



HAL
open science

Le rôle du réseau routier et de ses dépendances dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires. Étude réalisée dans six bassins versants du Calvados

Cyril Gambu

► To cite this version:

Cyril Gambu. Le rôle du réseau routier et de ses dépendances dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires. Étude réalisée dans six bassins versants du Calvados. Géographie. 2023. dumas-04220227

HAL Id: dumas-04220227

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04220227v1>

Submitted on 27 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

UFR SEGGAT – Département de géographie

Le rôle du réseau routier et de ses dépendances dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires.

Etude réalisée dans six bassins versants du Calvados



Travail encadré par Daniel DELAHAYE et Romain REULIER

Mémoire de recherche

Juin 2023

GAMBU Cyril – Master 1 parcours environnement, risques et diagnostics territoriaux



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE

ideas

UFR SEGGAT – Département de géographie

**Le rôle du réseau routier et de ses dépendances dans les
dynamiques de transferts hydro-sédimentaires.**

Etude réalisée dans six bassins versants du Calvados

Travail encadré par Daniel DELAHAYE et Romain REULIER

Mémoire de recherche

Juin 2023

GAMBU Cyril – Master 1 parcours environnement, risques et diagnostics
territoriaux

Remerciements

Ce mémoire aurait dû traiter d'un sujet légèrement différent, avec le but de pouvoir être au plus proche des routes et autoroutes. Ce mémoire est l'aboutissement de centaines de kilomètres à travers le Calvados, mais aussi de découvertes et de rencontres en tous genres.

Je remercie tout d'abord Daniel DELAHAYE et Romain REULIER, d'une part pour m'avoir encadré en prenant le temps de discuter autant que nécessaire, mais surtout pour m'avoir intégré dans le projet DARTHYS. Je remercie tous les membres du projet, mais surtout Romain QUIGNEAUX pour les sorties de terrain et les discussions enrichissantes qui les accompagnaient.

Un grand merci aux maires et aux élus rencontrés, aux techniciennes des syndicats mixtes des bassins versants de la Dives, Mélanie GALAUP, et de la Touques, Sandie ALBIACH. Merci aux agents des routes départementales, pour avoir pris le temps de répondre aux questions et m'amener parfois sur le terrain.

Je remercie les personnes rencontrées durant les nombreuses sorties de terrain, et notamment les agriculteurs pour les discussions passionnantes.

Je remercie également Justine et Cassandre pour m'accompagner sur le terrain, et Grégoire pour les nombreuses astuces qui changent tout. Merci à eux pour les relectures.

Merci à ma famille sans qui je ne serais pas à Caen aujourd'hui et sans qui les déplacements à travers le Calvados auraient été plus difficile sans voiture.

Je tiens enfin à remercier particulièrement les personnes de la table du fond qui se reconnaîtront, qui par leurs réflexions et leurs conseils ont permis la rédaction de ce mémoire tel qu'il est. Je n'oublierai jamais tous ces bons moments...

Sommaire

Sommaire	1
Introduction générale.....	3
Partie 1 : Contexte scientifique et description des zones d'étude	7
Chapitre 1 : Présentation de l'objet d'étude	9
Chapitre 2 : Le Calvados	15
Chapitre 3 : Les bassins versants	18
Résumé	47
Partie 2 : Le processus d'érosion des sols et la cartographie de ce phénomène	49
Chapitre 1 : Etat de l'art sur l'érosion des sols	51
Chapitre 2 : La mise en application du modèle de Spatialisation d'échelle fine de l'Aléa Erosion des Sols (SCALES) de P. LE GOUEE et D. DELAHAYE (2008)	65
Chapitre 3 : Les résultats du modèle SCALES.....	78
Résumé	95
Partie 3 : Connectivité hydrologique et rôle du réseau routier dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires	97
Chapitre 1 : Méthodologie mise en place en alliant SIG et observations sur le terrain pour déterminer les impluviums	101
Chapitre 2 : Prise en compte des routes et bords de route dans la connectivité structurelle	115
Résumé	123
Partie 4 : Méthodes, résultats et analyses des rencontres avec les gestionnaires et les usagers du réseau routier.....	125
Chapitre 1 : Les gestionnaires	127
Chapitre 2 : Les usagers du réseau routier.....	136
Chapitre 3 : Discussions et limites du mémoire de recherche	142
Résumé	145
Conclusion générale	147
Références bibliographiques	151
Annexes	155
Liste des figures	167

