

Travail d'étude et de recherche 2016 - 2017 Mémoire

L'érosion des sols en Alsace – Actualisation des données archivées et définition de nouvelles cartographies



EMERIC Hugo
Master 1 Observation de la Terre et Géomatique
Encadrants : Anne ROZAN et Carine HEITZ

Source : Carine HEITZ



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Carine HEITZ et Anne ROZAN pour m'avoir encadré pendant ce stage et pour le temps qu'elles ont consacré à ce dernier notamment pour la relecture de ce mémoire.

Je tiens également à remercier Anne PUISSANT et l'équipe pédagogique du Master Observation de la Terre et Géomatique pour leurs enseignements.

Merci également à Bruno FLUHR pour m'avoir donné accès aux archives du Service Interministérielle de la Défense et de la Protection Civile.

Pour finir je remercie mes camarades de promo pour la bonne ambiance de travail et plus particulièrement Aurore pour son soutien et ses relectures.

Sommaire

Remerciements

Introduction	1
1 Etat de l'art	3
2 Les coulées d'eau boueuse sur le territoire alsacien.....	4
2.1 L'Alsace : un territoire sensible aux coulées d'eau boueuse ?.....	4
2.2 Formation des coulées d'eau boueuse.....	7
2.3 Des conséquences non négligeables.....	8
2.4 Les mesures de protection permettant de lutter contre ce risque.....	9
3 Méthodologie : une multitude de données pour cartographier le risque	11
3.1 Données utilisées et collectées	11
3.2 Mise à jour des bases de données	11
3.2.1 Préparation de la mise à jour	11
3.2.2 Mise à jour.....	12
3.3 Méthodologie de cartographie des coulées d'eau boueuse	13
3.3.1 Extraction des données pour l'analyse des coulées d'eau boueuse	13
3.3.2 Analyse de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse	13
3.3.3 Evolution de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse.....	14
3.3.4 Identification d'un phénomène à l'origine de l'évolution de la répartition spatiale	14
3.4 Méthodologie de cartographie des dommages causés par les coulées d'eau boueuse	15
4 Résultats	16
4.1 Analyse de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse	16
4.1.1 Une répartition spatialement concentrée.....	16
4.1.2 Une évolution marquée de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse	17
4.1.3 Les origines de cette évolution.....	19
4.2 Analyse de la répartition temporelle des coulées d'eau boueuse	20
4.2.1 L'été : une saison propice aux coulées d'eau boueuse	20
4.2.2 La répartition annuelle des coulées d'eau boueuse.....	21
4.2.3 Des évènements exceptionnels à l'origine de coulée d'eau boueuse	23
4.2.4 Une évolution de la répartition temporelle des coulées d'eau boueuse.....	23
4.2.5 Les précipitations : un lien de causalité	24

4.3	Analyse des conséquences économiques des coulées d'eau boueuse.....	25
4.3.1	La répartition des coûts par catégorie	25
4.3.2	La répartition des coûts au cours du temps	27
5	Discussion	29
	Conclusion	31
	Références bibliographiques.....	32
	Liste des figures.....	34
6	Annexes	35

Introduction

Les coulées d'eau boueuse sont un type particulier de mouvement de masse et représentent un risque fréquent pour les départements du Haut Rhin et du Bas Rhin. Une étude menée par *Van Dijk et al en 2016* a mis en évidence que près de 204 communes de ces deux départements ont été touchées au moins une fois par ce phénomène entre 1985 et 2014.

Les coulées d'eau boueuse surviennent généralement dans les zones agricoles à la suite d'un événement pluvieux localisé et intense et se traduisent par des écoulements chargés de sédiments qui convergent de l'amont vers l'aval. Ainsi les zones urbanisées situées à proximité et en aval des cultures sont particulièrement exposées à ce risque. De nombreux dégâts matériels sont d'ailleurs souvent recensés (voitures emportées, routes endommagées) tout comme des dégâts dans les parcelles agricoles.

Pour lutter contre ce phénomène, de nombreuses mesures sont et ont été prises par les collectivités et les pouvoirs publics. Par exemple, depuis 1982, les victimes de coulées d'eau boueuse sont indemnisées au titre de catastrophe naturelle, engageant ainsi l'Etat à les indemniser. Pour être éligible à cette indemnisation, les communes touchées doivent déposer un dossier de demande de reconnaissance de catastrophe naturelle (dossier CATNAT) approuvé par une commission interministérielle.

Ce travail d'étude s'inscrit dans le cadre du projet GERIHCO (Gestion des Risques et Histoires des Coulées d'eau Boueuse). GERIHCO est un programme de recherche pluridisciplinaire qui a pour ambition d'analyser finement les enjeux (en termes de processus, pratiques, comportements, actions de protection etc.) liés aux coulées d'eau boueuse. Ce programme de recherche existe depuis 2005 et en est actuellement à sa 3ème phase de financement (principalement par l'Agence de l'Eau Rhin Meuse et la région Grand Est). Le projet actuel se concentre sur les points suivants :

- Les pratiques en amont permettant de réduire le risque d'érosion ;
- Les techniques en aval limitant les coulées d'eau boueuse ;
- L'analyse paysagère (et notamment l'analyse des systèmes de haies anciennes).

C'est dans ce contexte que les membres du projet GERIHCO souhaitent actualiser les données brutes liées aux événements survenus en Alsace dans le but de produire de nouvelles cartographies de risque, de fréquences et d'exposition. Cependant, cette mise à jour n'est pas le seul objectif : les dossiers CATNAT peuvent contenir des informations précisant les dommages supportés par les collectivités, les particuliers et les entreprises lors de coulées d'eau boueuse. L'ajout de ces nouvelles données dans la base de données permettrait ainsi de compléter le corpus de cartes relatives au risque de coulée d'eau boueuse dans toutes ses dimensions.

Ce travail d'étude permettra de répondre à la question suivante : quelle est l'évolution spatiale, temporelle et des conséquences économiques des coulées d'eau boueuse en Alsace entre 1985 et 2016 ? Pour y répondre, ce travail d'étude est divisé en 3 objectifs reprenant chacun les trois dimensions du problème. Nous nous intéressons :

- dans un premier temps à l'évolution spatiale des coulées d'eau boueuse en identifiant les dynamiques érosives sur le territoire alsacien ;

- dans un deuxième temps à l'évolution temporelle des coulées d'eau boueuse sur la période d'étude ;
- puis à l'évolution des conséquences économiques des coulées d'eau boueuse.

La première partie de ce travail a pour but de présenter les travaux qui ont d'ores et déjà été réalisés dans ce domaine et qui serviront de base à notre étude.

La deuxième partie a pour objectif de présenter brièvement l'Alsace, dont certaines petites régions sont exposées aux coulées d'eau boueuse. Les caractéristiques physiques de ces zones particulières où de nombreuses coulées d'eau boueuse ont été recensées seront également détaillées. Puis nous présenterons plus en détail les processus entrant en jeu dans la formation des coulées d'eau boueuse, les conséquences que de tels phénomènes peuvent engendrer et pour finir les mesures permettant de limiter la survenance de ce risque.

La troisième partie sera exclusivement consacrée à la méthodologie utilisée pour répondre à la problématique formulée précédemment, les données utilisées et les différents traitements appliqués y seront exposés.

La partie suivante présentera les résultats obtenus concernant l'évolution de la répartition spatiale, temporelle et des conséquences des coulées d'eau boueuse.

Pour finir, la dernière partie portera sur les limites des résultats obtenus, des données et des outils utilisés tout au long de ce travail.

1 Etat de l'art

Dans le cadre d'une Maîtrise, une base de données recensant les coulées d'eau dans le département du Haut Rhin a été mise à jour par *Heitz (2004)*. Cette mise à jour a été effectuée à partir des demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (CATNAT) archivées dans les services déconcentrés de l'Etat. L'analyse de cette base de données a fait ressortir diverses informations sur les coulées d'eau boueuse. En effet, l'analyse de la répartition temporelle et plus précisément de la répartition mensuelle a mis en évidence que ces dernières survenaient principalement durant les mois de Mai et Juin. L'analyse des dégâts a également fait ressortir que les particuliers sont les plus exposés à ce risque, entre 1995 et 2003, ces derniers étant affectés par 88% des dégâts recensés.

En 2005, *Auzet et al* ont mené une étude faisant suite à celle menée par *Heitz (2004)*. Cette étude avait pour objectif de recenser les coulées d'eau boueuse entre 1985 et 2003 dans le département du Bas Rhin. Pour ce faire, une base de données a été constituée à partir des demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle. L'étude de la base de données a souligné que dans le Bas Rhin, les coulées d'eau boueuse surviennent majoritairement en Mai et Juin et que la zone la plus touchée par ce risque est la petite région du Kochersberg.

La sensibilité à l'érosion des sols en Alsace a été calculée par *Van Dijk et al (2009)*. Pour ce faire, la méthode MESALES (Méthode d'Evaluation Spatiale de l'Aléa d'Erosion des Sols) mise au point par *Cerdan et al (2006)* a été utilisée. Cette méthode s'appuie sur un arbre de décision prenant en compte les caractéristiques du sol, l'occupation du sol et la topographie.

Une étude similaire à celle que nous avons réalisée a été menée par *Bourguignon (2014)*. Cette étude portait sur l'analyse spatio-temporelle des dommages assurés en France pour le risque d'inondation.

Pour cette étude, une base de données sur les sinistres inondations a été constituée à partir de données provenant de plusieurs compagnies d'assurances. L'analyse de cette base de données a permis de réaliser plusieurs constats. Tout d'abord, il est essentiel de distinguer les sinistres de particuliers des sinistres de professionnels, le coût de ces derniers étant généralement quatre fois plus élevés que pour les particuliers. De plus, l'analyse de la distribution des dommages au cours du temps n'a montré aucune tendance vis-à-vis de l'augmentation ou de la diminution du coût des inondations, celui-ci étant caractérisé par une forte variation interannuelle et inter-mensuelle. Enfin, il s'est avéré que les événements de grande ampleur engendrant d'importants dommages ont une influence importante sur les données. En effet, ils ont tendance à entraîner une sur-représentation de certains événements, notamment en termes de coût financier.

2 Les coulées d'eau boueuse sur le territoire alsacien

2.1 L'Alsace : un territoire sensible aux coulées d'eau boueuse ?

❖ Une occupation du sol tournée vers l'agriculture

Le territoire alsacien peut se diviser en trois parties distinctes : la plaine, le piémont des Vosges et la montagne des Vosges. La plaine est caractérisée par une occupation du sol essentiellement tournée vers l'agriculture avec l'exploitation de nombreuses cultures annuelles (voir Figure 1) et par la présence de grands pôles urbains tels que Strasbourg, Mulhouse ou encore Colmar (voir Figure 2). Le piémont est également caractérisé par une orientation agricole marquée, mais contrairement à la plaine cette agriculture s'exerce principalement sur des cultures permanentes telles que les vignes et les vergers. La montagne des Vosges quant à elle est très peu urbanisée et est essentiellement composée de surfaces forestières et de quelques prairies et vergers localisés dans les vallées.

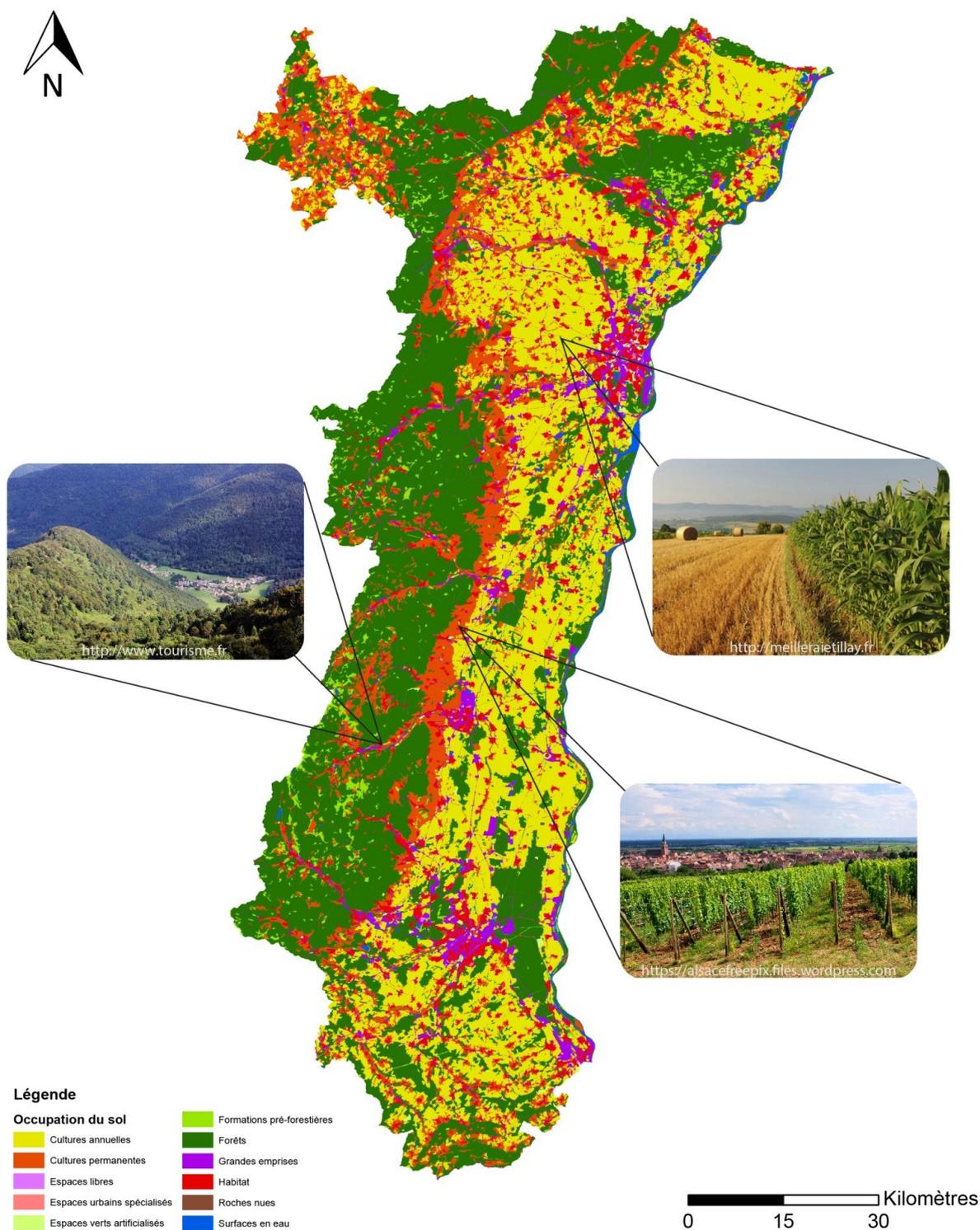
L'occupation du sol joue un rôle important dans la formation des coulées d'eau boueuse, en effet, en fonction de l'occupation du sol ces dernières sont plus à même à se former, les surfaces agricoles étant les plus favorables à la formation des coulées d'eau boueuse. De ce fait, les zones particulièrement sensibles à l'érosion se situent dans les secteurs de collines.

En Alsace, la surface agricole utile représente ainsi près de 40% de la superficie du territoire (Agreste, 2016). L'agriculture est principalement tournée vers l'exploitation céréalière favorisée par la présence d'une importante nappe phréatique rhénane sous la plaine d'Alsace et les subventions de la Politique Agricole Commune (PAC) dans ce domaine. Cette orientation agricole participe ainsi à la formation des coulées d'eau boueuse.

	Superficie agricole en hectares		
	Bas Rhin	Haut Rhin	Total
Céréales	106100	75900	182000
Oléagineux	3400	4800	8200
Betteraves	5300	1000	6300
Pommes de terre	900	300	1200
Fourrage	70300	40200	110500
Vignes	6902	9121	16023

Figure 1: Principales cultures dans le Bas Rhin et le Haut Rhin – Agreste, Statistique Agricole, 2016

Occupation du sol - Départements du Bas Rhin et du Haut Rhin



Carte réalisée par EMERIC Hugo le 09/05/2017

Source : Occupation du sol CIGAL 2012

Figure 2 : Cartographie de l'occupation du sol sur le territoire alsacien

❖ *Un climat favorable aux coulées d'eau boueuse*

Du fait d'une topographie particulière, l'Alsace est soumise à deux climats différents. La plaine d'Alsace est soumise à un climat semi-continental caractérisé par des hivers froids et des étés chauds et orageux tandis que la montagne des Vosges est soumise à un climat montagnoux. Cette différence de climat se traduit notamment par des différences de précipitations, la plaine bénéficiant de hauteurs de précipitations faibles de l'ordre de 800 mm par an (voir figure 3) contrairement aux Vosges où les précipitations sont très élevées et varient entre 1500 et 2000 mm par an (*Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt Grand Est*). Les précipitations de manière générale et plus précisément les orages étant l'élément déclencheur des coulées d'eau boueuse, le climat alsacien favorise la survenance de ces dernières.

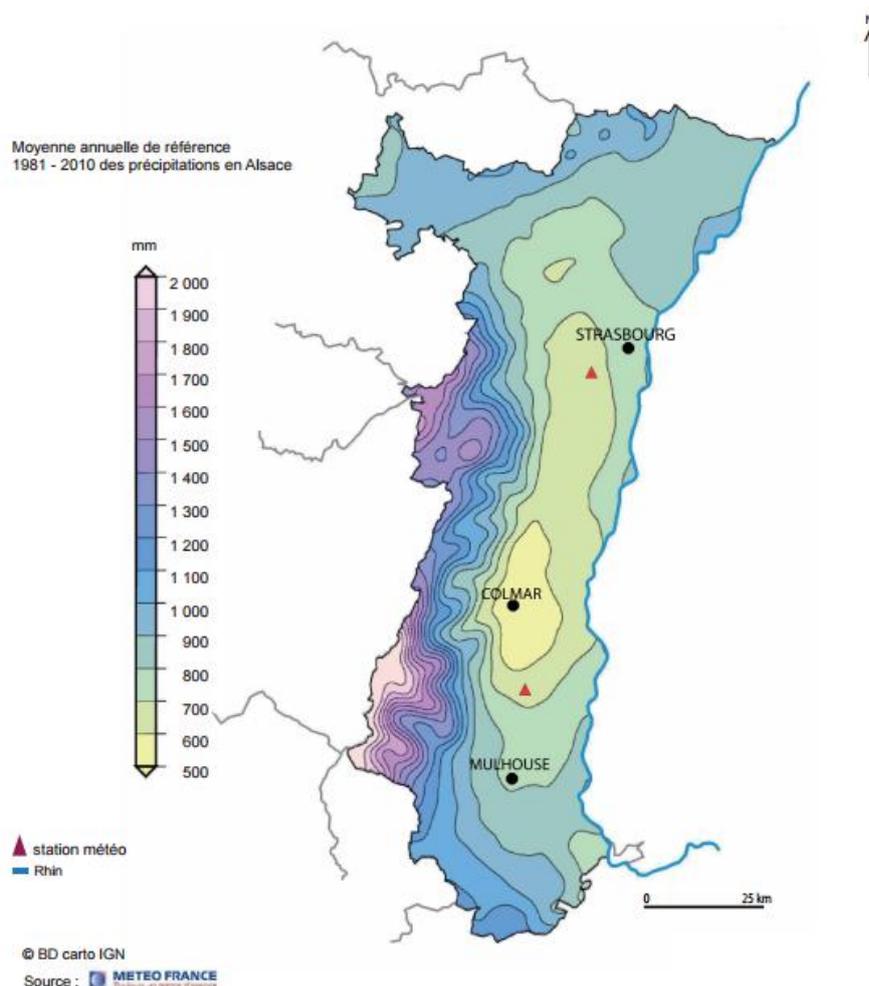


Figure 3 : Moyenne des précipitations annuelles en Alsace – DRAAF Grand Est

Quatre zones particulièrement exposées aux coulées d'eau boueuse ont d'ores et déjà été identifiées par Heitz (2004) et Auzet et al (2005) : l'Outre Forêt, le Kochersberg, le secteur de vignoble et le Sundgau (Voir Annexe 1 : Localisation des zones fréquemment exposées aux coulées d'eau boueuse). Les caractéristiques physiques de ces quatre zones vont à présent être détaillées dans la suite de cette partie.

