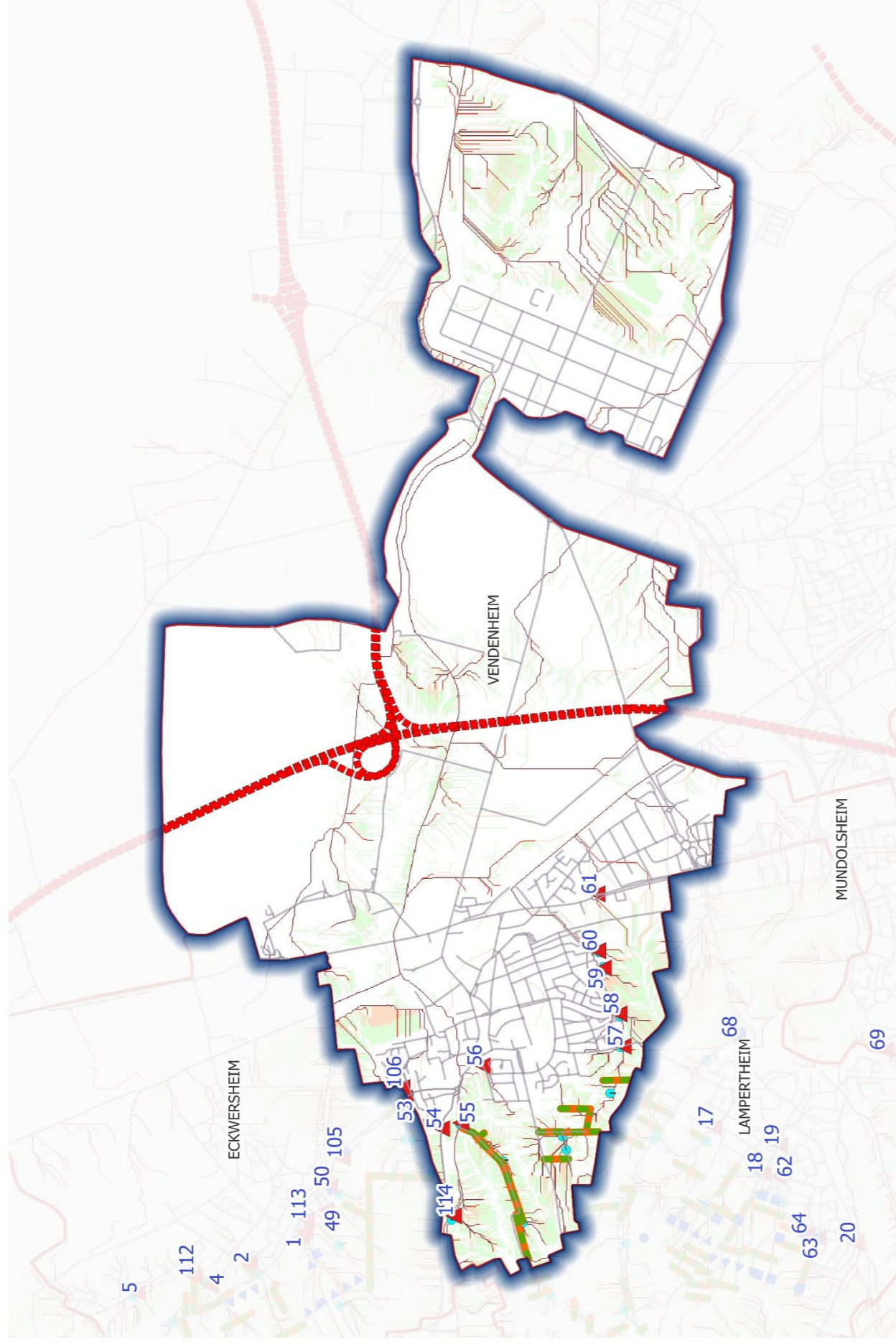


Strasbourg.eu
eurometropole

Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Osthoffen



Stratégie de gestion des coulées d'eaux boueuses - Vendenheim



Légende

Administratif

- - - Routes principales
- Routes secondaires
- Limites communales
- ▲ Points de contrôle
- Ouvrages existants
- Fascines
- ▲ Miscanthus
- Bandes Enherbées

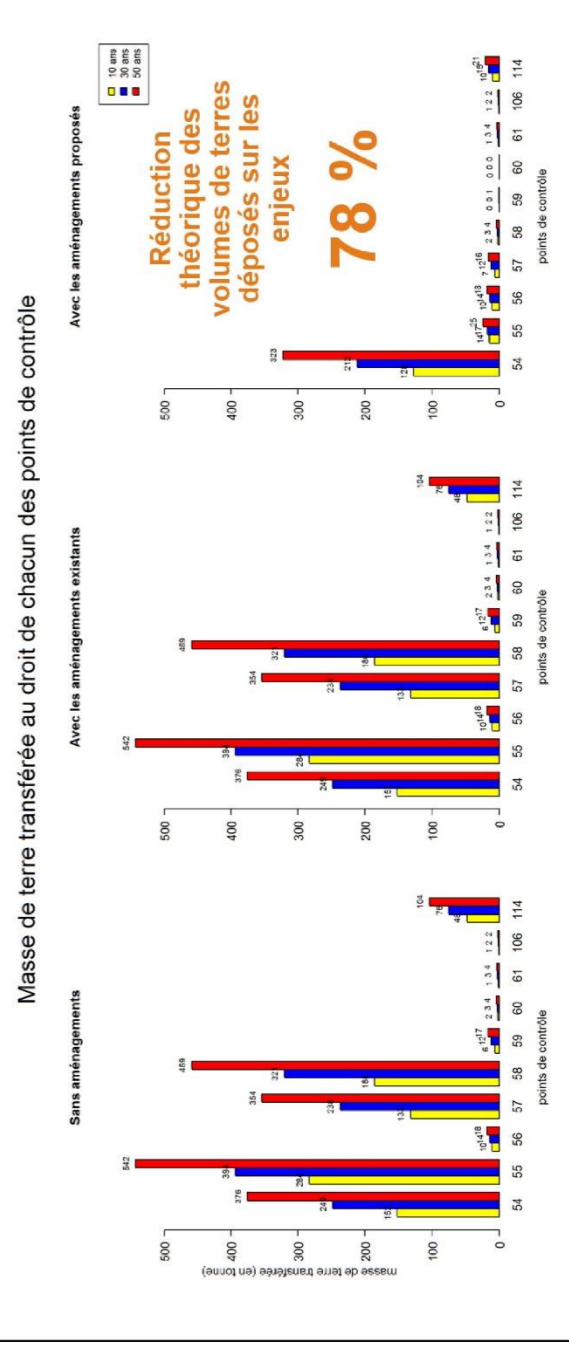
- Proposition Bandes enherbées
- Proposition Fascines

Aléa résiduel avec aménagements pour une pluie cinquantennale

- Aléa nul (0-50 kg)
- Aléa faible (50-250 kg)
- Aléa moyen (250-1300 kg)
- Aléa fort (1300-3000 kg)
- Aléa très fort (> 3000 kg)



Diagramme de réduction théorique des volumes de sédiment dans le cadre de l'application de la stratégie proposée - Vendenheim





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

**Direction régionale Grand Est
Délégation de Strasbourg**

Parc d'Activité Porte Sud – Bât H1
Rue du Pont du Péage

67118 – Geispolsheim – France

Tél. : 03 88 77 48 90