Introduction générale

Ce mémoire s'inscrit dans un projet de recherche qui s'intitule Dépendance Routières et Transferts HYdro-Sédimentaires (DARTHYS). Ce projet, d'une durée de deux ans, est porté par Romain REULIER et une équipe de chercheurs de l'Université de Caen Normandie. Le but de ce projet permet, à l'échelle du département du Calvados, de caractériser les nombreux types de bords de routes présents. Il permet aussi, à l'échelle de six petits bassins versants, de quantifier les volumes hydro-sédimentaires en interaction avec le réseau routier. Enfin, ce projet de recherche permet de faire le lien entre érosion des sols, organisation paysagère, transferts hydro-sédimentaires et entretien des bords de route par les différents gestionnaires à l'échelle des routes se situant dans ces bassins versants. Ainsi, ce projet de recherche se compose en trois axes. Le premier mettra en place une typologie de la diversité du réseau routier et de ses dépendances dans les différents terroirs hydro-paysagers caractéristiques du département du Calvados. Le second aura pour but de quantifier les flux hydro-sédimentaires dans les fossés et sur les routes en cas de fortes précipitations grâce à de nouveaux outils de mesures de turbidité et de hauteur d'eau. Enfin, le dernier axe aura pour but d'identifier les pratiques de gestion des routes et bords de routes en lien avec les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires.

Ce dernier axe sur la gestion des bords de route en lien avec les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires fera donc l'objet de ce mémoire. Ce mémoire déterminera si le réseau routier connecte des surfaces sensibles à l'érosion (parcelles agricoles) avec les cours d'eau ou s'il empêche cette dynamique. Ainsi, il sera possible de savoir si le réseau routier complète et étend le réseau hydrographique de ces six bassins versants étudiés.

Ce mémoire de recherche permet d'étudier un sujet nouveau dont personne ne s'est vraiment attardé. Il permet aussi de mêler la géographie physique et la géographie humaine en intégrant plusieurs méthodes que sont la géomatique, l'observation sur le terrain et la rencontre des gestionnaires et usagers du réseau routier. Les bords de route ont des formes diverses, mais sont souvent une ressource pour la biodiversité grâce aux haies et bandes enherbées qui forment un linéaire continu sur des distances très importantes et qui maillent tout le territoire.

De plus, et c'est aussi l'objet de ce mémoire, les haies de bords de routes permettent certainement de retenir l'eau et les sédiments dans les bas de parcelles et évitent ainsi aux routes de devoir transporter d'importants volumes hydro-sédimentaires. Ces mêmes haies créent de l'ombre sur les routes et évitent ainsi la formation d'un îlot de chaleur en plus qui contribue au réchauffement climatique. Pendant les épisodes de canicule, l'ombre et la fraîcheur provoquées par ces arbres diminuent le risque de dégradation du goudron qui se décolle avec le passage des véhicules.

Ce mémoire, tout comme le projet DARTHYS, s'intéressera en particulier au réseau routier hors agglomération ou hors unité urbaine selon la définition de l'INSEE¹ qui définit une

¹ INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

unité urbaine comme : « une commune ou un ensemble de communes présentant une zone de bâti continu (pas de coupure de plus de 200 mètres entre deux constructions) », quel que soit le nombre d'habitants. Le réseau routier est composé de la route et de ses dépendances. Les dépendances forment l'interface entre la route et une parcelle. Ces dépendances peuvent être composées d'un ou plusieurs de ces éléments, à savoir une berme, une bande enherbée munie d'une glissière de sécurité ou pas, un fossé, un talus, une haie haute ou basse, taillée ou non.

Pour entretenir le réseau routier, il y a des agents spécialement formés pour cela. Leur travail consiste à entretenir les routes et bords de route. Cela passe par le fauchage, le dérasement de l'accotement, le curage des fossés, le nettoyage des buses et des grilles de sécurité, l'entretien de la voie de roulement, mais aussi l'entretien de la signalisation verticale (les panneaux) et de la signalisation horizontale (les marquages au sol) dans le but d'assurer la sécurité des usagers et la propreté du réseau, en ramassant les très nombreux déchets jetés par les usagers. Ces déchets sont toxiques pour le sol et l'eau, mais le sont encore plus pour la faune.