❖ **Des zones aux reliefs vallonnés**

L'Outre Forêt située dans le Nord du Bas Rhin est une petite région composée d'une succession de collines limoneuses d'altitudes comprise entre de 200 mètres et 500 mètres débouchant sur la plaine d'Alsace (Voir Annexe 2 : Relief des zones touchées par les coulées d'eau boueuse). Les collines limoneuses forment un ensemble de vallées caractérisées par des pentes d'en moyenne 3 degrés qui contrastent avec la plaine d'Alsace où les pentes sont généralement inférieures à 2 degrés.

La zone du Kochersberg est très similaire à l'Outre Forêt, en effet celle-ci est composée de collines limoneuses allant de 150 mètres à 400 mètres d'altitude et d'une pente moyenne de 3 degrés.

Le secteur de vignoble situé dans le Nord-Ouest du Haut Rhin est situé à cheval entre la montagne des Vosges, le piémont des Vosges et la plaine d'Alsace formant ainsi un relief varié allant de 160 mètres à 1300 mètres d'altitude. Les Vosges forment un ensemble de vallées escarpées avec des pentes d'en moyenne 10 degrés pouvant atteindre jusqu'à 40 degrés.

Le Sundgau situé dans le Sud du Haut Rhin est composé de collines d'une altitude moyenne de 350 mètres caractérisées par de faibles pentes allant de 1 degré à 7 degrés.

Globalement, ces quatre zones possèdent une topographie similaire et particulièrement sensible à l'érosion. En effet, malgré des valeurs de pentes relativement faibles celles-ci sont suffisantes pour entraîner de l'érosion hydrique, phénomène à l'origine des coulées d'eau boueuse.

❖ **Des caractéristiques pédologiques favorables aux coulées d'eau boueuse**

En plus d'une topographie identique, ces quatre zones possèdent des caractéristiques pédologiques similaires. En effet, une étude des sols réalisée par l'ARAA entre 1999 et 2008 (*Jean-Paul PARTY, 2001 ; Anne LEBRETON-THALER, 2001 ; Jean-Paul PARTY, 2003 ; Nicolas MULLER, 2005*) sur territoire alsacien a permis de mettre en évidence que les quatre zones sont essentiellement constituées de sols limoneux issus de lœss lehmifiés (Outre Forêt et Sundgau du Sud) ou de lœss (Kochersberg, Sundgau du Nord et secteur de vignoble). Ce type de sol est extrêmement sensible au phénomène d'érosion hydrique de par sa faible teneur en matière organique qui traduit une faible stabilité structurale (*Chenu et al, 2011*).

Ainsi, de par ces caractéristiques, certains secteurs du territoire alsacien sont particulièrement exposés aux risques de coulées d'eau boueuse. Nous allons à présent voir plus en détail les processus menant à la formation de tels phénomènes.

2.2 Formation des coulées d'eau boueuse

Les coulées d'eau boueuse sont un phénomène fréquent en Alsace, cependant celles-ci ne se forment que lorsque plusieurs facteurs sont réunis (*Auzet et al 2005 ; Van Dijk et al 2005*). Le principal facteur à l'origine des coulées d'eau boueuse est l'érosion hydrique définie par *Van Dijk et al (2016)* comme étant « un processus de détachement, de transport et de dépôt des particules de la surface du sol sous l'action de l'eau, c'est-à-dire des précipitations et du ruissellement ». Ce processus peut survenir lorsque l'intensité des précipitations est supérieure à l'infiltrabilité du sol,

dans ce cas on parle de ruissellement hortonien. Lorsque les précipitations surviennent sur des surfaces qui sont d'ores et déjà saturées en eau, on parle alors de ruissellement par saturation (*Le Bissonnais et al, 2002*). Ainsi, les conditions météorologique jouent un rôle prépondérant dans la formation des coulées d'eau boueuse : pour qu'un processus d'érosion hydrique se déclenche, des évènements pluvieux doivent avoir lieu (*Auzet et al 2005 ; Van Dijk et al 2005*). Le dernier facteur, la nature des sols, participe aussi de façon importante au phénomène. En effet en fonction de leur infiltrabilité (définie par *Le Bissonnais et al (2002)* comme « la quantité maximum d'eau qui s'infiltré dans le sol au temps t »), les sols sont plus ou moins sensibles à l'érosion.

L'infiltrabilité des sols est fortement liée à leur stabilité structurale, définie par *Chenu et al (2011)* comme étant « l'aptitude des agrégats du sol à résister à l'action désagrégante de l'eau lors d'épisodes pluvieux ». Cette stabilité structurale peut être dégradée par plusieurs mécanismes physiques et physico-chimiques menant à la formation d'une croûte de battance (voir Figure 4), on peut notamment citer :

- l'éclatement des agrégats qui survient « lorsque des agrégats secs sont rapidement réhumectés » (*Le Bissonnais et al 1995*)
- la désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie, en frappant le sol les gouttes de pluies divise les agrégats en micro-agrégats (*Farres, 1987*).



Figure 4 : Différentes étapes de la dégradation structurale sur sol limoneux (*Le Bissonnais et al, 2002*)

Dans le Bas Rhin et le Haut Rhin, tous ces facteurs sont généralement réunis et des coulées d'eau boueuse surviennent dans les secteurs de cultures situés sur des collines limoneuses qui sont caractérisées par un sol particulièrement faible en matière organique traduisant une faible stabilité structurale (*Auzet, 1987 ; Boiffin et al. 1988 ; Le Bissonnais et Gascuel-Odoux, 1998*). Durant la période de mai à juin de nombreux orages sont recensés et les fortes précipitations conduisent à un processus d'érosion hydrique. De plus, cette période précède la récolte de nombreuses cultures exploitées dans ces deux départements, par conséquent durant ces deux mois la couverture végétale des sols est extrêmement faible. La végétation ne recouvrant que partiellement le sol, celle-ci n'intercepte qu'une partie des précipitations, les gouttes de pluies heurtent donc directement le sol et mènent à la formation d'une croûte de battance qui favorise le processus d'érosion hydrique.

2.3 Des conséquences non négligeables

Comme nous avons pu l'évoquer précédemment, les coulées d'eau boueuse peuvent provoquer d'importants dégâts matériels et agricoles. En effet, la force générée par les coulées d'eau boueuse peut être suffisamment importante pour emporter les véhicules, endommager les façades d'habitations, détruire les cultures agricoles et l'eau chargée en sédiments peut également provoquer des dégâts des eaux dans les habitations. De plus, les sédiments et débris déposés suite au passage d'une coulée d'eau boueuse peuvent perturber la circulation sur les voies de

communications. Tous ces dommages engendrent donc un coût important pour les collectivités, les particuliers et les entreprises.

Outre les dommages matériels, les coulées d'eau boueuse entraînent également une dégradation des sols, une dégradation de la qualité des eaux induite par le transport de sédiments et de polluants qui peut conduire à une dégradation des écosystèmes aquatiques qui recueillent les eaux de ruissellement (*Le Bissonnais et al, 2002*).

A titre d'exemple, citons la commune de Romanswiller (Bas Rhin) qui le 7 juin 2016 a été frappée par une impressionnante coulée d'eau boueuse suite à un orage survenu le même jour. Les précipitations ont été estimées entre 30 et 60 millimètres et traduisent un événement pluvieux important ayant eu lieu dans un contexte favorable. En effet, les sols étaient saturés en eau suite à des précipitations abondantes durant les semaines précédentes ce qui a favorisé la formation d'une coulée d'eau boueuse (*Mertz 2016*).

La coulée d'eau boueuse s'est déversée dans une rue de la commune jusqu'à atteindre la Mossig, un sous affluent du Rhin. Lors de sa traversée, l'important dénivelé a permis à la coulée d'eau boueuse de gagner en vitesse et d'emporter les véhicules présents sur son passage ainsi que de nombreux débris (voir Figure 5).



Coulée d'eau boueuse dans la rue Erlenbourg –
DNA Alain MANIGOLD



Dégâts suite au passage de la coulée d'eau boueuse –
Radio France Olivier VOGEL

Figure 5 : Coulée d'eau boueuse à Romanswiller le 07/06/2016

2.4 Les mesures de protection permettant de lutter contre ce risque

La lutte contre les coulées d'eau boueuse passe nécessairement par la lutte contre l'érosion hydrique, principal facteur à l'origine de ce phénomène. Les mesures suivantes (liste non exhaustive) permettant de réduire le risque de coulée d'eau boueuse peuvent se classer en deux catégories : les techniques ayant pour objectif de diminuer le ruissellement et l'érosion et les techniques ayant pour objectif d'intercepter les eaux de ruissellement et les coulées d'eau boueuse (*Van Dijk et al en 2016*).

La première catégorie de mesures s'applique majoritairement aux parcelles agricoles et peut se matérialiser sur le terrain par la mise en place d'une couverture végétale sur les cultures. Cette mesure a pour conséquence d'augmenter la couverture végétale du sol et par conséquent de protéger celui-ci des précipitations. De plus, le couvert végétal va à terme former un système racinaire complexe favorisant l'infiltration de l'eau (*Chambre d'agriculture de région du Nord-Pas de Calais, 2013*). Une des techniques utilisées pour augmenter la couverture végétale sont les Techniques Culturelles Sans Labour (TCSL) qui visent à diminuer l'érosion et le ruissellement grâce à

de nouvelles techniques d'agriculture. Les sols sont ainsi protégés des effets de la pluie par la présence de débris végétaux (voir Figure 6). Cela limite la fermeture des sols suite aux impacts des gouttes de pluie et conserve la capacité d'infiltration des sols. De plus, ces techniques visent à favoriser le développement des populations de lombriciens qui permettent d'augmenter la capacité d'infiltrations des sols grâce au réseau souterrain qu'ils constituent (Auzet et al 2012).

Les mesures de la deuxième catégorie doivent être mises en place sur les lieux de passage des coulées d'eau boueuse afin d'être efficaces. Ces mesures peuvent être des aménagements hydrauliques doux tels que des haies basses ou encore des fascines (voir Figure 6) qui ont pour principal rôle de ralentir les eaux de ruissellements et de retenir les sédiments afin de limiter en aval l'érosion et la formation de coulées d'eau boueuse. Dans un but similaire, des zones de rétention de ruissellement peuvent être aménagées : on peut citer les mares visant à stocker les eaux de ruissellement, les fossés permettant de collecter les eaux de ruissellement et de les guider vers un exutoire ou encore les digues et les zones de rétention des ruissellements qui permettent lors d'évènements exceptionnels de retenir temporairement de grands volumes d'eau (Chambre d'agriculture de région du Nord-Pas de Calais, 2013).



Culture recouverte de débris végétaux –
ARAA Rémi KOLLER



Fascine en bord de champs –
Guillaume VALENTIN

Figure 6 : mesure de protection contre les coulées d'eau boueuse

La connaissance des processus de formation des coulées d'eau boueuse est essentielle pour répondre à notre problématique. En effet, ces processus nous permettront de mieux comprendre la répartition spatiale et temporelle. De même pour les mesures de lutte contre ce phénomène qui peuvent avoir un important impact sur l'évolution des coulées d'eau boueuse.

3 Méthodologie : une multitude de données pour cartographier le risque

Afin de répondre à la problématique posée, une méthodologie s'appuyant sur plusieurs données a été mise en place. La méthodologie en question reprend les différents objectifs de notre problématique et est exposée dans les parties suivantes.

3.1 Données utilisées et collectées

❖ *Bases de données CATNAT*

Pour le projet GERHICO, deux bases de données regroupant les demandes d'arrêtés de catastrophe naturelle de type coulée de boue de 1982 à 2005 pour les départements du Haut Rhin et du Bas Rhin ont été réalisées par *Heitz (2004)* et *Auzet et al. (2005)*. Ces bases de données (voir Annexe 3 : Modèle conceptuel base de données du Bas Rhin et Annexe 4 : Modèle conceptuel base de données du Haut Rhin) ont été constituées à partir des dossiers de demande de reconnaissance de catastrophe naturelle stockés dans les archives des préfectures et des services déconcentrés de l'Etat.

❖ *Base de données GASPARE*

Cette base de données accessible depuis le site Géorisques (anciennement prim.net) regroupe l'ensemble des arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle depuis 1982 sur le territoire français qui ont été approuvés. Chaque enregistrement comprend : le type de risque qui a frappé la commune (inondation, mouvement de terrain, ...), la date de début et de fin du phénomène, la date de publication de l'arrêté et la date de publication au Journal officiel.

❖ *Base de données Corine Land Cover*

Corine Land Cover est une base de données produite dans le cadre du programme européen d'observation de la terre Copernicus. Cette base de données décrit l'occupation du sol en France en 44 classes selon trois niveaux de nomenclatures et est disponible pour les années suivantes : 1990, 2006 et 2012.

❖ *Données précipitations*

Les données de précipitations issues des stations de Brumath (Bas Rhin) et Mulhouse (Haut Rhin) gérées par Météo France recensent les relevés des précipitations journalières entre 1980 et 2000.

❖ *IGN Geofla*

Découpage communal de la France métropolitaine simplifié produit par l'Institut Géographique National (IGN).

3.2 Mise à jour des bases de données

3.2.1 Préparation de la mise à jour

Pour faciliter la mise à jour des bases de données, des formulaires de mises à jour pour chacune des tables ont été créés sur Access puis ont été rassemblés dans un unique formulaire sous forme d'onglet (voir Figure 7).

The screenshot shows a web-based form for adding a record. At the top, there are tabs for 'Evènement', 'Commune concernée', 'BV Commune', 'Pièce dossier', 'Rapport SP', 'Rapport météo', and 'Articles presse'. The main title is 'Ajout d'un enregistrement' and the sub-title is 'Ajout d'une Commune concernée'. The form contains several sections:

- Navigation:** Buttons for 'Voir dernier enregistrement', 'Ajouter un enregistrement', 'Voir enregistrement précédent', and 'Voir enregistrement suivant'.
- Références:** Fields for 'Reference Commune concernée' (with a '(Nouv.)' indicator) and 'Réf Evènement' (a dropdown menu).
- Localisation et date:** Fields for 'Commune', 'Heure de début', and 'Heure fin'.
- Type d'évènement:** A grid of checkboxes for event types: 'Coulée de boue (generale)', 'Coulée boueuse averee', 'non determine', 'Eaux de ruissellements', 'Inondations par débordement de cours', 'Nom du cours deau si debordement', 'Eboulement_glisement ou affaissement de terrain', 'Subsidence', and 'Autre phenomene'. There are also empty text input fields below these options.
- Dommages engendrés:** A list of checkboxes for damage types: 'Inondations caves, habitation, locaux professionnels', 'Toiture arrachees ou endommagee', 'Chute darbre sur constructions ou vehicules', and 'Habitations detruites ou endommagees'.
- Remarques:** A text area for 'Remarques' and a checkbox for 'Coulees boueuses provenant des versants'.

At the bottom, there is a status bar showing 'Enr: 1 sur 1', 'Aucun filtre', and a 'Rechercher' button.

Figure 7 : Formulaire d'ajout d'un enregistrement - Base de données du Bas Rhin

3.2.2 Mise à jour

Les deux bases de données ont dans un premier temps été mises à jour à partir de la base de données GASPARG. Comme nous l'avons évoqué précédemment, cette base de données regroupe l'ensemble des arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle par l'état. Cependant, dans la base de données, le phénomène coulée d'eau boueuse est regroupé avec le phénomène inondation sous le nom « inondation et coulée de boue ». Afin de limiter la confusion entre les deux phénomènes, seuls les arrêtés faisant références à des événements ayant eu lieu durant les mois de mai, juin, juillet et août (période durant laquelle les coulées d'eau boueuse sont les plus fréquentes en Alsace) ont été pris en compte.

Dans un second temps, afin de valider et de compléter les enregistrements ajoutés, un travail de recherche complémentaire a été effectué dans les services déconcentrés de l'état. Les dossiers de demande de reconnaissance de catastrophe naturelle ont été examinés et ont permis de différencier les phénomènes d'inondation des phénomènes de coulée d'eau boueuse. De plus, leur étude a permis d'enrichir les bases de données avec des informations supplémentaires notamment sur les conséquences économiques des coulées d'eau boueuse.

3.3 Méthodologie de cartographie des coulées d'eau boueuse

3.3.1 Extraction des données pour l'analyse des coulées d'eau boueuse

Toutes les communes n'étant pas soumises au risque de coulées d'eau boueuse, seule les communes sensibles à l'érosion identifiées par *Van Dijk et al. (2009)* ont été prises en compte pour cette étude (voir Figure 8). Pour ce faire, une table "Liste_commune_concernée" a été ajoutée dans les deux bases de données afin de pouvoir extraire aisément les communes concernées.

Les bases de données sont composées d'enregistrements remontant jusqu'à 1985 et certains d'entre eux font référence à des communes qui ont depuis été fusionnées. Pour représenter les résultats selon les limites administratives actuelles, il a été nécessaire de mettre à jour le nom de ces communes. Suite à cette opération, des incohérences sont générées dans les bases de données, lorsque deux communes, qui étaient autrefois limitrophes, ont été touchées par une même coulée d'eau boueuse et ont par la suite fusionnées.