Les dynamiques hydro-sédimentaires se mettent en place sur un sol gorgé d'eau par des précipitations qui érodent le sol. L'érosion des sols se définit par « *un ensemble de processus, naturels ou liés aux interventions humaines, de mobilisation, de transferts puis de dépôts de matériaux arrachés aux couvertures pédologiques sous l'effet d'agents externes, essentiellement les pluies et le vent* » (R. REULIER, 2010 (page 14)).

Ce travail va tenter de répondre à plusieurs questions. En effet, si le réseau routier contribue à hauteur de 30 % du total du transport des sédiments en suspension d'après K.E. GRUSZOWSKI et al., (2003), le réseau routier semble être une extension au réseau hydrographique. Cependant, cette extension n'est peut-être pas visible partout de la même manière. De plus, certaines parcelles agricoles loin du réseau hydrographique peuvent être connectées à celui-ci via le réseau routier. Cela pose la question suivante : **dans quelle mesure le réseau routier peut-il former une extension au réseau hydrographique ?**

Dans les paysages de bocage où la présence de haie, de fossé et de talus est régulière, les entrées de champs créent une rupture de ces linéaires et sont donc une porte d'entrée de l'eau et des sédiments venant du champ sur la route. Ainsi, **en quoi les entrées de champs ont des conséquences sur les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires ?**

Les entretiens réalisés avec les gestionnaires des routes dans le cadre du mémoire, concernant le curage et le nettoyage des routes, a pour objectif de vérifier les résultats du modèle d'érosion des sols. Ainsi, **pourquoi une parcelle jugée comme très fortement sensible à l'érosion n'a pas d'influence sur l'entretien de la route par les gestionnaires ?**

A l'inverse, le long d'une parcelle faiblement sensible à l'érosion d'après les résultats du modèle d'érosion SCALES, la route et ses dépendances peuvent se voir régulièrement inondées et doit obliger les gestionnaires à se rendre régulièrement sur place. **En quoi un**

mauvais aménagement du bord de route ou un manque d'entretien d'un fossé dans un terrain privé peut rendre une route inondable ?

Suite à ces questionnements, ce mémoire tentera de répondre à la problématique suivante :
en quoi le réseau routier et ses dépendances jouent un rôle dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires ?

Ce mémoire s'intéresse donc de la zone érodée (parcelles agricoles) jusqu'à l'arrivée dans le cours d'eau des sédiments, en passant bien évidemment par le transfert de ces sédiments via le réseau routier.

Ce mémoire est structuré en quatre parties, chacune divisée en chapitre.

La première partie va faire le point sur les connaissances déjà établies en termes de dynamiques de transferts hydro-sédimentaires sur le réseau routier. Les connaissances sont assez faibles, mais cela permet d'amener les connaissances de départ pour la suite de ce travail. Ce mémoire s'appuiera sur l'étude de six bassins versants dans le département du Calvados qui ont des caractéristiques géologiques, pédologiques, paysagères, agricoles et climatiques diverses. Certains bassins versants sont fortement drainés par un réseau hydrographique tandis que d'autres n'ont pas de cours d'eau. Dans ces bassins versants, même s'il y a des routes, elles ont des formes différentes et les bords de route sont variés.

La présentation des bassins versants amène par la suite la mise en place d'une étude hydrologique et sédimentaire. Cela débute par l'état de l'art sur l'érosion, depuis les parcelles agricoles jusqu'aux cours d'eau, en passant évidemment par le réseau routier. Dans cette partie, plusieurs modèles cartographiant le risque d'érosion des sols sont étudiés afin d'utiliser celui qui possède le meilleur compromis entre fiabilité des résultats, facilité d'utilisation et cartographie à l'échelle de chacune des parcelles.

Cette cartographie de l'érosion des sols est ensuite confrontée avec la localisation des impluviums. Ainsi, si un impluvium se situe sur une parcelle avec un fort risque d'érosion, il y a de grandes chances que le réseau routier prenne en charge les sédiments érodés jusqu'au cours d'eau. Tout ceci est ensuite discuté avec les gestionnaires et usagers du réseau routier afin d'avoir leur point de vue entre ce qui est proposé de manière théorique et ce qu'il se passe réellement à leurs yeux.

Enfin, la dernière partie met au jour les pratiques d'entretien du réseau routier, mais aussi ce que voient et pensent les usagers de ce réseau. Cette partie inclut un chapitre concernant les limites de ce travail.

Partie 1 : Contexte scientifique et description des zones d'étude

Introduction

L'état de l'art concernant les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires qui entrent en contact avec le réseau routier est assez faible. Néanmoins, il est possible d'avoir des connaissances générales sur ce qu'est le réseau routier.

Chapitre 1 : Présentation de l'objet d'étude

1.1 Les routes

Le réseau routier est un aménagement anthropique. Certaines routes existent depuis quelques années tandis que d'autres sont présentes depuis des millénaires, héritage des voies romaines. Pour ces routes les plus anciennes, elles ont évolué, passant d'un chemin de terre à une route empierrée pour aujourd'hui prendre la forme d'une route goudronnée permettant un trafic de quelques centaines à plusieurs milliers de véhicules par jour. Le réseau routier s'est fortement développé avec l'accès généralisé à l'automobile par les familles, après la Seconde Guerre mondiale. Le réseau routier quadrille tout le territoire et permet de relier facilement les villes entre-elles. Ce réseau s'intensifie encore aujourd'hui avec de nouveaux projets de construction de routes ou d'autoroutes. Le réseau routier est l'infrastructure linéaire de transport la plus dominante et la plus dense en Europe (F. DI PIETRO et C. CHAUDRON, 2017).

La surface de la chaussée est imperméable. Les gouttes de pluie qui tombent ruissellent sur la route sans pouvoir s'infiltrer. Afin d'éviter qu'elles ne soient inondées, certaines routes ont été surélevées tandis que d'autres ont été creusées pour éviter une multitude de côtes et de descentes. Il existe des routes surélevées par rapport à la topographie alentour, qui peut former un obstacle aux dynamiques de transferts hydro-sédimentaires, des routes insérées dans la topographie qui sont à peu près au même niveau que les champs alentours avec un faible impact sur le ruissellement, et des routes en creux qui sont plus basses que les champs et concentrent en dirigeant les écoulements hydro-sédimentaires (E. BOCHER, 2005 ; J. PAITEL, 2007 ; V. VIEL, 2012 ; R. REULIER, 2015).



Figure 1 : exemples de routes surélevées par rapport à la topographie où se forme une zone de dépôt des sédiments (C. GAMBU, 2023 et R. REULIER, 2015 (page 40))



Figure 2 : exemples de routes insérées dans la topographie où le ruissellement traverse la route (C. GAMBU, 2023 et R. REULIER, 2015 (page 40))



Figure 3 : exemples de route en creux où le ruissellement s'écoule le long de la route (C. GAMBUI, 2023 et R. REULIER, 2015 (page 40))

La pente des tronçons routiers peut aussi avoir une influence sur les dynamiques hydro-sédimentaires, notamment pour les routes en creux qui orientent les transferts hydro-sédimentaires (K.E. GRUSZOWSKI et al., 2003). Ces routes en creux accélèrent les écoulements et peuvent augmenter les risques d'inondation en aval.

Le profil de la chaussée est aussi différent selon trois types qui sont illustrés dans le schéma ci-dessous, avec un profil divergent pour que l'eau s'écoule de part et d'autre de la chaussée (A) ; un profil rectiligne lorsque la chaussée est inclinée vers un côté pour faciliter l'écoulement de l'eau vers un fossé ou vers la pente (B) ; et un profil rectiligne ou le fossé se situe en amont du versant (C) (E. BOCHER, 2005).