Afin d'analyser les données sur les coulées d'eau boueuse, une requête SQL prenant en compte ces incohérences a été utilisée pour extraire les données nécessaires à la cartographie et à l'analyse.

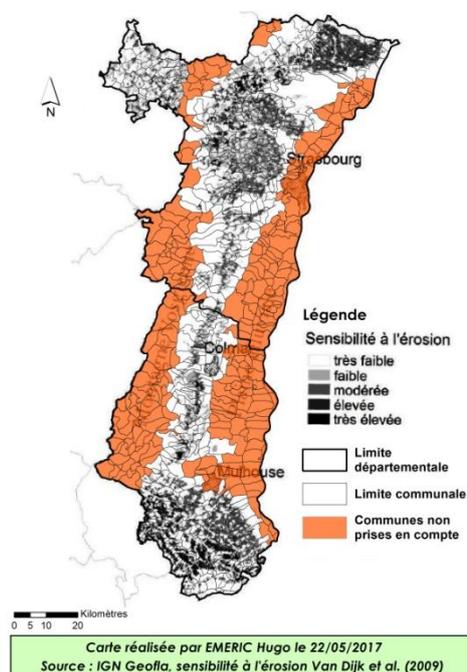


Figure 8 : Commune non prise en compte dans l'étude

3.3.2 Analyse de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse

L'autocorrélation spatiale est une mesure de la corrélation d'une entité selon sa localisation dans l'espace et sa valeur pour une variable, permettant ainsi de mettre en évidence des relations avec les entités voisines. L'autocorrélation spatiale peut prendre différentes valeurs, lorsqu'elle est négative cela signifie que les entités proches les unes des autres ont tendance à prendre des valeurs différentes voire inverses à la variable analysée. Au contraire, une autocorrélation spatiale positive traduit des entités agrégées possédant des valeurs similaires. Afin de calculer cette autocorrélation spatiale, deux indices sont généralement utilisés : l'indice de Moran et l'indice de Geary. L'indice de Moran est cependant l'indicateur le plus utilisé de nos jours (*Oliveau, 2017*) et sera utilisé pour cette étude.

L'autocorrélation spatiale a été calculée à partir de l'indice de Moran sur les communes en fonction de la fréquence d'occurrence des coulées d'eau boueuse dans ces dernières. Le calcul de cet indice repose sur le rejet ou non de l'hypothèse nulle suivante : les entités observées sont distribuées aléatoirement sur la zone d'étude. Les valeurs prises par l'indice varient de -1 (autocorrélation négative) à 1 (autocorrélation positive) en passant par 0 qui traduit une distribution spatiale aléatoire.

3.3.3 Evolution de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse

Afin de mettre en évidence une évolution de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse au cours du temps, la dispersion directionnelle (ellipse d'écart type pondéré) a été calculée sur les communes touchées par une coulée d'eau boueuse en fonction de la fréquence des coulées d'eau boueuse dans la commune. Le calcul a été réalisé par département sur les deux classes de fréquences suivantes : les communes touchées une à deux fois par une coulée d'eau boueuse et les communes touchées plus de deux fois par une coulée d'eau boueuse. Ces deux classes sont réparties sur deux intervalles de temps allant respectivement de 1985 à 2000 et de 2001 à 2016, divisant ainsi en deux la période d'étude. Ce calcul permet ainsi de représenter la distribution spatiale des entités c'est-à-dire leur localisation et leur orientation.

3.3.4 Identification d'un phénomène à l'origine de l'évolution de la répartition spatiale

La méthodologie précédente a permis de mettre en évidence des zones où la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse a évolué. Les traitements suivants ont été appliqués sur ces zones, ceci afin de voir si l'évolution de l'occupation du sol a joué un rôle sur la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse.

L'évolution de l'occupation du sol a été mesurée entre 1990 et 2012 (date de disponibilité des données) à partir de la base de données de Corine Land Cover. Pour cela, les données ont été découpées par rapport aux zones et certaines classes d'occupation du sol ont été regroupées pour une interprétation plus aisée (voir Figure 9). La superficie occupée par chaque classe d'occupation du sol a été calculée pour les deux années puis la différence entre l'année 2012 et l'année 1990 a été calculée pour chaque classe d'occupation du sol.

Ancienne classe	Nouvelle classe
Tissu urbain continu	Surface urbanisée
Tissu urbain discontinu	
Réseau routier et ferroviaire et espaces associés	
Zones industrielles ou commerciales et installations publiques	Surface industrielle
Extraction de matériaux	
Chantiers	
Equipements sportifs et de loisirs	
Aéroport	
Forêt de feuillus	Forêt
Forêt de conifères	
Forêts mélangées	
Forêt et végétation en mutation	
Pelouse et pâturages naturels	Espace naturel
Landes et broussailles	
Végétation clairsemée	
Plans d'eau	Surface en eau

Figure 9 : Regroupement des classes d'occupation du sol issues de Corine Land Cover

3.4 Méthodologie de cartographie des dommages causés par les coulées d'eau boueuse

Les dossiers de demande de reconnaissance de catastrophe naturelle peuvent contenir des informations sur les conséquences économiques engendrées par les coulées d'eau boueuse. Dans les cas où ces informations étaient renseignées, ces dernières ont été retranscrites dans les bases de données. Afin de cartographier le coût des dommages causés par les coulées d'eau boueuse, il a tout d'abord été nécessaire d'extraire ces données des bases de données, cette opération ayant été réalisée à l'aide d'une requête SQL.

❖ Actualisation des coûts

Les estimations des dommages ayant été réalisées pour différentes années, il n'est pas pertinent de les comparer. En effet, le coût de la vie de manière générale et plus particulièrement les coûts dans le domaine du bâtiment évoluent au cours du temps. Pour pallier à ce problème, il est nécessaire d'actualiser les coûts.

L'actualisation des coûts repose sur l'utilisation d'un indice. Dans le domaine du bâtiment plusieurs indices sont disponibles, notamment : l'Indice du Coût de la Construction (ICC) calculé par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE), l'indice FFB du coût de la construction calculé par la Fédération Française du Bâtiment (FFB) ou encore celui calculée par la Société Centrale des Architectes. Pour actualiser les coûts, l'indice proposé par l'INSEE a été retenu, les autres indices se basant sur des données issues de la région parisienne. L'indice ICC se base quant à lui sur des données régionalisées et est donc plus approprié pour une étude en Alsace.

Suite à l'actualisation des coûts, divers graphiques ont été réalisés puis le coût total des dommages supportés pour chaque commune a été calculé en vue d'une cartographie.

La méthodologie définie précédemment a été appliquée sur les différentes données réunies, les résultats obtenus ont été représentés sous forme de graphiques et de cartes et seront exposés dans la partie suivante.

4 Résultats

Cette partie est exclusivement consacrée aux résultats obtenus, ces derniers étant axés autour des objectifs définis précédemment à savoir : l'analyse de la répartition spatiale, l'analyse de la répartition temporelle et l'analyse des conséquences économiques engendrées par les coulées d'eau boueuse.

4.1 Analyse de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse

4.1.1 Une répartition spatialement concentrée

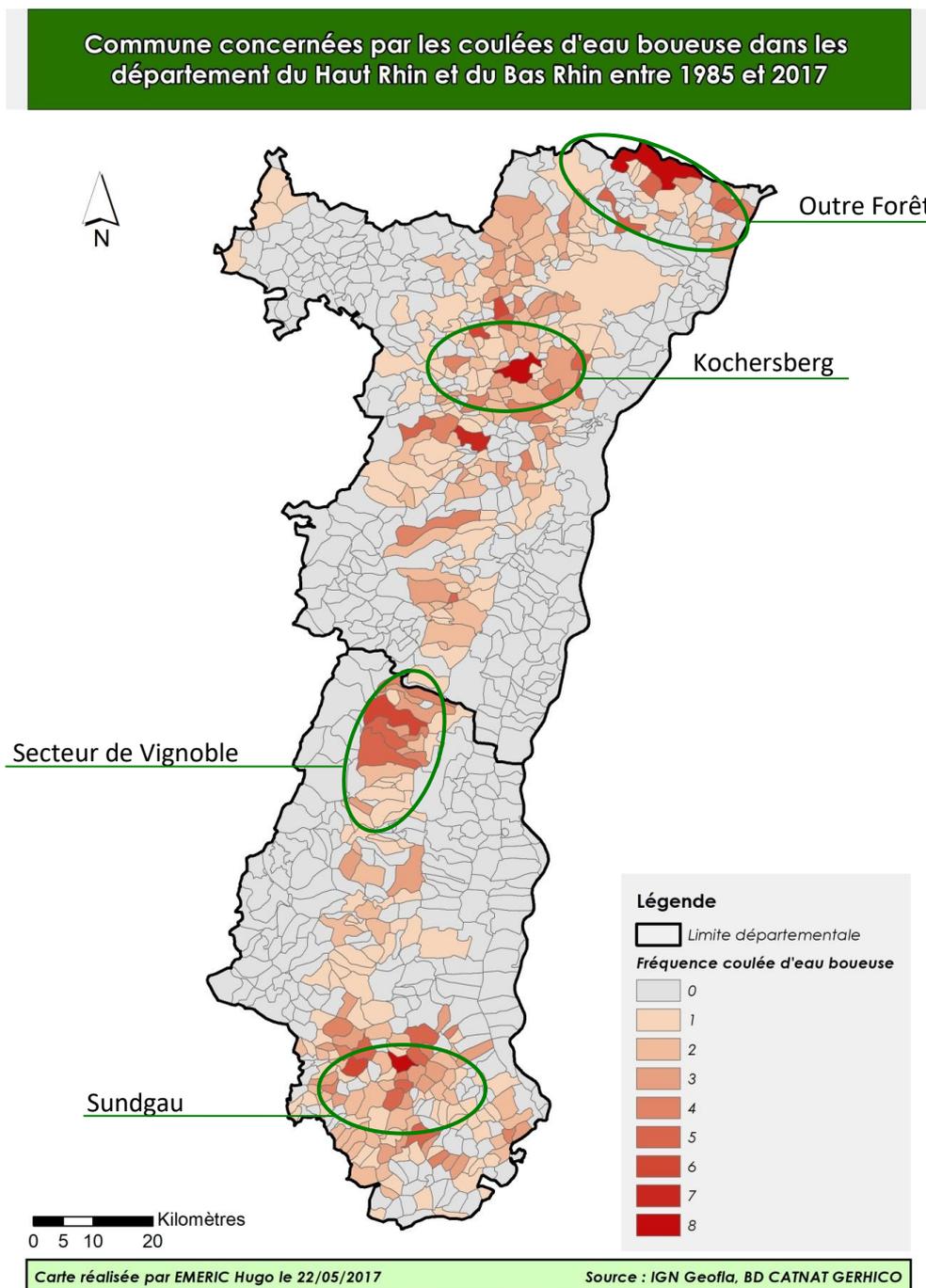


Figure 10 : Communes concernées par les coulées d'eau boueuse

La cartographie des communes touchées par une coulée d'eau boueuse (voir Figure 10) permet de mettre en évidence les quatre zones identifiées par *Heitz (2004)* et *Auzet et al (2005)* : l'Outre Forêt, le Kochersberg, le secteur de vignoble et le Sundgau.

Ce constat est renforcé par la valeur obtenue suite au calcul de l'indice de Moran (voir Figure 11) qui traduit une autocorrélation spatiale positive c'est-à-dire que les coulées d'eau boueuse ont tendance à survenir dans les mêmes zones et à toucher les mêmes communes.

Variable	Valeur I de Moran	Score Z
Fréquence des coulées d'eau boueuse (1985 – 2016)	0,302	19,794

Figure 11 : Résultat indice de Moran

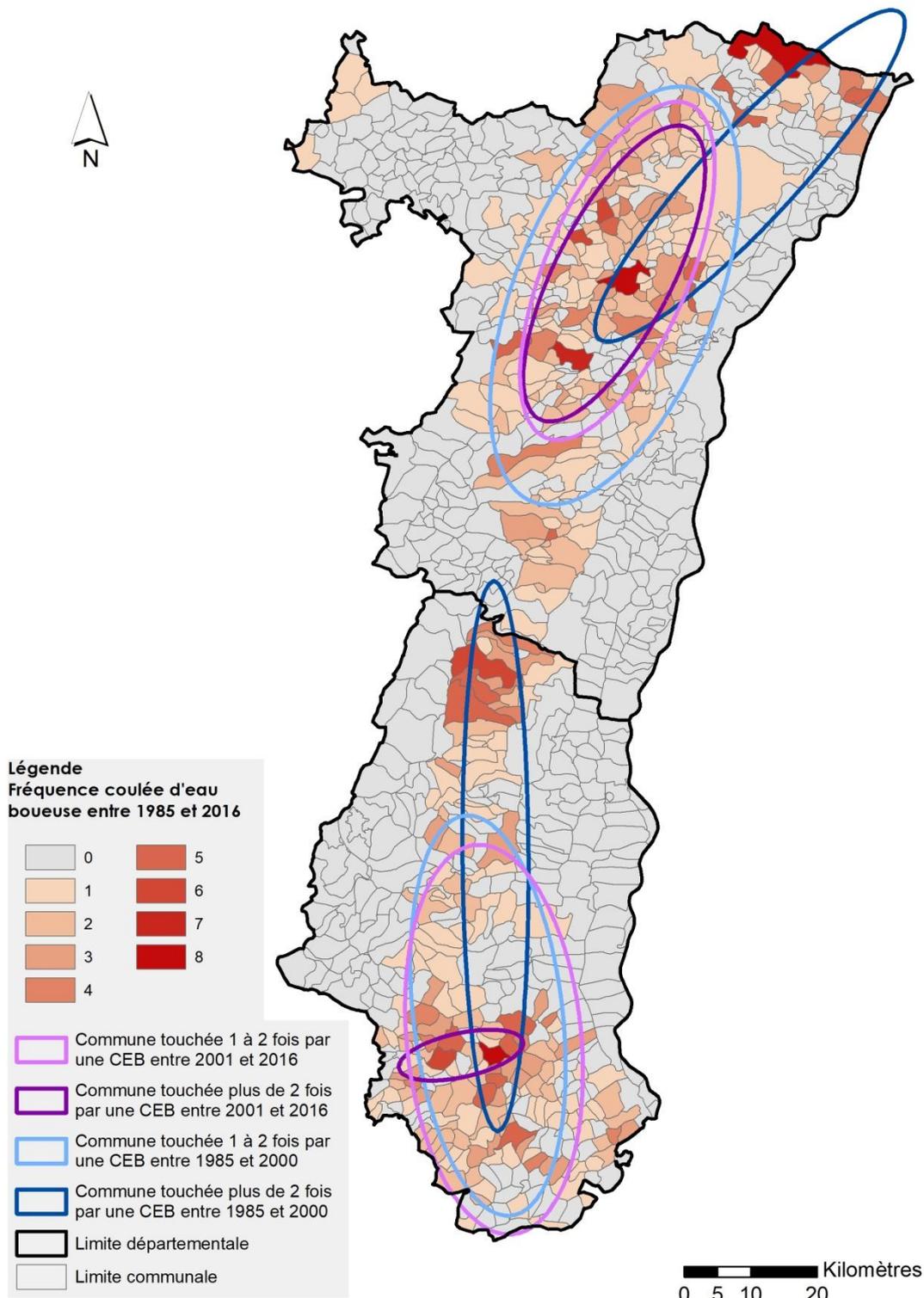
4.1.2 Une évolution marquée de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse

Entre 1985 et 2000, dans le département du Bas-Rhin, les coulées d'eau boueuse survenaient principalement dans la zone de l'Outre Forêt (voir Figure 12). En effet, dans cette zone cinq communes ont été touchées plus de deux fois par une coulée d'eau boueuse, le maximum étant atteint pour la commune de Wissembourg où six coulées d'eau boueuse ont été recensées en quinze ans. Les communes touchées une à deux fois sont, quant à elles, essentiellement situées dans la zone du Kochersberg et plus précisément sur le piémont des Vosges. Dans le département du Haut Rhin, les communes les plus touchées par les coulées d'eau boueuse sont localisées dans le secteur de vignoble et la zone du Sundgau où respectivement 10 communes et 8 communes ont été frappées par plus de deux coulées d'eau boueuse. Les communes peu touchées sont également réparties sur les deux zones bien que la majorité soit dans le Sundgau.

Entre 2001 et 2017, on constate une nette évolution : les communes touchées plus de deux fois dans le Bas Rhin sont à présent localisées dans le Kochersberg, de même dans le Haut Rhin où ces dernières sont concentrées dans le Sundgau. Pour les communes peu touchées, on constate également une évolution : dans le Bas Rhin, ces communes sont plus concentrées et dans le Haut Rhin le constat fait précédemment se renforce, à présent les communes touchées une à deux fois sont principalement situées dans le Sundgau.

Cette évolution de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse peut avoir plusieurs origines que nous allons à présent essayer de mettre en évidence.

Evolution de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse dans le Bas Rhin et le Haut Rhin en fonction du temps



Carte réalisée par EMERIC Hugo le 22/05/2017

Source : IGN Geofla, BD CATNAT GERHICO

Figure 12 : Evolution de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse

4.1.3 Les origines de cette évolution

L'évolution de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse constatée précédemment peut avoir deux origines : une évolution des facteurs à l'origine des coulées d'eau boueuse (les conditions météorologiques, l'occupation du sol, la composition des sols) ou une prise de mesure en amont pour réduire le risque des coulées d'eau boueuse. Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux changements ayant eu lieu principalement dans les zones de l'Outre Forêt et du secteur de vignoble, zones où la fréquence des coulées d'eau boueuse a fortement diminué.

4.1.3.1 Une évolution des facteurs à l'origine des coulées d'eau boueuse

❖ L'évolution de l'occupation du sol entre 1990 et 2012 :

La comparaison de l'évolution du sol entre 1990 et 2012 sur les zones de l'Outre Forêt (Bas-Rhin) et du secteur de vignoble (Haut-Rhin) a permis de mettre en évidence une légère évolution de l'occupation du sol.

En effet, dans l'outre Forêt comme le souligne le tableau suivant (voir Figure 13), on constate une augmentation de la superficie des cultures annuelles de près de 2,4 % au détriment des systèmes culturaux et parcellaires complexes, des vergers et des prairies. La superficie de ces dernières ayant diminué de près de 40 % en 22 ans. De même, les surfaces urbanisées et industrielles sont en légère augmentation. Cela participe à la diminution des zones de cultures permanentes et d'espaces naturels qui jouent un rôle important dans la lutte contre les coulées d'eau boueuse puisqu'ils contribuent à l'infiltration des précipitations et jouent le rôle de zones tampon aux coulées d'eau boueuse.

Dans le secteur de vignoble l'évolution de l'occupation du sol est beaucoup moins marquée, en effet, hormis pour quelques classes, les évolutions sont très faibles. De même que pour l'Outre Forêt les surfaces artificialisées sont en augmentation cependant on constate une diminution des terres arables hors périmètre d'irrigation au profit des surfaces essentiellement agricoles interrompues par des espaces naturels. Cette évolution de l'occupation du sol joue ainsi en faveur de la lutte contre les coulées d'eau boueuse.

Classe d'occupation du sol	Outre Forêt		Secteur de vignoble	
	Surface Hectares	Pourcentage	Surface Hectares	Pourcentage
Surface urbanisée	456,50	12,70	239,29	5,22
Surface industrielle	238,17	23,40	150,75	16,52
Vignobles	-6,94	-1,68	-19,14	-0,23
Vergers et petits fruits	-126,77	-16,19	15,89	19,80
Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	-1142,43	-38,71	-1,04	-0,02
Terres arables hors périmètre d'irrigation	1407,02	7,08	-506,81	-6,71
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	-788,91	-21,15	-22,75	-0,61
Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels	8,90	1,42	260,58	32,93
Forêt	5,99	0,02	-207,98	-0,47
Espace naturel	-51,52	-10,89	91,22	7,35
Surface en eau	0,00	0,00	0,00	0,00

Figure 13 : Evolution de l'occupation du sol entre 1990 et 2012

Ainsi entre 1990 et 2012, l'occupation du sol a légèrement évolué mais ne semble pas pouvoir être à l'origine de l'évolution de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse. Au contraire, dans l'Outre Forêt l'évolution de l'occupation du sol semble jouer en faveur des coulées d'eau boueuse puisque l'augmentation des cultures annuelles devrait favoriser le processus d'érosion hydrique.

4.1.3.2 Des mesures de protections contre les coulées d'eau boueuse

Un facteur important permettant d'expliquer la diminution des coulées d'eau boueuse dans l'Outre Forêt et le secteur de vignoble serait la prise de mesure de protection par les collectivités et les particuliers afin de lutter contre la formation des coulées d'eau boueuse.

En effet, dans la zone de l'Outre Forêt suite aux nombreuses coulées d'eau boueuse qui ont touché les communes, la communauté de communes du pays de Wissembourg a engagé en 2003 des travaux visant à maîtriser les eaux de ruissellements et à lutter contre les coulées d'eau boueuse. De nombreuses mesures ont ainsi été prises, on peut notamment citer la construction de plusieurs bassins de rétention ou la réalisation de travaux de voirie visant à maîtriser l'écoulement des eaux pluviales.

De même dans le secteur de vignoble, 6 communes se sont réunies afin de créer le syndicat de traitement des eaux usées de Ribeauvillé et Environs en 2006 et se sont engagées à créer des bassins d'orage et des déversoirs d'orage afin de maîtriser au mieux les eaux pluviales. Il est également important de préciser que l'enherbement des vignes s'est démocratisé à partir des années 1990 et peut expliquer une diminution des coulées d'eau boueuse dans ce secteur.

Les divers aménagements pris par les collectivités se sont avérés efficaces, les communes n'ayant été touchées qu'à de quelques rares occasions suites à la réalisation des ouvrages. Cependant, l'aspect aléatoire des précipitations doit également être pris en compte, il est tout à fait possible qu'aucune précipitation pouvant donner lieu à la formation de coulées d'eau boueuse ne soit survenue durant ces périodes. On peut notamment citer à titre d'exemple la commune de Wissembourg qui suite à la réalisation d'aménagements en 2003 n'a été victime que de deux coulées d'eau boueuse entre 2001 et 2017 contre six sur la période de 1985 à 2000 (voir Figure 14).

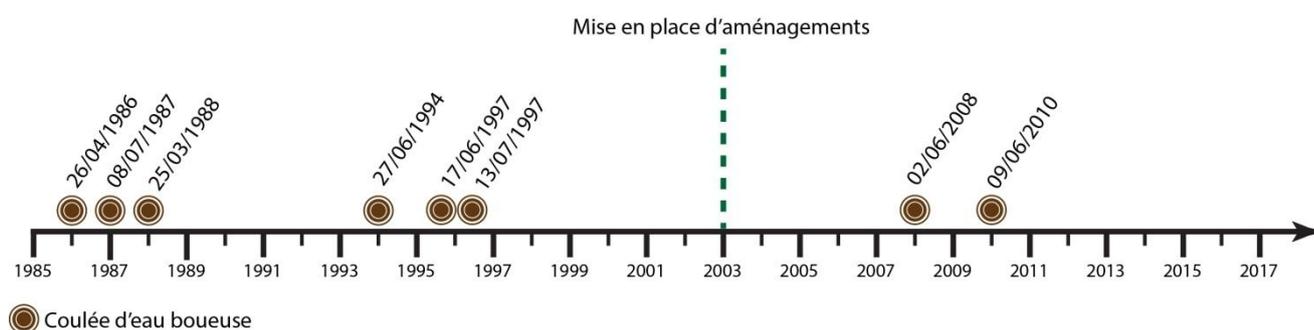


Figure 14 : Répartition temporelle des coulées d'eau boueuse sur la commune de Wissembourg

4.2 Analyse de la répartition temporelle des coulées d'eau boueuse

4.2.1 L'été : une saison propice aux coulées d'eau boueuse

Comme cela a été dit précédemment, les coulées d'eau boueuse surviennent majoritairement durant les mois de mai, juin et plus rarement en juillet et août. En effet sur cette période le climat

étant chaud et sec, celui-ci est propice à la formation d'orages pouvant entraîner des coulées d'eau boueuse.

Cependant, ce phénomène n'est pas uniquement recensé sur cette période et a déjà été recensé en février ou encore en septembre (voir figure 15). Bien que parfois conséquentes, ces coulées d'eau boueuse restent des cas isolés généralement issus d'évènements climatiques exceptionnels.

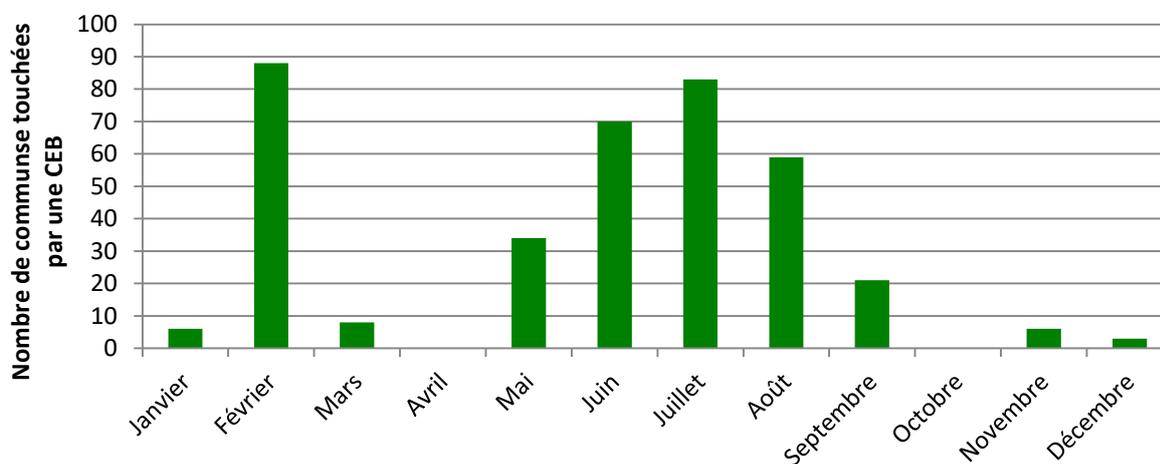


Figure 15 : Nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse entre 1985 et 2002

4.2.2 La répartition annuelle des coulées d'eau boueuse

Les graphiques suivants présentent la répartition des communes touchées par une coulée d'eau boueuse sur la période de 1985 à 2016 pour les deux départements étudiés.

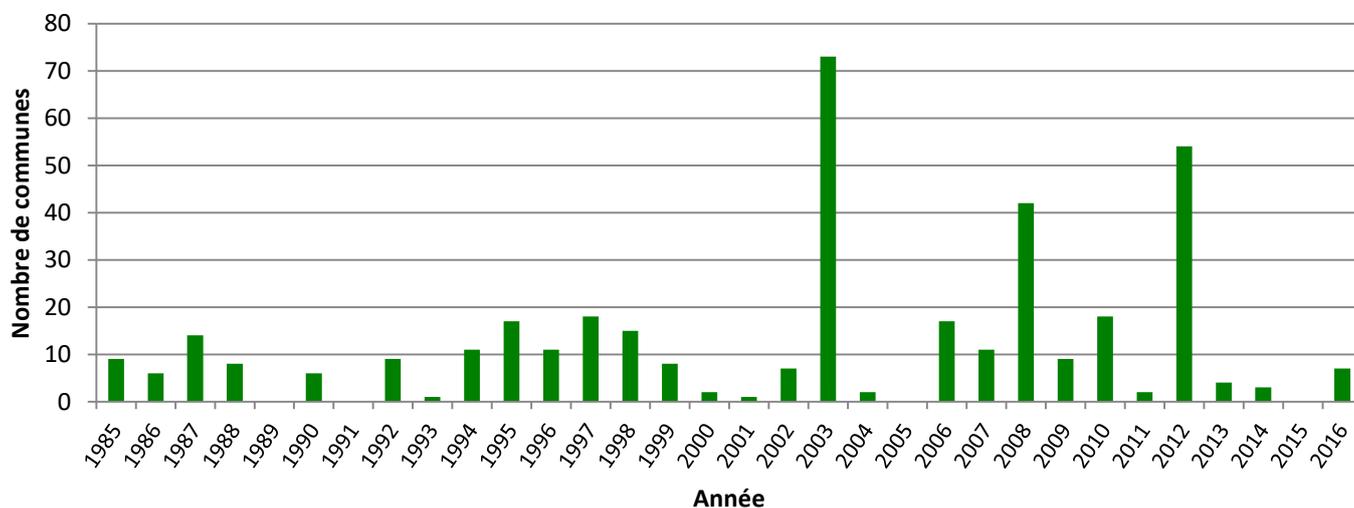


Figure 16 : Nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse dans le Bas Rhin

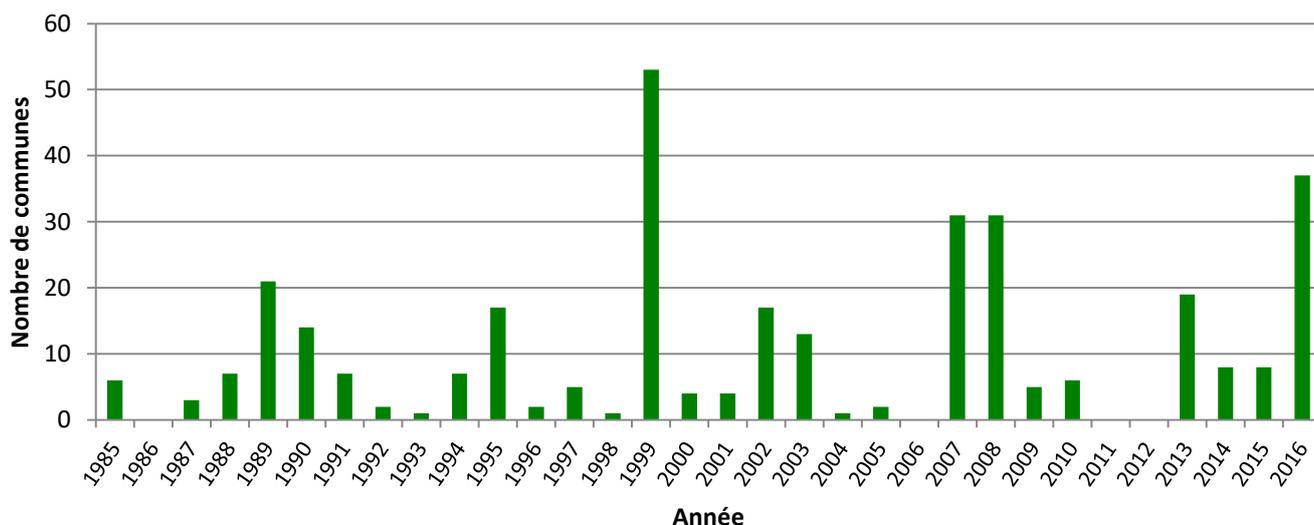


Figure 17 : Nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse dans le Haut Rhin

Pour chacun des deux départements, deux périodes allant de 1985 à 2000 et de 2001 à 2016 se distinguent. Dans le département du Bas Rhin, sur la première période, en moyenne chaque année, 8 communes sont touchées par une coulée d'eau boueuse (voir Figure 16), le nombre de communes touchées étant relativement constant chaque année bien que l'on observe des années où aucune coulée d'eau boueuse n'a été constatée. Sur la deuxième période, le nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse augmente de manière significative atteignant les 250 communes (voir Figure 17) soit une augmentation de près de 85 %. Cependant, cette augmentation n'est pas le seul changement, on constate également une modification de la répartition des coulées d'eau boueuse. En effet, celles-ci ne sont plus réparties de manière régulière mais de façon plus anarchique avec des variations très importantes. On peut citer en exemple, l'année 2003 où 73 communes ont été touchées par une coulée d'eau boueuse tandis qu'en 2002 et 2004 seules quelques communes avaient été recensées.

Dans le département du Haut Rhin sur la première période, en moyenne chaque année 9 communes sont concernées par une coulée d'eau boueuse soit légèrement plus que pour le Bas Rhin. La répartition de ces dernières au cours de la première période est cependant différente de celle mise en évidence pour le Bas Rhin : en effet celle-ci est similaire à celle observée entre 2001 et 2017 sur le Bas Rhin mais on observe des variations moins importantes. Sur la deuxième période, on observe une légère diminution du nombre de coulées d'eau boueuse et une évolution de la répartition temporelle des communes touchées qui est à présent semblable à celle du Bas Rhin pour la même période.

	1985 - 2000				2001 - 2017			
	Moy	Max	Min	Nb CEB	Moy	Max	Min	Nb CEB
Bas Rhin	8	18	0	135	16	73	0	250
Haut Rhin	9	53	0	150	11	37	0	182

Figure 18 : Communes touchées par une coulée d'eau boueuse – Chiffre clé – BD GERHICO

En comparant les deux graphiques ci-dessus (voir Figure 16 et 17), on constate que pour de nombreuses années le nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse varie

fortement d'un département à l'autre. Ce constat souligne le fait que généralement ce sont des évènements orageux locaux qui sont à l'origine des coulées d'eau boueuse.

4.2.3 Des évènements exceptionnels à l'origine de coulée d'eau boueuse

Certaines années sont marquées par de nombreuses communes concernées par des coulées d'eau boueuse, on peut notamment citer l'année 1999 où 59 communes ont été touchées par ce phénomène dans le Haut Rhin ou encore l'année 2003 où 73 communes ont été touchées dans le Bas Rhin. Les principaux éléments caractérisant ces années sont la survenance d'évènements climatiques importants comme nous allons le voir plus en détail pour l'année 2003.

En 2003, 37 communes du Bas Rhin ont été touchées par une coulée d'eau boueuse durant le mois de mai et 36 durant le mois de juin. L'été de l'année 2003 a été marquée par une importante canicule avec des températures moyennes observées largement supérieures à la normale (voir Annexe 5 : Caractéristiques météorologiques pour les mois de Mai et Juin 2003) et propices à la formation d'orages. En effet, pour le mois de Mai, les précipitations ont été légèrement supérieures à la normale dans le Bas Rhin et pour le mois de Juin, ces dernières ont été peu abondantes. Cependant, sur ces deux mois, les précipitations se sont principalement manifestées sous forme d'orage localisés (*MétéoFrance, 2003*) ayant conduit à la formation de coulée d'eau boueuse.

4.2.4 Une évolution de la répartition temporelle des coulées d'eau boueuse

En observant la répartition mensuelle des communes touchées par les coulées d'eau boueuse (voir Figure 19 et 20), on constate un déplacement des périodes de survenance des coulées d'eau boueuse. Sur la période 1985 – 1994, le nombre de communes concernées par ce phénomène est relativement identique pour les quatre mois excepté pour le mois d'août dans le Bas Rhin et le mois de Juin dans le Haut Rhin. Sur la période suivante, 1995 – 2004, une augmentation significative du nombre de communes atteintes par les coulées d'eau boueuse sur les mois de mai et juin est visible, le nombre de coulées d'eau boueuse étant passé de 13 à 59 en mai dans le département du Bas Rhin et de 13 à 27 pour le même mois dans le Haut Rhin. On constate également une diminution du nombre de coulées d'eau boueuse survenant en juillet et une légère augmentation sur le mois d'août. Sur la dernière période, la tendance se renforce, les coulées d'eau boueuse survenant de plus en plus tôt dans les deux départements, bien que dans le Haut Rhin un certain nombre soit recensé en août.