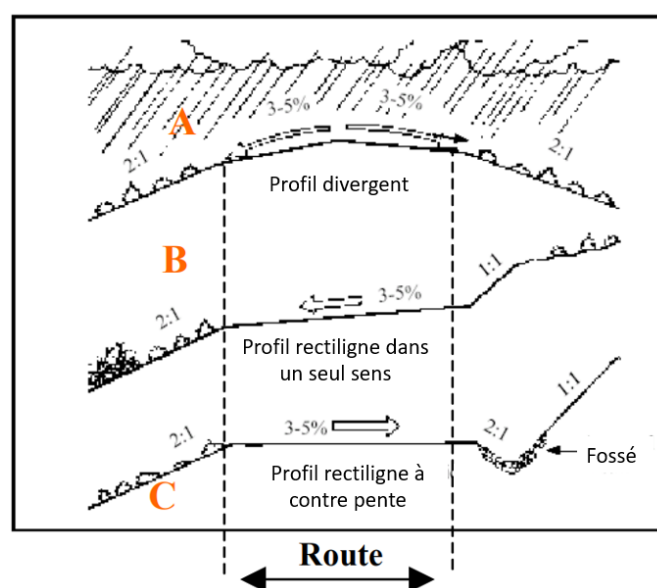


Figure 4 : profils transversaux de route, (d'après Keller et Sherar, 2003, adapté par E. BOCHER, 2005, (page 65))

1.2 Les bords de route

Les bords de route sont aussi appelés dépendances routières ou dépendances vertes d'après le Centre d'Etude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, les Mobilités et l'Aménagement (CEREMA, 2018). Le CEREMA en 2018 considère que la largeur moyenne du bord de route est de 4 mètres, ce qui représente en France une superficie de 8 500 km² soit moins de 1,5 % du territoire.

Le bord de route est plus ou moins large. Il est assez large dans les paysages de bocage ou près des grands axes routiers tels que les autoroutes, il est beaucoup plus étroit lorsque la topographie est plane et qu'il longe une parcelle agricole cultivée. En effet, l'agriculteur agrandit sa parcelle autant que possible, à la fois pour une récolte un peu plus importante et pour éviter la prolifération d'espèces invasives au bord du champ comme les orties ou les chardons, mais aussi pour éviter d'entretenir cet espace en fauchant ou en désherbant le bord du champ avant la dispersion des graines.

F. RONGERE analyse le bord de route comme « *une interface sociale, celle entre les agriculteurs et les agents chargés de l'entretien de ces bords de route ainsi qu'une interface entre le monde agricole et les usagers de la route* » (F. RONGERE, 2014, (page 1)). Ces trois acteurs, à savoir les agriculteurs, les usagers et les agents chargés de l'entretien des routes sont souvent en désaccord sur la manière dont est exploité ce bord de route.

Le bord de route est majoritairement végétalisé et constitué d'herbacées, mais il peut y avoir la présence d'une haie, quelle que soit sa hauteur. Il constitue une ressource et un lieu d'habitat pour la faune, notamment dans les paysages de plaines où il y a une dominance de parcelles cultivées et une quasi-absence de prairies, de haies ou d'arbres. Lorsqu'il y a des fleurs, il y a la présence de nombreux papillons et de multiples insectes pollinisateurs.

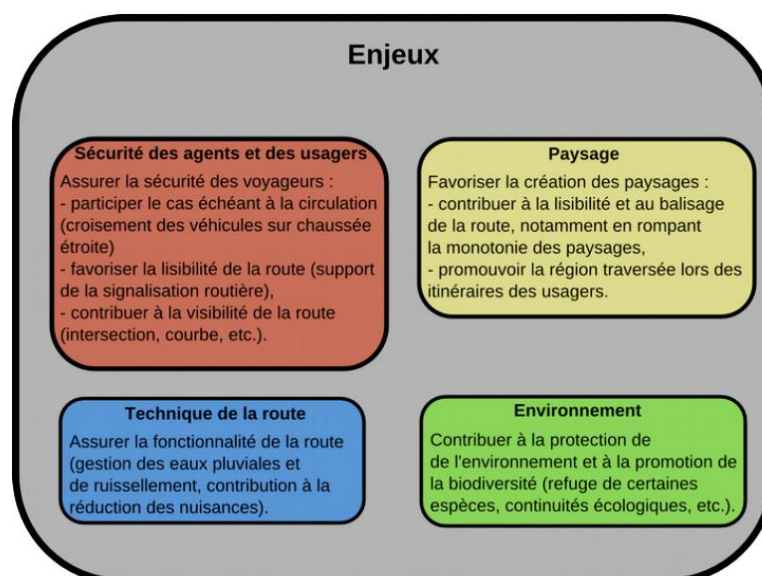


Figure 5 : enjeux et services rendus par les dépendances vertes (CEREMA, 2018 (page 7))