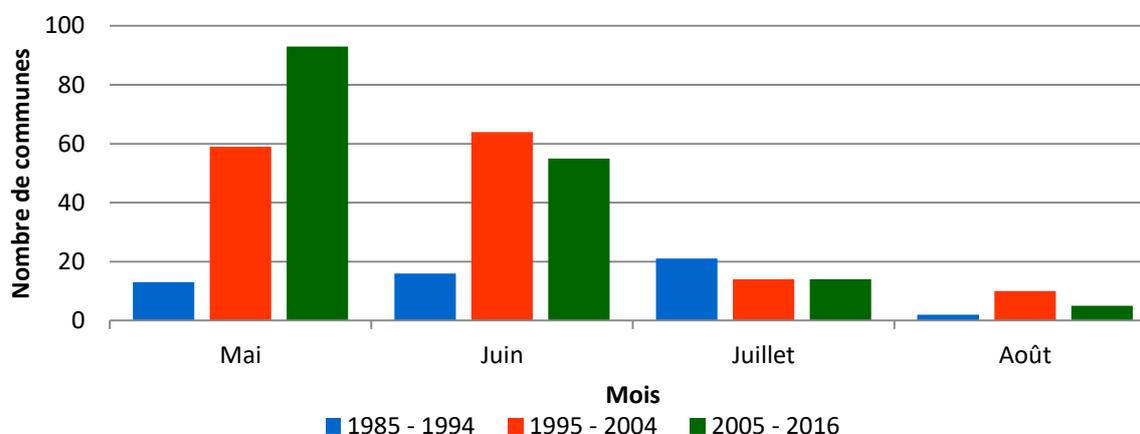


Figure 19 : Répartition mensuelle des communes touchées par les coulées d'eau boueuse dans le Bas Rhin

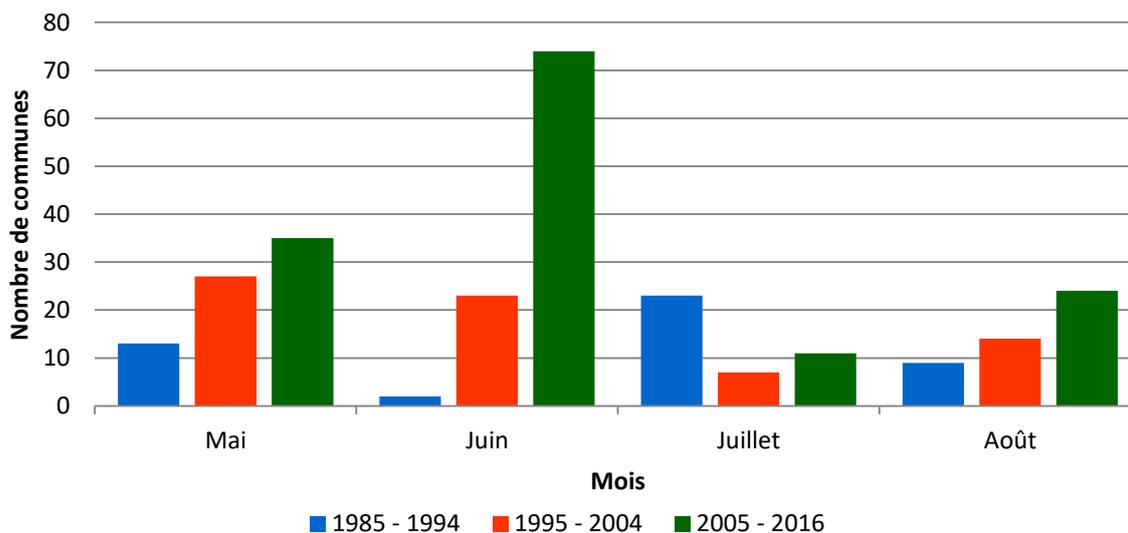


Figure 20 : Répartition mensuelle des communes touchées par les coulées d'eau boueuse dans le Haut Rhin

4.2.5 Les précipitations : un lien de causalité

Les précipitations jouent un rôle d'élément déclencheur dans la survenance des processus d'érosion hydrique et plus particulièrement dans la formation des coulées d'eau boueuse. En mettant en relation le cumul des précipitations annuelles et le nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse la même année (voir Figure 21 et 22) on constate que la tendance de ces deux variables est sensiblement identique sur le département du Bas Rhin. Une augmentation du cumul des précipitations est généralement suivie d'une augmentation du nombre de coulées d'eau boueuse. Cependant dans le Haut Rhin cette tendance est moins visible, le nombre de coulée d'eau boueuse ne semblant pas être liée aux cumuls des précipitations.

Il est cependant nécessaire de nuancer les résultats obtenus, de faibles précipitations peuvent engendrer de nombreuses coulées d'eau boueuse lorsque les précipitations se manifestent sous forme d'orage ou lorsque les sols sont saturés.

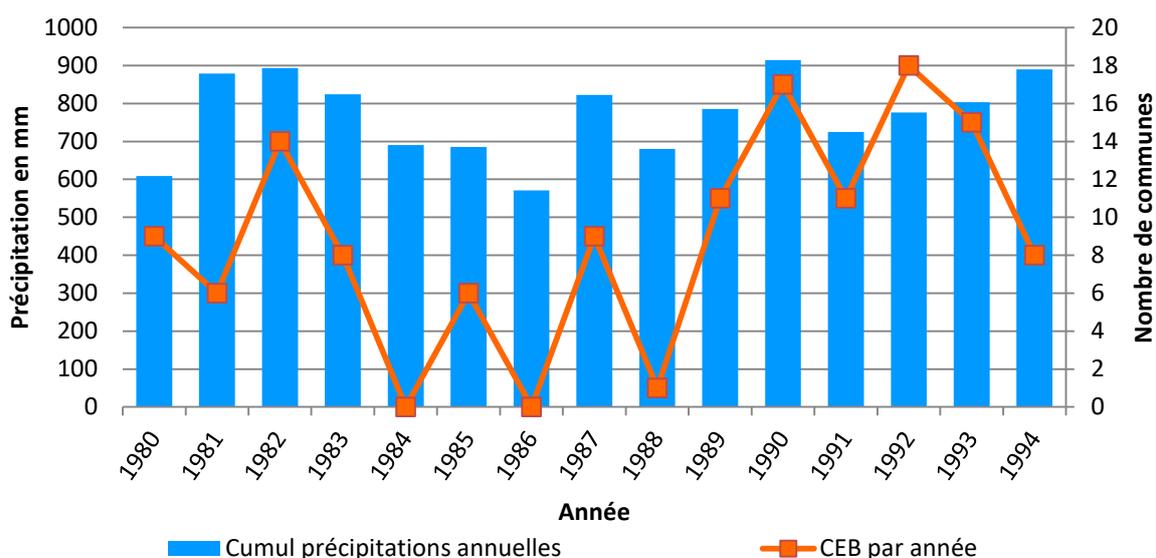


Figure 21 : Cumul des précipitations annuelles et nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse dans le Bas Rhin entre 1985 et 1999 – Station de référence : Brumath

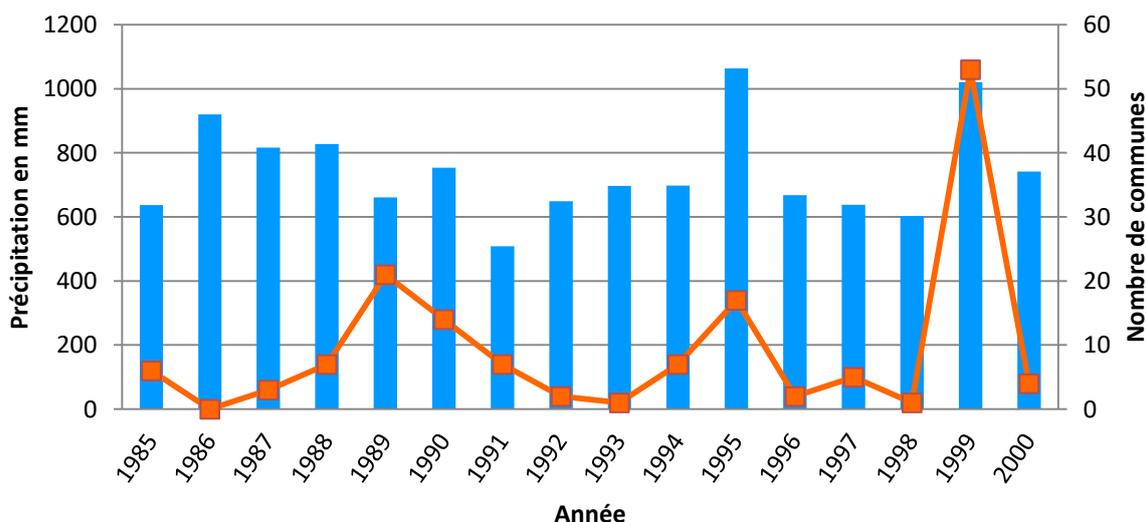


Figure 22 : Cumul des précipitations annuelles et nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse dans le Haut Rhin entre 1985 et 2000 – Station de référence : Mulhouse

4.3 Analyse des conséquences économiques des coulées d'eau boueuse

Faute de données sur les coûts de dommages après 2004, la période d'étude a été réduite entre 1985 et 2004 pour cette partie. L'analyse des conséquences économiques des coulées d'eau boueuse permet de mettre en évidence que dans le Bas Rhin, les dommages engendrés par ce phénomène s'élève à 26 millions d'euros et à 7 millions d'euros dans le Haut Rhin. La commune la plus touchée est Marlenheim (Bas Rhin), pour laquelle les dommages ont été estimés à 5,6 millions d'euros (voir Annexe 6 : Cartographie du coût des dommages imputables aux coulées d'eau boueuse).

4.3.1 La répartition des coûts par catégorie

Lorsque pour une commune le coût des dommages est recensé, celui-ci est détaillé pour les trois catégories suivantes : les particuliers, les collectivités et les entreprises. Les coûts recensés tiennent exclusivement compte des dommages sur les bâtiments. Cependant, pour les collectivités, les frais nécessaires à la réhabilitation des infrastructures de transports peuvent également être inclus dans le coût, de même pour les entreprises pour lesquelles les dommages sur les équipements, les engins agricoles et les biens et services produits peuvent être pris en compte dans le coût des dommages.

L'analyse de la répartition des coûts par catégories (voir Figure 23) met en évidence la catégorie la plus touchée du point de vue économique par les coulées d'eau boueuse : les entreprises. Entre 1985 et 2004, le coût supporté par cette catégorie s'élève à près de 13 millions d'euros, suivi par les particuliers avec un coût s'approchant des 12 millions d'euros, les collectivités étant les moins touchées par les coulées d'eau boueuse avec des dommages estimés à 7,5 millions d'euros. Cependant, en observant la répartition du nombre de coûts recensés, on constate que seulement 60 coûts ont été recensés pour les entreprises contre 113 pour les particuliers. Cette différence traduit donc des dommages globalement plus importants pour les entreprises que pour les particuliers. En effet, le coût moyen engendré par une coulée d'eau boueuse pour les particuliers est de 110 000 euros contre 220 000 euros pour les entreprises (Coût total par catégorie / Nombre de coût recensé par catégorie).

Il est important de nuancer les résultats obtenus, le nombre de particuliers et d'entreprises touchés par une coulée d'eau boueuse n'étant pas connu, les coûts ne correspondent pas à ceux

supportés par un individu ou une entreprise mais à ceux supportés par l'ensemble des particuliers et des entreprises exposés.

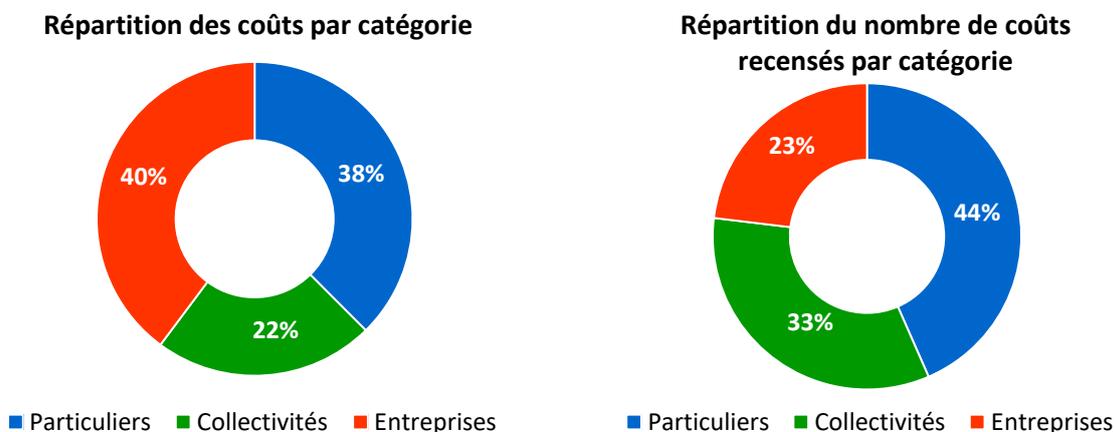


Figure 23 : Répartition des coûts par catégorie entre 1985 et 2004

Pour chacune des catégories, les coûts recensés (voir Figure 24) sont dans la majorité des cas relativement faibles (inférieurs à 100 000 euros), bien que plusieurs coûts moyens soient compris entre 100 000 et 500 000 euros. Les coûts importants (supérieur à 500 000 euros) sont quant à eux beaucoup plus rares et sont principalement dus à des événements majeurs.

On constate également que pour toutes les tranches de coûts (hormis la plus importante), le nombre de coût recensés pour les particuliers est quasi-systématiquement supérieur à ceux recensés pour les entreprises, de même que pour les collectivités (hormis deux tranches de coûts). Ce constat nous pousse à émettre l'hypothèse suivante : les particuliers sont la catégorie la plus concernées par les coulées d'eau boueuse. Ceci peut s'expliquer par le fait que cette catégorie de personnes représente la plus grande part de la population mais également que celle-ci est la plus exposée à ce risque.

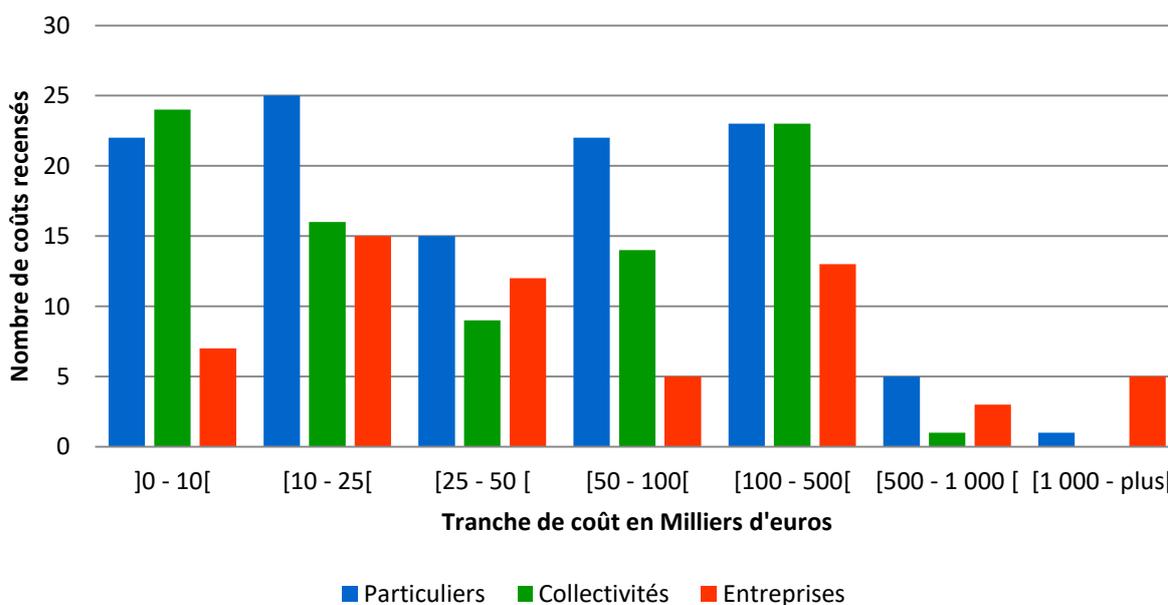


Figure 24 : Répartition du nombre de coûts recensés par catégorie et par tranches de coût entre 1985 et 2004

Les évènements entraînant des dommages importants bien que peu fréquents représentent un coût non négligeable. En effet, les 20 évènements les plus coûteux représentent à eux seuls près de 65 % du coût total des dommages engendrés par les coulées d'eau boueuse (voir Figure 25) soit près de 24,5 millions d'euros. Le maximum est atteint par la commune de Marlenheim en 1992 où le coût des dommages a été estimé à 3,7 millions d'euros.

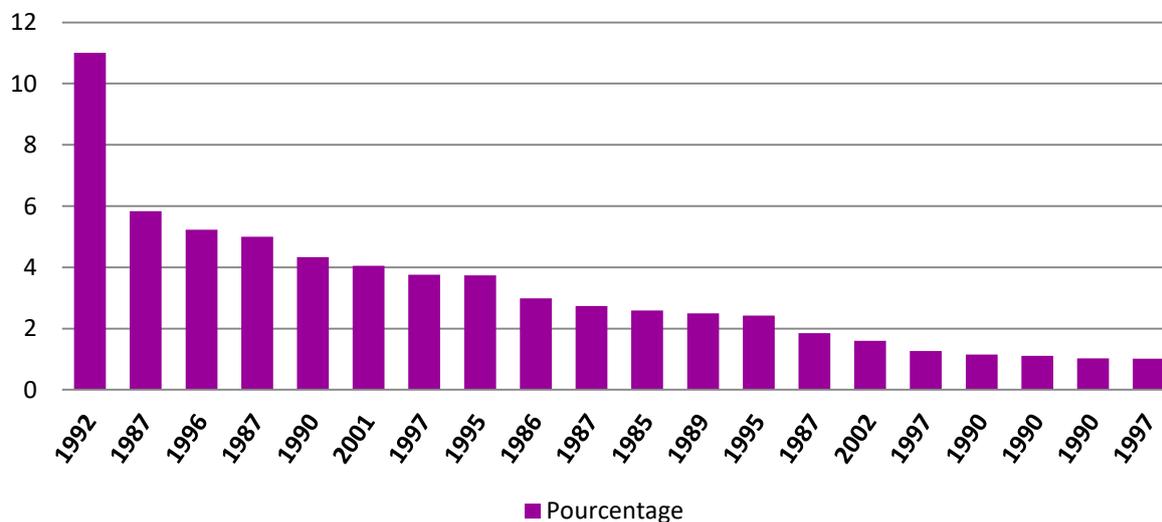


Figure 25 : Part des 20 évènements les plus coûteux sur le coût total des dommages entre 1985 et 2004

4.3.2 La répartition des coûts au cours du temps

En moyenne chaque année, 1,6 millions d'euros de dommages sont engendrés par les coulées d'eau boueuse dans les départements du Bas Rhin et Haut Rhin, le maximum étant atteint en 1987 où les dommages ont été estimés à près de 6,2 millions d'euros. Cependant, en observant le graphique suivant (voir Figure 26) on constate que le coût des dommages varie fréquemment de plusieurs millions d'euros à moins d'un million d'euros. Ainsi sur la période d'étude, aucune tendance n'est visible, le coût des dommages variant fortement d'une année à l'autre.