Des aménagements ont été installés le long de ces routes comme des fossés pour accueillir essentiellement l'eau de la route. Il y a parfois un enrochement pour consolider le talus lorsque la pente de celui-ci est forte. Sur un même bord de route, plusieurs éléments peuvent être présents comme par exemple une haie (quelle que soit sa forme) sur un talus ou un talus à côté d'un fossé (R. REULIER, 2015).

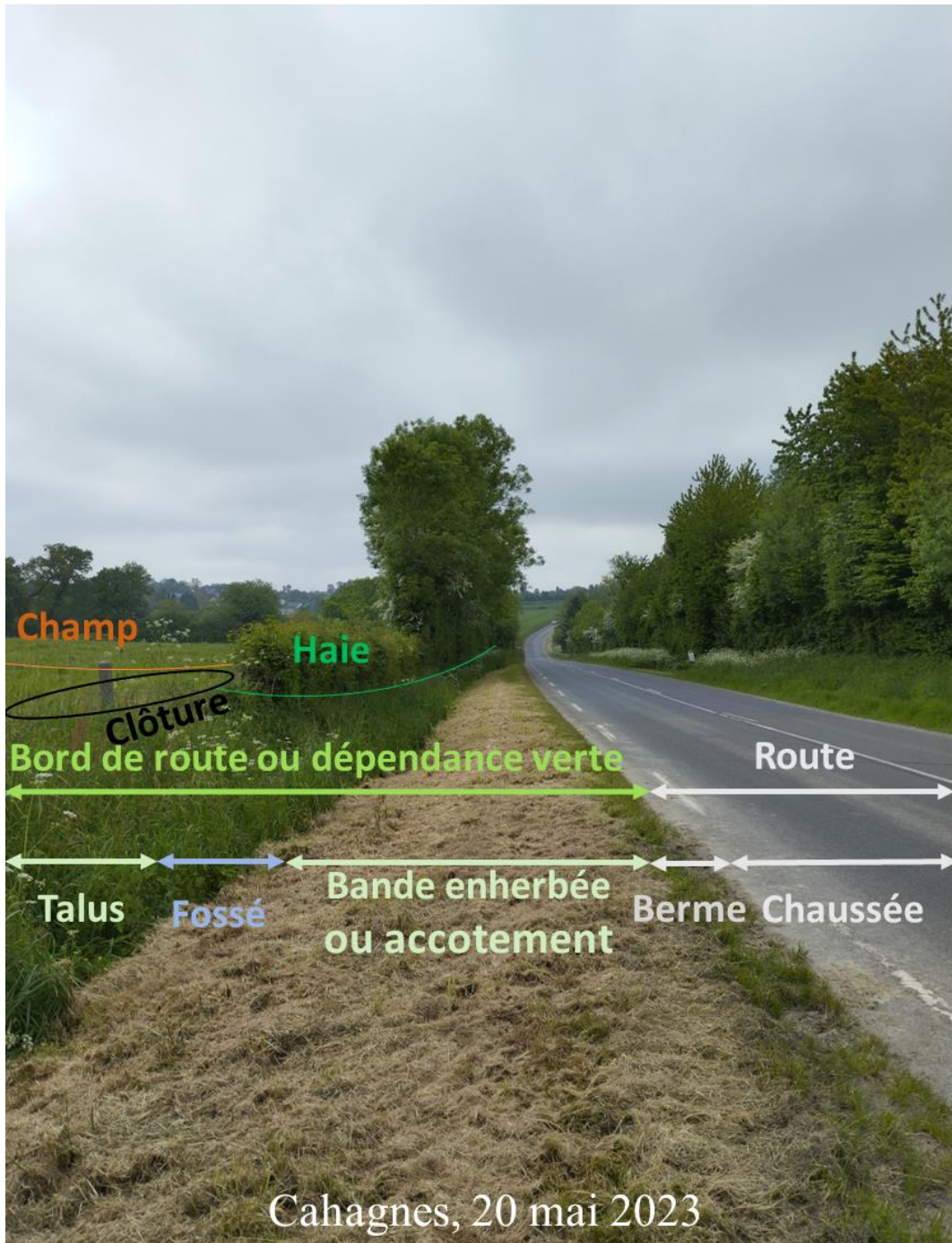


Figure 6 : différentes composantes de la route et du bord de route (C. GAMBU, 2023)