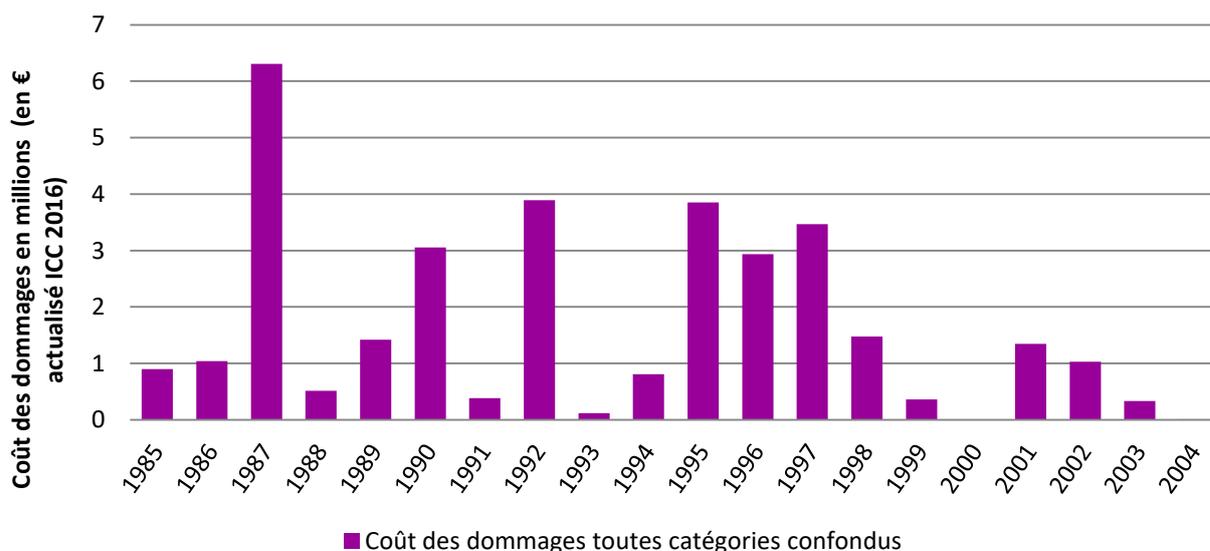


Figure 26 : Répartition du coût des dommages toutes catégories confondues par année entre 1985 et 2004

L'analyse de la répartition mensuelle du coût des dommages (voir Figure 27) met en évidence que ces derniers sont essentiellement recensés pour les mois de mai, juin et juillet (période pendant laquelle les coulées d'eau boueuse sont les plus fréquentes), le mois de Juillet étant celui où le coût des dommages est le plus élevé. Cependant, les résultats étant fortement influencés par le nombre de coût recensés par mois, la moyenne du coût des dommages par mois a été calculée pour annuler cet effet et est représentée sur le graphique ci-dessous (voir Figure 28).

Ainsi, hormis pour les mois de Septembre et Décembre, le coût moyen des dommages par mois engendrés par les coulées d'eau boueuse est de 200 000 euros. Pour ces deux mois, un seul coût ayant été recensé sur la période d'étude, la moyenne obtenue n'est pas représentative et ne peut donc être interprétée. Pour les autres mois on constate cependant que le coût moyen est sensiblement similaire bien que quelques variations soient notables. Cette égalité traduit donc qu'aucun mois ne semble plus propice à la survenance de coulées d'eau boueuse entraînant des conséquences économiques plus importantes. Le fait qu'un mois soit marqué par des coûts importants serait donc uniquement lié au fait que durant ce mois de nombreuses coulées d'eau boueuse sont recensées.

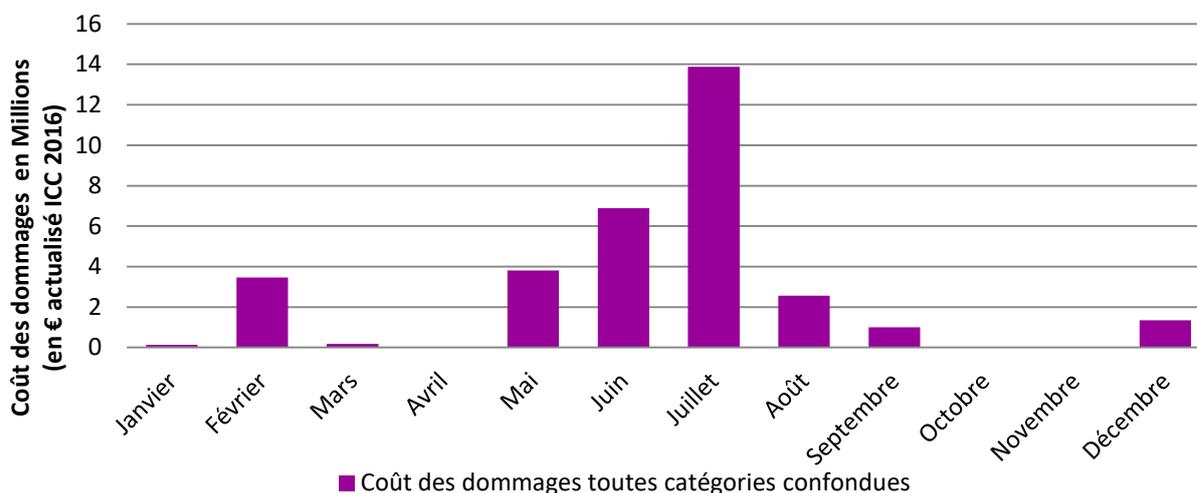


Figure 27 : Répartition du coût des dommages toutes catégories confondues par mois entre 1985 et 2004

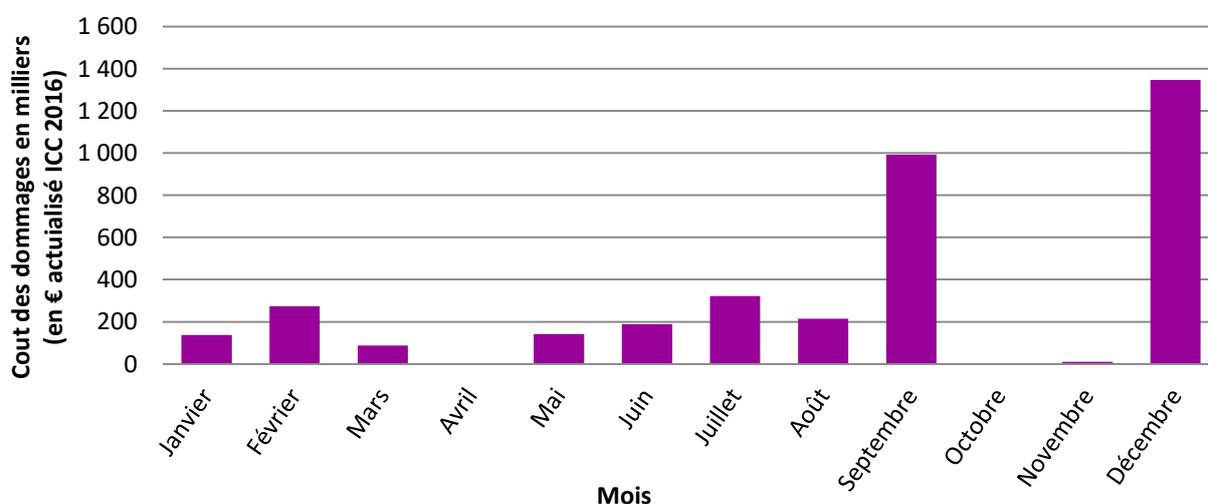


Figure 28 : Répartition du coût moyen des dommages toutes catégories confondues par mois entre 1985 et 2004

5 Discussion

Les différents résultats obtenus nous ont apporté une meilleure connaissance des coulées d'eau boueuse sur le territoire alsacien notamment vis-à-vis de leur répartition spatiale, temporelle et des conséquences qu'elles engendrent. Cependant, il est important de nuancer ces résultats, ces derniers pouvant être améliorés grâce à l'apport de données supplémentaires.

Lors de la mise à jour des bases de données, seuls les dossiers concernant des évènements survenus durant les mois de mai, juin, juillet et août ont été pris en compte. Cette restriction a permis de limiter la confusion entre les risques d'inondation et de coulée d'eau boueuse qui sont confondus dans la base de données GASPAREL. Cependant, malgré cette restriction des coulées d'eau boueuse ont pu être confondues à tort avec des inondations. De plus, le recensement des phénomènes a été uniquement réalisé à partir des demandes de dossiers CATNAT. La prise en compte de phénomènes n'ayant pas fait l'objet d'une telle demande aurait permis d'apporter de nombreuses informations supplémentaires et aurait pu changer de manière significative les résultats concernant les conséquences économiques car ces phénomènes que l'on peut qualifier de « mineurs » engendrent également des dommages.

En ce qui concerne les deux bases de données utilisées actuellement sous format Access, un changement de format vers des bases de données plus pérenne dans le temps et tout aussi facile d'utilisation est actuellement en cours de réflexion au sein du groupe GERIHCO.

La cartographie des communes concernées par les coulées d'eau boueuse a permis de visualiser la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse sur le territoire et de mettre en évidence les zones les plus exposées. Cependant, le recensement de coulées d'eau boueuse supplémentaires aurait pu renforcer les tendances visibles mais également en faire apparaître de nouvelles.

L'utilisation de la base de données Corine Land Cover a permis d'analyser l'évolution de l'occupation du sol sur une grande période de temps, bien que des données plus précises auraient été préférables. Il aurait également été intéressant de s'intéresser à l'évolution des autres facteurs à l'origine des coulées d'eau boueuse (climat, composition du sol) mais faute de données et de temps, cette analyse n'a pu être réalisée.

De même les différents graphiques sur les conséquences économiques exposés précédemment ont apporté de nouvelles informations sur les coûts engendrés par les coulées d'eau boueuse. Cependant, les coûts recensés ne concernent que 18 % des enregistrements des deux bases de données et sont uniquement répartis sur la moitié de la période d'étude. Un plus grand nombre d'enregistrements aurait été préférable afin d'obtenir des résultats plus représentatifs de la réalité. De plus, dans certains cas, les coûts recensés ne représentent pas uniquement les dommages engendrés par les coulées d'eau boueuse, les dommages résultant d'autres phénomènes tels que le vent ou encore la grêle sont parfois pris en compte. Cette imprécision vis-à-vis des dommages peut mener à une surestimation des conséquences économiques directement imputables aux coulées d'eau boueuse.

Dans le but de valoriser et de partager les recherches réalisés par les membres du projet GERIHCO, un site internet recensant les résultats des différents travaux a été récemment mis en ligne (www.gerihco.engees.unistra.fr). La cartographie des communes concernées par les coulées d'eau boueuse réalisée dans cette étude a également été réalisée sous forme de carte interactive (voir Figure 29) à l'aide de la librairie « open source » leaflet été a été intégrée au site internet.

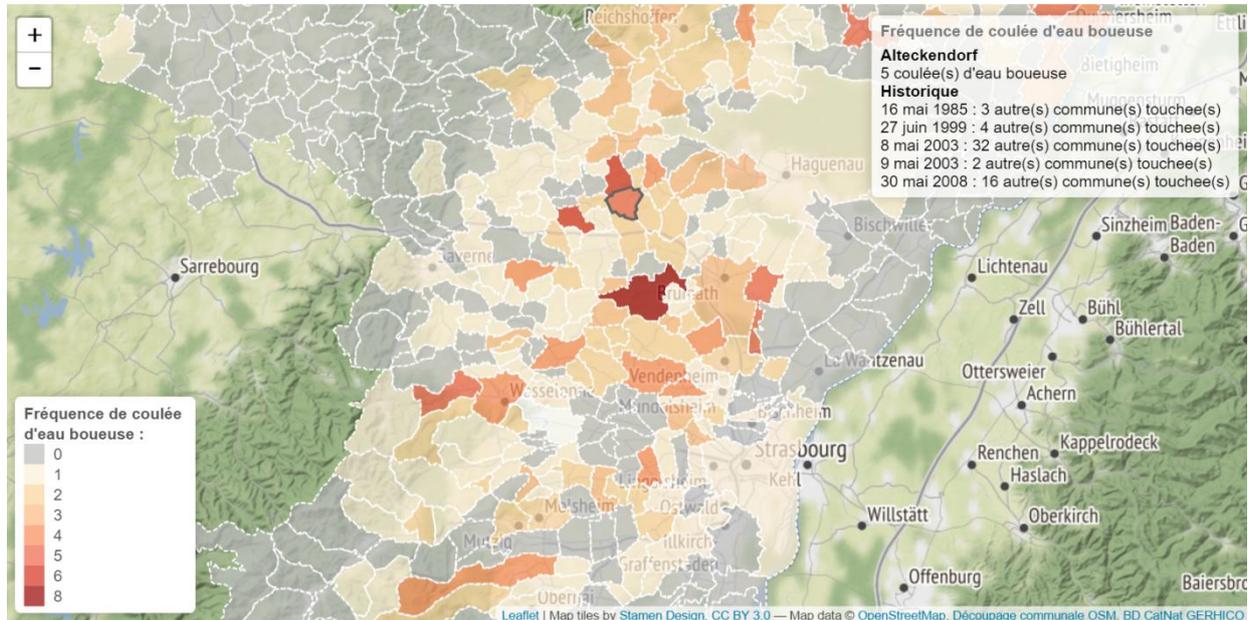


Figure 29 : Cartographie interactive

Conclusion

Les coulées d'eau boueuse représentent un risque non négligeable dans les départements du Bas Rhin et du Haut Rhin. Depuis 1982, date de leur passage sous le régime d'indemnisation catastrophe naturelle, il est devenu possible d'étudier avec précision leur répartition sur le territoire alsacien.

Le travail de mise à jour effectué dans le cadre de cette étude a permis de compléter le recensement des coulées d'eau boueuse qui avait d'ores et déjà été entrepris par *Heitz (2004)* et *Auzet et al (2005)*. L'analyse des deux bases de données a apporté de nombreuses connaissances supplémentaires sur ce phénomène.

En effet, l'analyse de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse a permis d'identifier quatre zones où ce risque est prédominant : l'Outre Forêt, le Kochersberg, le Secteur de Vignoble et le Sundgau. En plus de cette identification, une évolution de leur répartition au cours du temps a également été mise en évidence, les coulées d'eau boueuse ayant touché principalement les zones de l'Outre Forêt et du Secteur de Vignoble entre 1985 et 2000 tandis que sur la période suivante 2001 – 2016, le Kochersberg et le Sundgau sont les zones les plus concernées.

De même, l'étude de la répartition temporelle des coulées d'eau boueuse a fait ressortir deux périodes distinctes, allant respectivement de 1985 à 2000 et de 2001 à 2016, caractérisées par des variations des nombres de communes touchées par année extrêmement différentes. De plus, il s'est avéré qu'en été, les coulées d'eau boueuse sont recensées de plus en plus tôt.

Le dernier objectif de cette étude, l'analyse des conséquences économiques, a apporté des coûts indicatifs des dommages engendrés par ce phénomène. Une coulée d'eau boueuse ayant lieu pendant la période estivale (mai, juin, juillet août) cause en moyenne des dommages équivalents à 200 000 euros.

Les coulées d'eau boueuse ne semblent pas être à la baisse et les dommages que celles-ci engendrent étant conséquents, il semble aujourd'hui nécessaire de continuer les recherches dans ce domaine. Les recherches sur les conséquences économiques, encore peu connues, que ce phénomène suscite peuvent notamment être approfondies.

Outre les faits mentionnés ci-dessus, le partage des deux bases de données mises à jour auprès des acteurs concernés (collectivité locale, chambre d'agriculture, ...) semble essentiel. Ces données peuvent à terme être utilisées afin de mettre en place divers aménagements permettant de lutter efficacement contre les coulées d'eau boueuse.

Références bibliographiques

AGRESTE, « Mémento - Statistique agricole », 2016, [En ligne : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R4417C01.pdf>].

AUZET, Anne-Véronique, HEITZ, Carine, ARMAND, Romain [et al.], « Les “coulées de boue” dans le Bas-Rhin : analyse à partir des dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ».

BOURGUIGNON, David, *Événements et territoires - le coût des inondations en France : analyses spatio-temporelles des dommages assurés*, phdthesis, Université Paul Valéry - Montpellier III, 2014, [En ligne : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01127061/document>].

CERDAN, O, LE BISOONNAIS, Y, SOUCHÈRE, V [et al.], « Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols - Rapport n°3 : Synthèse et recommandations générales », [En ligne : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-55104-FR.pdf>]. Consulté le 12 avril 2017.

CHAMBRE D'AGRICULTURE DE RÉGION NORD-PAS DE CALAIS, « Guide de l'érosion - Lutter contre l'érosion », 2013, [En ligne : http://www.hautsdefrance.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Hauts-de-France/Guide-erosion.pdf].

CHENU, Claire, ABIVEN, Samuel, ANNABI, Mohamed [et al.], « Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols », *Etude et Gestion des Sols*, vol. 18 / 3, 2011, p. 161-174.

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ALIMENTATION, DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT GRAND EST, « Atlas Régional Alsace », [En ligne : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/1_Cadrage_03_Climat_p10_11_cle461715.pdf].

FARRES, P.J., « The dynamics of rainsplash erosion and the role of soil aggregate stability », *CATENA*, vol. 14, 1987, p. 119-130.

GROUPE DE TRAVAIL GERIHCO, « Projet GERIHCO 2009-2011 Rapport final », 2012, [En ligne : http://engees.unistra.fr/fileadmin/user_upload/pdf/gsp/Rapport-Final_GERHICO_mai_2012_01.pdf].

HEITZ, Carine, « Analyse des demandes d'indemnisation de catastrophe naturelle liées à des coulées de boue et caractérisation des bassins versants amont (Sundgau, Alsace). Mémoire de Maîtrise Géographie Physique », 2004.

LE BISSONNAIS, Yves et LE SOUDER, Christine, « Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion », *Etude et Gestion des sols*, vol. 2 / 1, mars 1995, p. 43-56.

LE BISSONNAIS, Yves, THORETTE, Jacques, BARDET, Cécile [et al.], « L'érosion hydrique des sols en France », 2002, [En ligne : http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/Infodoc/ged/viewportalpublished.ashx?eid=IFD_FICJOINT_0012182].

LEBRETON, Anne, SAUTER, Joëlle, BURTIN, Marie-Line [et al.], « Guide des sols d'Alsace », 1999, [En ligne : http://araa-agronomie.org/uploads/guide_des_sols/6-Guide%20des%20sols-Piemont67_1999.pdf].

LEBRETON-THALER, Anne, « Guide des sols d'Alsace : Collines de Brumath, du Kochersberg et de l'arrière Kochersberg », 2001, [En ligne : http://araa-agronomie.org/uploads/guide_des_sols/5-Guide%20des%20sols-CollinesBrumath-Kochersberg_2001.pdf].

MERTZ, Christophe, « Coulées de boue de Wasselonne & Romanswiller du 07 juin 2016 », 2016, [En ligne : <http://www.atmo-risk.fr/etudes-recherches/Coul%C3%A9es-de-boue-%C3%A0-Wasselonne-du-7-juin-2016.pdf>].

MÉTÉO FRANCE, « Bulletin climatique Juin 2003 », 2003, [En ligne : https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/bulletins/BCM/200306.pdf].

MÉTÉO FRANCE, « Bulletin climatique Mai 2003 », 2003, [En ligne : https://donneespubliques.meteofrance.fr/donnees_libres/bulletins/BCM/200305.pdf].