1.3 Méconnaissance des entités « route » et « bord de route » dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires

Si le rôle du bord de route sur la biodiversité est peu à peu étudié, le rôle des dépendances vertes et de la route elle-même sur les dynamiques de transferts hydro-sédimentaire demeure méconnu.

L'influence du réseau routier sur les dynamiques de transferts hydro-sédimentaire a été étudiée aux Etats-Unis, notamment par J. A. JONES et al. en 2000, B. WEMPLE et al. en 2001 et G.D DUKE et al. en 2003, mais très peu en Europe, sauf par K.E. GRUSZOWSKI et al. en 2003 au Royaume-Uni et abordé en France par quelques auteurs. En effet, seul des études existent sur les transferts hydro-sédimentaires entre les parcelles agricoles et le réseau hydrographique, à l'instar des thèses de D. DELAHAYE en 1992, E. BOCHER en 2005, V. VIEL en 2012 et R. REULIER en 2015. Ces travaux mentionnent le réseau routier sans s'y consacrer pleinement. D'autres travaux, comme celui de F. RONGERE en 2014, concernent le fauchage tardif des bords de routes ou la biodiversité présente sur les dépendances vertes.

Dans le Nord-Ouest de la France, aucune étude ne porte sur l'interaction entre d'une part les routes et les dépendances routières et d'autre part les dynamiques hydro-sédimentaires vers le cours d'eau. Les volumes hydro-sédimentaires transportés par les routes et leurs dépendances sont flous tout comme le rôle des fossés et des bandes enherbées qui sont présents le long des routes. Une étude réalisée à l'échelle du bassin versant de la rivière Leadon au Royaume-Uni montre que le réseau routier contribue à hauteur de 30 % du total des sédiments en suspension retrouvés dans les cours d'eau ce qui n'est pas négligeable (K.E. GRUSZOWSKI et al., 2003). Les fossés de bord de routes méritent d'être analysés de plus près, et notamment pour savoir quel est leur rôle hydro-sédimentaire et la manière dont il est conçu et entretenu. La géomorphologie du bassin versant et l'occupation du sol, couplée aux précipitations et à la manière dont est insérée la route sur le versant, peuvent modifier significativement les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires au sein du bassin versant (WEMPLE B. et al, 2001).

Chapitre 2 : Le Calvados

A travers la variété environnementale du département du Calvados, ce mémoire tentera de démontrer le rôle du réseau routier dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires. Le Calvados se situe à l'Ouest de la Normandie, dans l'ex Basse-Normandie. Il y a près de 700 000 habitants dans ce département en 2019. La plus grande ville du Calvados est Caen avec 106 000 habitants en 2019 selon l'INSEE.

2.1 Les paysages

Ce département offre tout d'abord une diversité de paysages en partie ruraux, avec peu de surfaces urbanisées. En effet, le Sud-Ouest du département présente un paysage de bocage caractérisé par des vergers, des petites parcelles de prairies ayant des formes différentes et séparées par des haies, des talus et des fossés qui drainent ces espaces et génèrent des corridors biologiques. De plus, le paysage est vallonné, l'habitat est dispersé et le réseau routier est dense pour accéder aux multiples parcelles. L'utilisation des sols est dominée par la polyculture et surtout par l'élevage bovin selon l'Agreste². A l'inverse, la partie centrale du Calvados est composée de paysages de grandes cultures faisant partie de la plaine de Caen, où il y a de grands champs céréaliers cultivés, séparés par un réseau routier moins dense ou des chemins agricoles. L'habitat y est concentré.