OLIVEAU, Sébastien, *Autocorrélation spatiale*, 2017, 4 p., [En ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01448724>].

PARTY, Jean-Paul, « Guide des sols d'Alsace : Sundgau et Jura alsacien », 2001, [En ligne : http://araa-agronomie.org/uploads/guide_des_sols/11-Guide%20des%20sols-Sundgau_JuraAlsacien_2001.pdf].

PARTY, Jean-Paul et MULLER, Nicolas, « Guide des sols d'Alsace : Outre Forêt », 2005, [En ligne : http://araa-agronomie.org/uploads/guide_des_sols/1-Guide%20des%20sols-OutreForet_2005.pdf].

« Prim.net : Base Gaspar » [En ligne : <http://macommune.prim.net/gaspar/visualisation.php>]. Consulté le 12 Avril 2017.

VAN DIJK, Paul, AUZET, A.-V. et LEMMEL, M., « Rapid assessment of field erosion and sediment transport pathways in cultivated catchments after heavy rainfall events », *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 30 / 2, février 2005, p. 169-182.

VAN DIJK, Paul, ROSENFELDER, Christine, SCHEURER, Olivier [et al.], « Une approche agronomique territoriale pour lutter contre le ruissellement et l'érosion des sols en Alsace », *Agronomie environnement & sociétés*, vol. 6 / 1, Juin 2016, p. 35-47.

VAN DIJK, Paul, SAUTER, Joëlle, KOLLER, Rémi [et al.], « Cartographie de la sensibilité à l'érosion et du risque potentiel de coulée d'eau boueuse en Alsace », [En ligne : <https://www.araa-agronomie.org/download/get/resume-presentation-cartographie-erosion-et-risque-de-coulee-de-85.html>].

Liste des figures

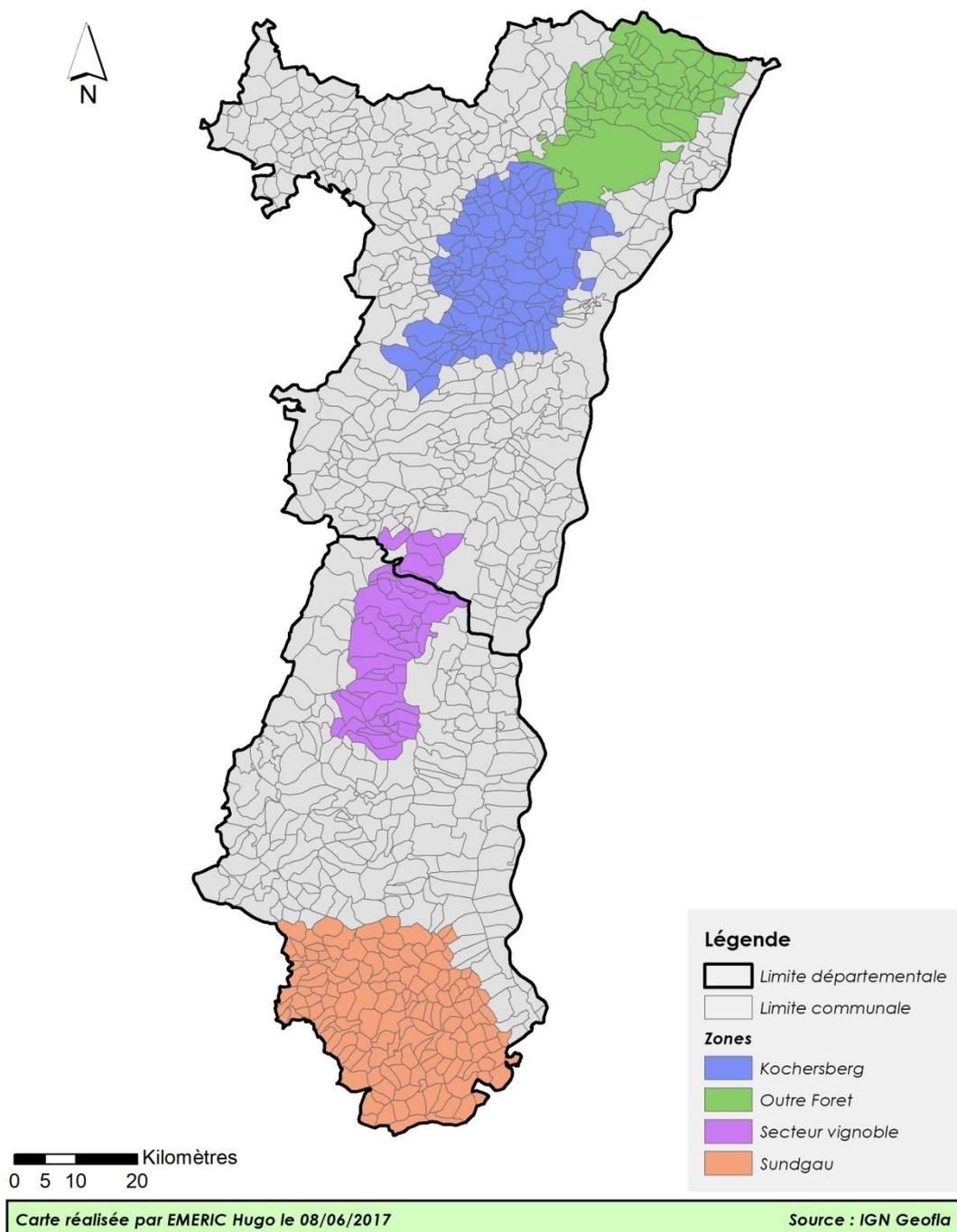
Figure 1: Principales cultures dans le Bas Rhin et le Haut Rhin – Agreste, Statistique Agricole, 2016 ...	4
Figure 2 : Cartographie de l'occupation du sol sur le territoire alsacien	5
Figure 3 : Moyenne des précipitations annuelles en Alsace – DRAAF Grand Est.....	6
Figure 4 : Différentes étapes de la dégradation structurale sur sol limoneux (Le Bissonnais et al, 2002)	8
Figure 5 : Coulée d'eau boueuse à Romanswiller le 07/06/2016	9
Figure 6 : mesure de protection contre les coulées d'eau boueuse	10
Figure 7 : Formulaire d'ajout d'un enregistrement - Base de données du Bas Rhin.....	12
Figure 8 : Commune non prise en compte dans l'étude	13
Figure 9 : Regroupement des classes d'occupation du sol issues de Corine Land Cover.....	14
Figure 10 : Communes concernées par les coulées d'eau boueuse.....	16
Figure 11 : Résultat indice de Moran	17
Figure 12 : Evolution de la répartition spatiale des coulées d'eau boueuse.....	18
Figure 13 : Evolution de l'occupation du sol entre 1990 et 2012.....	19
Figure 14 : Répartition temporelle des coulées d'eau boueuse sur la commune de Wissembourg	20
Figure 15 : Nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse entre 1985 et 2002.....	21
Figure 16 : Nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse dans le Bas Rhin	21
Figure 18 : Communes touchées par une coulée d'eau boueuse – Chiffre clé – BD GERHICO.....	22
Figure 17 : Nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse dans le Haut Rhin	22
Figure 19 : Répartition mensuelle des communes touchées par les coulées d'eau boueuse dans le Bas Rhin.....	23
Figure 20 : Répartition mensuelle des communes touchées par les coulées d'eau boueuse dans le Haut Rhin.....	24
Figure 21 : Cumul des précipitations annuelles et nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse dans le Bas Rhin entre 1985 et 1999 – Station de référence : Brumath	24
Figure 22 : Cumul des précipitations annuelles et nombre de communes touchées par une coulée d'eau boueuse dans le Haut Rhin entre 1985 et 2000 – Station de référence : Mulhouse	25
Figure 23 : Répartition des coûts par catégorie entre 1985 et 2004	26
Figure 24 : Répartition du nombre de coûts recensés par catégorie et par tranches de coût entre 1985 et 2004.....	26
Figure 25 : Part des 20 évènements les plus couteux sur le coût total des dommages entre 1985 et 2004.....	27
Figure 26 : Répartition du coût des dommages toutes catégories confondues par année entre 1985 et 2004.....	27
Figure 27 : Répartition du coût des dommages toutes catégories confondues par mois entre 1985 et 2004.....	28
Figure 28 : Répartition du coût moyen des dommages toutes catégories confondues par mois entre 1985 et 2004.....	28
Figure 29 : Cartographie interactive.....	30

6 Annexes

Annexe 1 : Localisation des zones fréquemment exposées aux coulées d'eau boueuse	36
Annexe 2 : Relief des zones touchées par les coulées d'eau boueuse.....	37
Annexe 3 : Modèle conceptuel base de données du Bas Rhin	39
Annexe 4 : Modèle conceptuel base de données du Haut Rhin	40
Annexe 5 : Caractéristiques météorologiques pour les mois de Mai et Juin 2003	41
Annexe 6 : Cartographie du coût des dommages imputables aux coulées d'eau boueuse.....	42

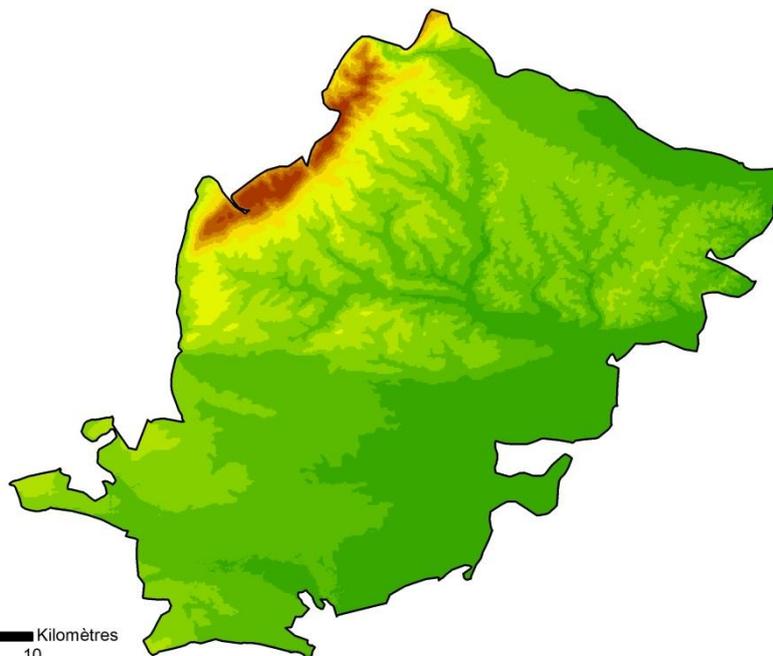
Annexe 1 : Localisation des zones fréquemment exposées aux coulées d'eau boueuse

Localisation des zones fréquemment exposées aux coulées d'eau boueuse



Annexe 2 : Relief des zones touchées par les coulées d'eau boueuse

Relief dans la zone de l'Outre Forêt



Légende

Altitude en mètres

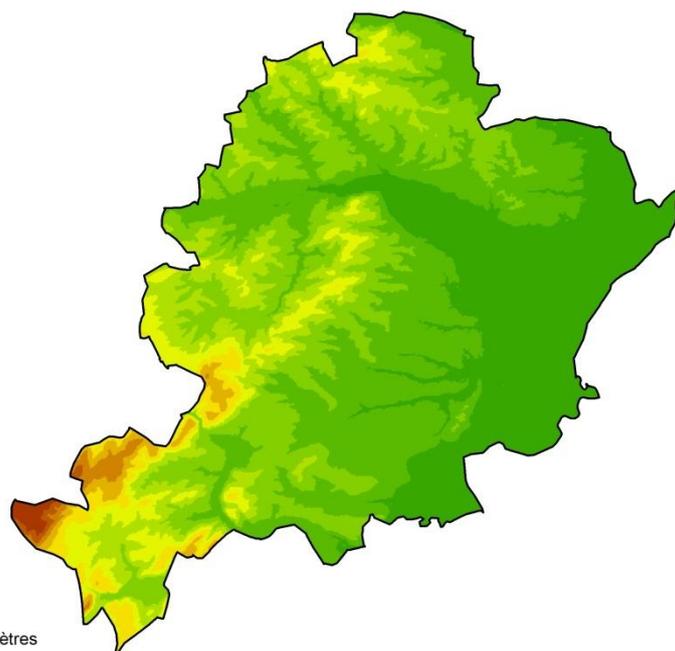
Green	110 - 140
Light Green	150 - 160
Yellow-Green	170 - 180
Yellow	190 - 210
Light Yellow	220 - 250
Yellow-Orange	260 - 300
Orange	310 - 350
Dark Orange	360 - 400
Brown	410 - 450
Dark Brown	460 - 530

0 2.5 5 10 Kilomètres

Carte réalisée par EMERIC Hugo le 28/05/2017

Source : IGN BD Alti 75

Relief dans la zone du Kochersberg



Légende

Altitude en mètres

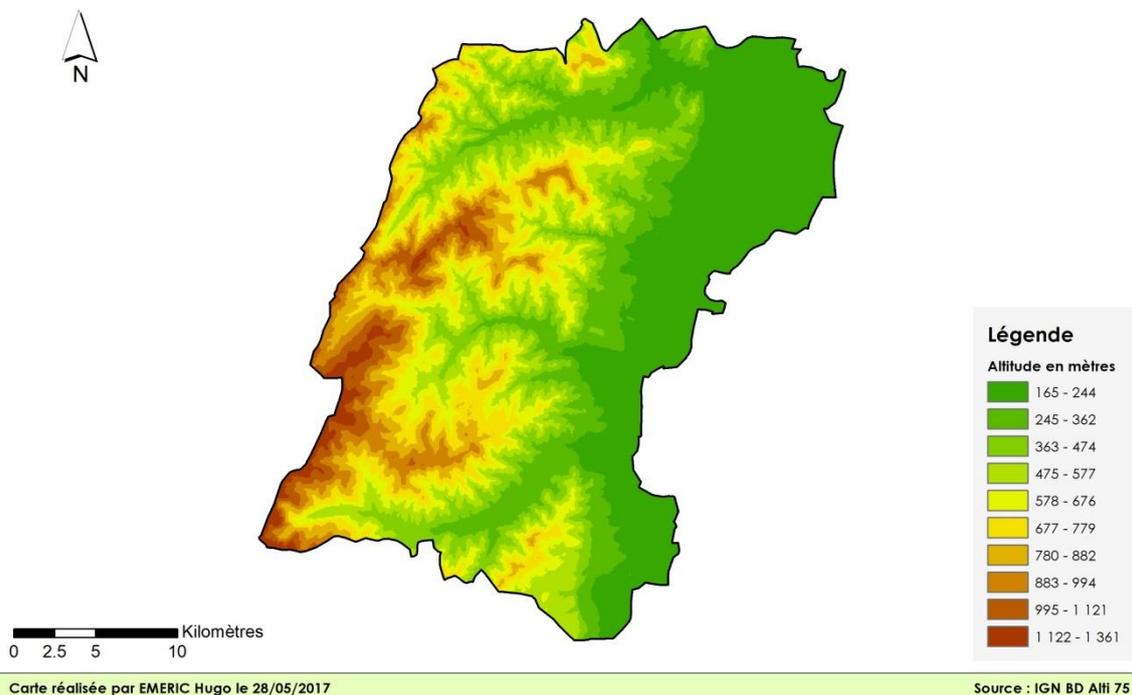
Green	125 - 156
Light Green	157 - 185
Yellow-Green	186 - 214
Yellow	215 - 245
Light Yellow	246 - 284
Yellow-Orange	285 - 332
Orange	333 - 390
Dark Orange	391 - 477
Brown	478 - 598
Dark Brown	599 - 741

0 2.5 5 10 Kilomètres

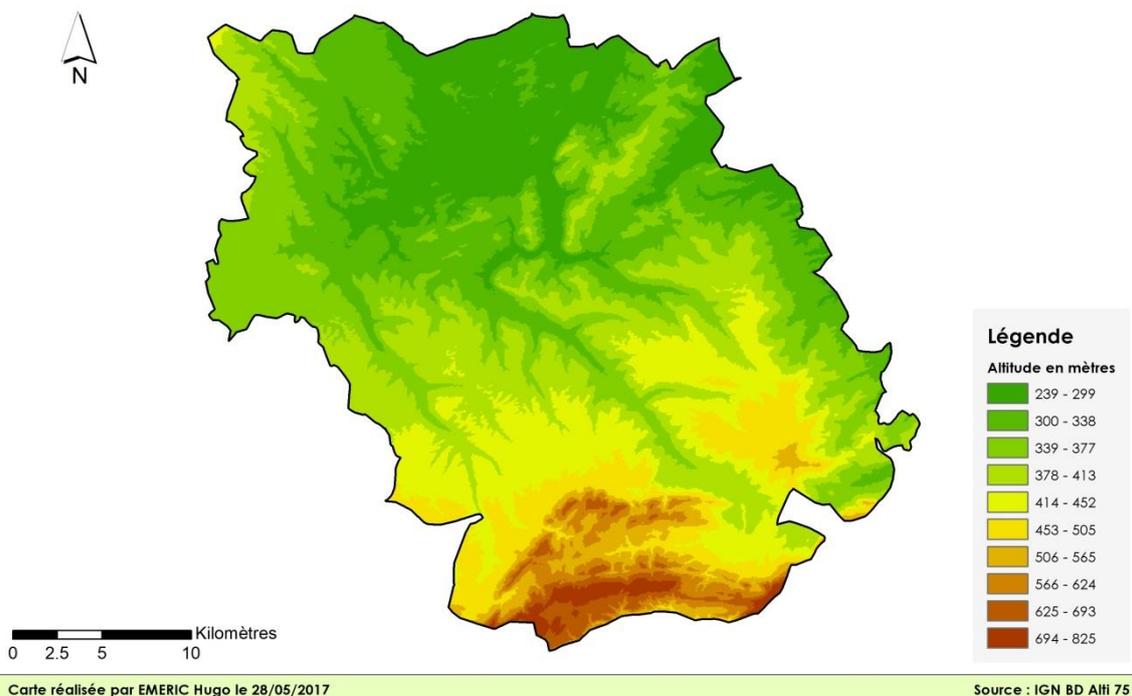
Carte réalisée par EMERIC Hugo le 28/05/2017

Source : IGN BD Alti 75

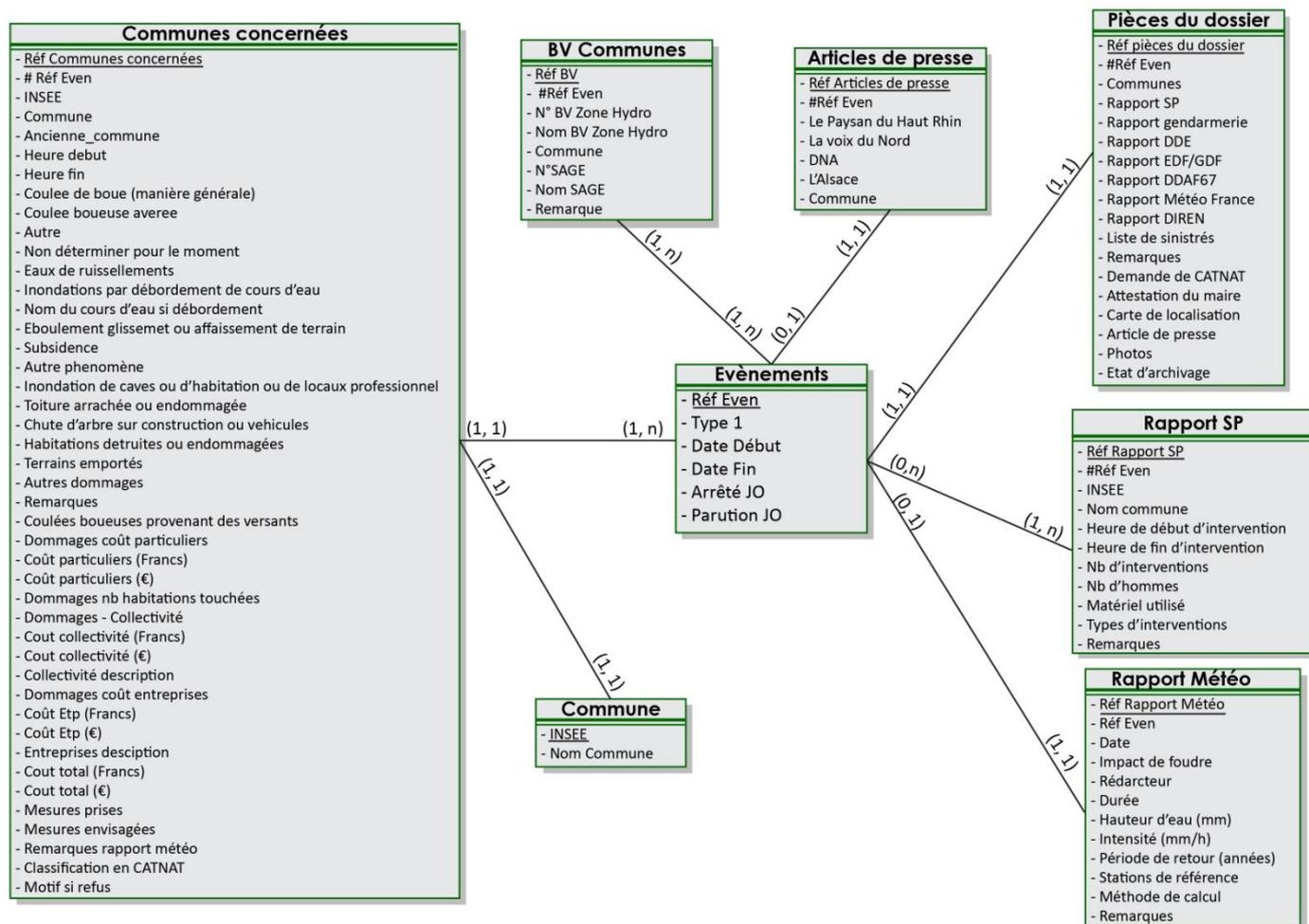
Relief dans la zone du Secteur Vignoble



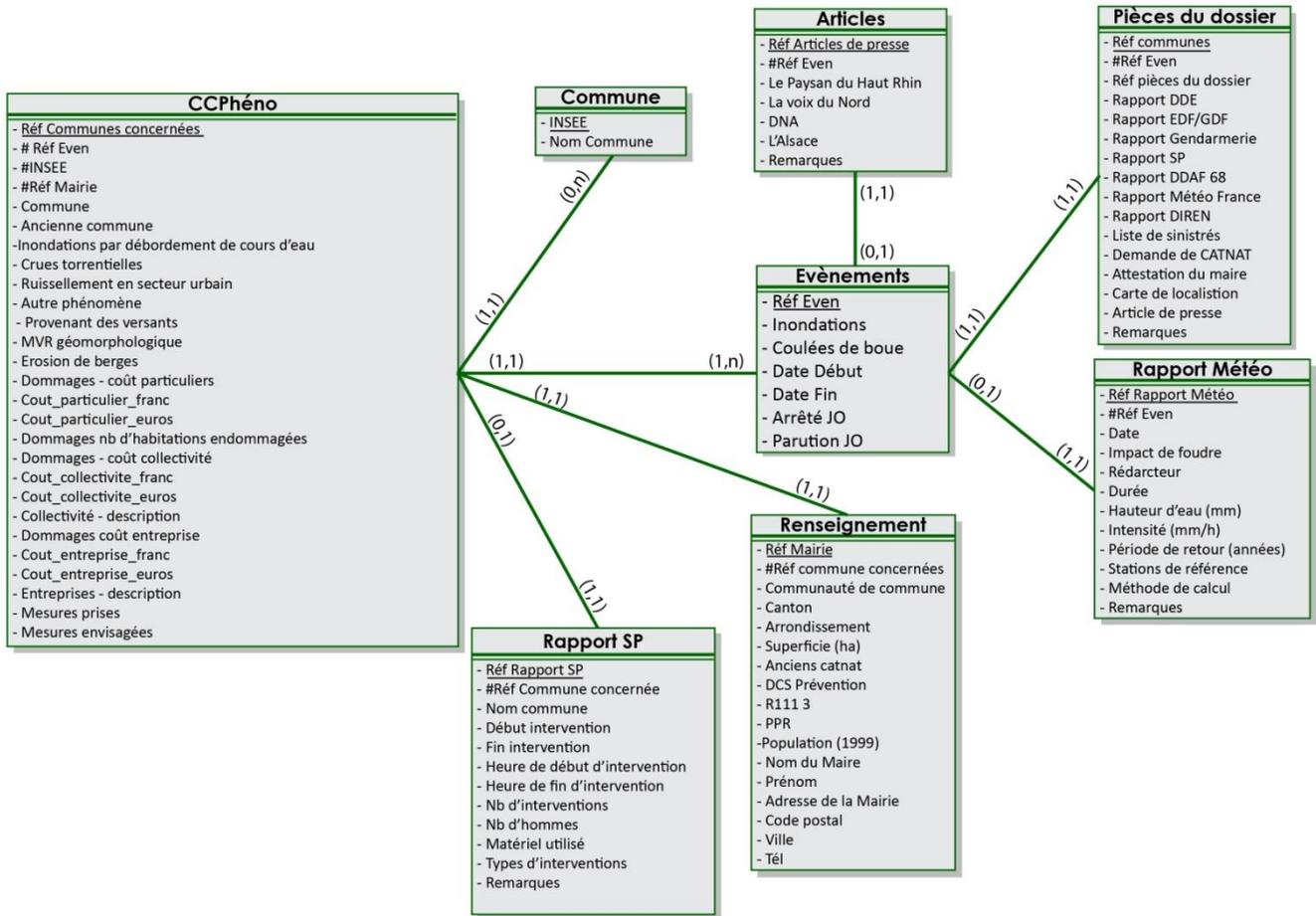
Relief dans la zone du Sundgau



Annexe 3 : Modèle conceptuel base de données du Bas Rhin



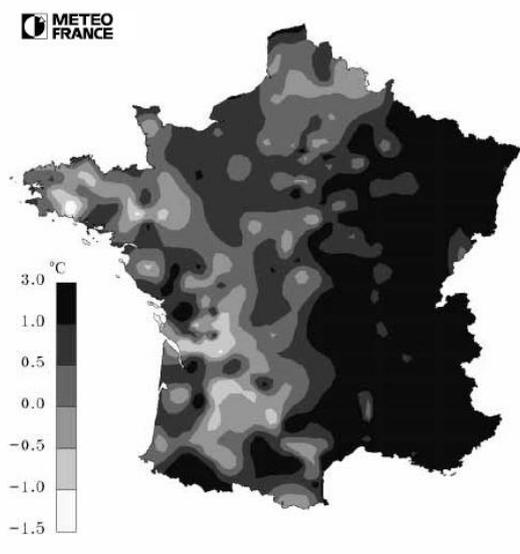
Annexe 4 : Modèle conceptuel base de données du Haut Rhin



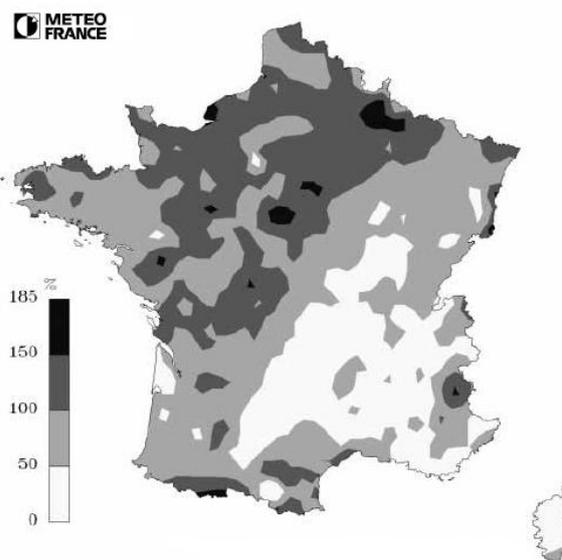
Annexe 5 : Caractéristiques météorologiques pour les mois de Mai et Juin 2003

Mai 2003

**Ecart à la normale
de la température moyenne
(degrés Celsius)**

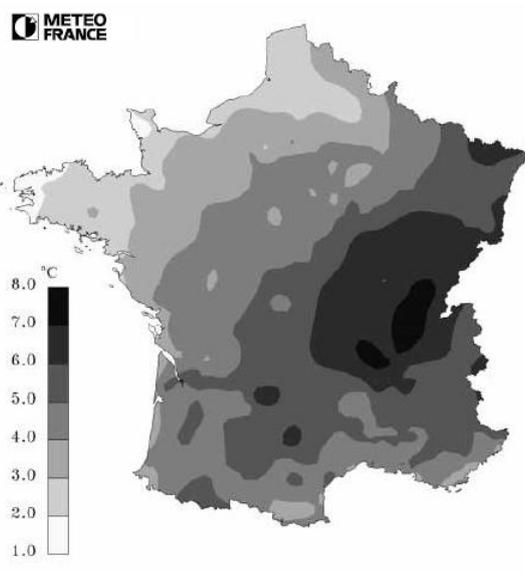


**Rapport à la normale
des hauteurs de précipitations
(pour cent)**

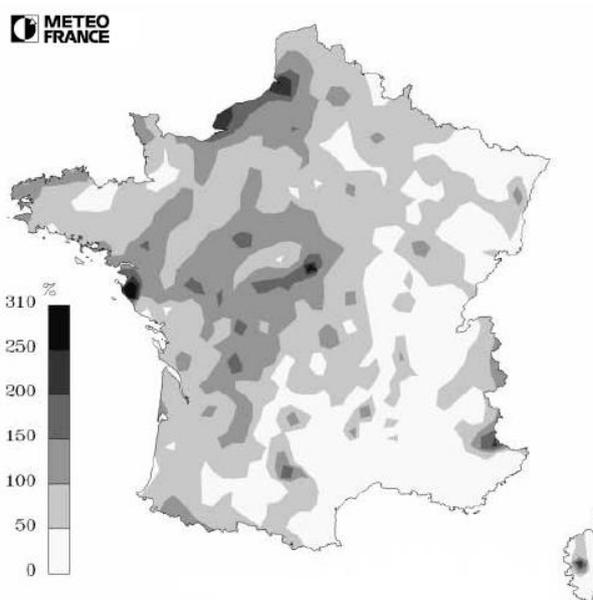


Juin 2003

**Ecart à la normale
de la température moyenne
(degrés Celsius)**

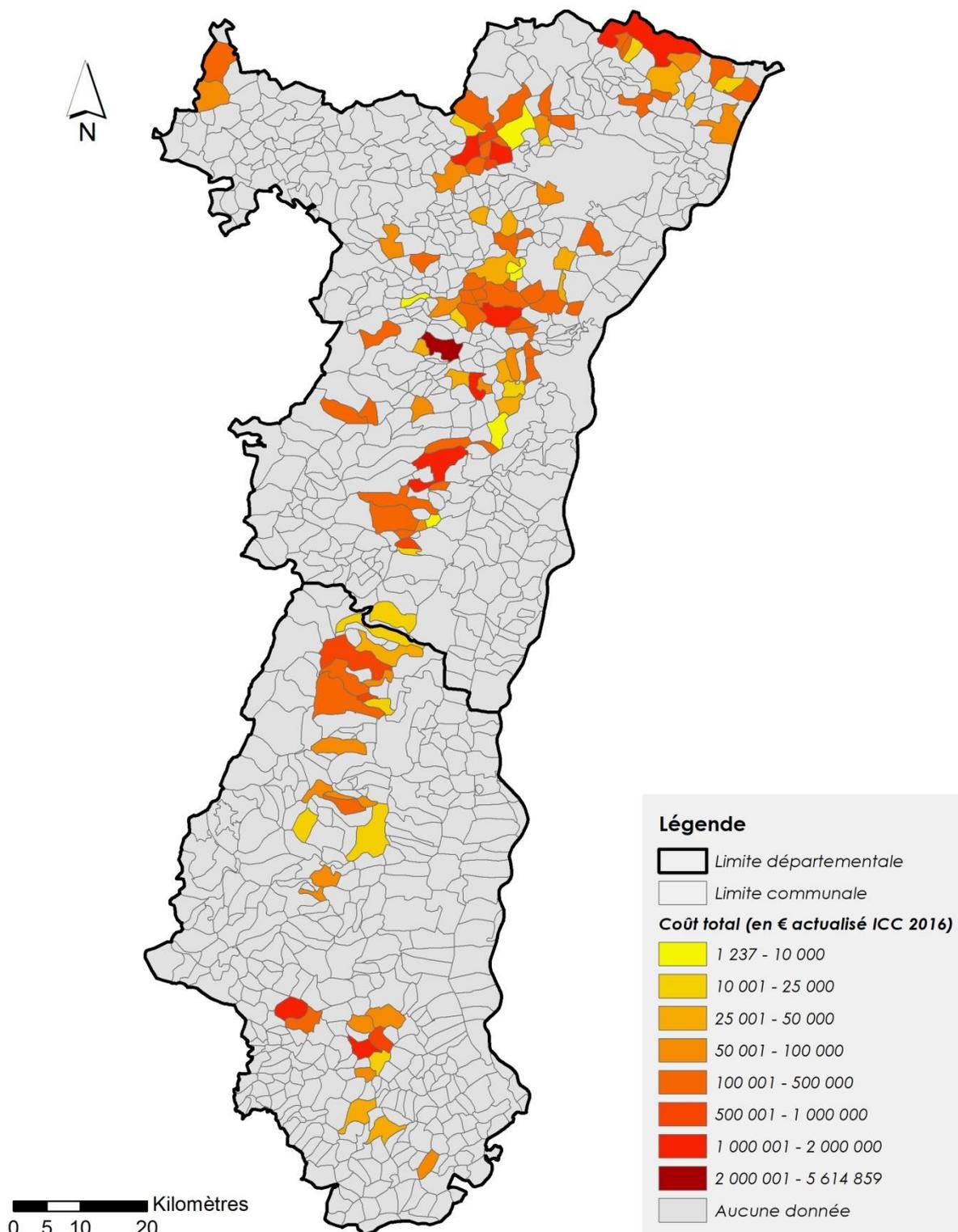


**Rapport à la normale
des hauteurs de précipitations
(pour cent)**



Annexe 6 : Cartographie du coût des dommages imputables aux coulées d'eau boueuse

Coût des dommages engendrés par les coulées d'eau boueuse
entre 1985 et 2004



Carte réalisée par EMERIC Hugo le 06/06/2017

Source : IGN Geofla, BD CATNAT GERHICO

L'érosion des sols en Alsace – Actualisation des données archivées et définition de nouvelles cartographies

Résumé

Les départements du Bas Rhin et du Haut Rhin sont de par leurs caractéristiques topographiques, pédologiques et climatiques particulièrement exposés au risque de coulées d'eau boueuse. Ces dernières se forment généralement dans les zones agricoles des collines limoneuses à la suite d'orages de fin de printemps et de début d'été.

C'est pour étudier ce phénomène que le groupe de travail GERIHCO (GEstion des Risques et Histoire des COulées d'eau boueuse) a constitué deux bases de données sur les coulées d'eau boueuse à partir des demandes de reconnaissances d'indemnisation de catastrophe naturelle (CATNAT). Le travail mené dans ce mémoire vise à mettre à jour ces bases de données et à analyser l'évolution spatiale, temporelle et l'évolution des conséquences économiques des coulées d'eau boueuse.

Pour ce faire, divers graphiques et cartes ont été réalisés à partir des bases de données. Leur étude a permis de mettre en évidence quatre zones particulièrement exposées à ce risque et une évolution de la répartition spatiale a également été constatée. De même, l'analyse de la répartition temporelle a souligné que les coulées d'eau boueuse surviennent de plus en plus en tôt dans l'année. Pour finir, les particuliers ont été identifiés comme étant les plus concernés par les coulées d'eau boueuse, bien qu'en terme de montant des dommages les entreprises soit les plus touchées.

Mot clé : Coulée d'eau boueuse, risque naturel, érosion du sol, ruissellement, SIG, répartition spatiale, répartition temporelle, conséquence économique, Alsace

Abstract

The departments of Haut Rhin and Bas Rhin are by their topographic, climatic and soil characteristics particularly exposed to the risk of muddy flow. This phenomenon occurs generally on agricultural area of silty hill after the storms of end of spring and early summer.

In order to study this phenomenon, the working group GERIHCO (GEstion des Risques et Histoire des COulées d'eau boueuse) built up two databases about muddy flows from the natural disaster indemnity recognition requests (CATNAT). The study presented in this dissertation aims at update these databases and at analyze the spatial, temporal evolution and the evolution of the economic consequences of muddy flow.

For this purpose, some charts and maps were realized from the databases. Their study allowed to highlight four areas particularly exposed to this risk and an evolution of the muddy flow's spatial distribution was also noticed. Similarly, the temporal distribution's analysis brought to light that the muddy flow are occurring earlier and earlier in the year. Lastly, the private individuals were identified as the most concerned by muddy flow, although that in terms of the damages' amount, the firms are the most affected.

Keywords : muddy flow, soil erosion, run-off, natural risk, GIS, spatial distribution, temporal distribution, economic consequences, Alsace