2.2 La géologie variée

Le Calvados est à l'interface entre, d'une part, les formations du Massif armoricain, qui est un massif ancien à l'Est avec des formations peu perméables, ce qui explique que le réseau hydrographique est très dense ; et d'autre part les formations du Bassin parisien qui est un bassin sédimentaire à l'Ouest avec des formations plus perméables.

Le Massif armoricain est constitué de roches sédimentaires, de roches métamorphiques et plutoniques telles que des granites, des schistes, des grès et des quartzites. A l'inverse, le Bassin parisien est un bassin sédimentaire qui est composé en majorité de limons, de marnes, d'argiles, de sables, d'alluvions, de calcaires et de craies.

² Agreste : organisme d'études, de statistiques, d'évaluation et de prospective du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire

2.3 Les climats

Le département du Calvados subit un climat océanique avec des circulations atmosphériques allant d'Ouest en Est. En effet, il y a une alternance entre des hautes pressions dues à l'anticyclone des Açores qui provoque un temps calme et clair et des températures douces en été. A l'inverse, en hiver, les basses pressions issues de la dépression polaire d'Islande génèrent un temps humide et venteux et des températures fraîches. De plus, ce département possède un littoral long de 120 km ce qui influe sur le climat et les précipitations. Par ailleurs, ce climat est de type pluvio-évaporal océanique car les précipitations sont importantes en périodes hivernales donc les débits des cours d'eau sont importants. A l'inverse, en été, les températures sont plus élevées, l'eau s'évapore et ne va pas ou peu alimenter les cours d'eau.

Concernant les précipitations, selon J.-M. CADOR en 2005, les précipitations annuelles sont de « 600 millimètres pour les littoraux ou la Plaine de Caen, à plus de 1000 millimètres, voire 1300 pour les hauteurs exposées » (page 36). En effet, à la station météorologique de Carpiquet près de Caen, sur la période allant de 2001 à 2010, le cumul des précipitations est de 748 mm par an alors que sur la même période à Vire Normandie, au Sud-Ouest du département, le cumul annuel de précipitation est de 931 mm par an.

Selon O. CANTAT et F. BEAUVAIS (2022), « *les températures et les précipitations varient principalement selon la topographie, l'exposition aux flux humides provenant majoritairement de l'ouest, et de la distance à la mer* ». Le département est marqué par quelques reliefs qui créent des effets d'abris et des effets d'exposition au soleil dans les vallées, créant des microclimats locaux. Près de la mer, le climat est tempéré en été comme en hiver avec des amplitudes thermiques faibles en fonction des saisons et en fonction des heures de la journée, tandis que dans le Bocage, les températures sont plus fraîches en hiver et plus douces en été. A l'échelle d'une journée ou d'une année, l'amplitude thermique est donc plus élevée dans le bocage que sur le littoral.

2.4 Les réseaux routiers

En 2019, ce département comptait 13 035 kilomètres de route (autoroutes, nationales, départementales et communales) d'après le Mémento de statistique de transport. C'est le 35^{ème} département français qui a le plus long réseau routier, entre la Loire (13 261 km, 34^{ème}) et l'Oise (12 917 km, 36^{ème}). Le Calvados comptait 132 km de voies autoroutières (37^{ème} rang national), 121 km de routes nationales (34^{ème} rang national), 5 742 km de routes départementales (12^{ème} rang national) et 7 040 km de voies communales (49^{ème} rang national).

Les autoroutes payantes ou gratuites que sont l'A13 (Paris - Caen), l'A29 (Saint-Quentin - Beuzeville), l'A132 (Canapville - Pont-l'Évêque) et l'A813 (Banneville-la-Campagne - Frénoville) sont gérées dans le département du Calvados par la Société des autoroutes Paris-Normandie (SAPN). L'autoroute A88 (Falaise - Sées) est entretenue par la société Alicorne. Enfin, l'autoroute A28 (Abbeville - Tours) est exploitée par ALiS, au moins pour le tronçon qui est situé dans le Calvados.

En ce qui concerne les grands axes du département, tels que la A84 (Caen – Rennes) ou la N158, c'est la Direction Interdépartementale des Routes Nord-Ouest (DIRNO) qui réalise l'entretien.

Les routes départementales sont entretenues par six agences routières départementales localisées à Bayeux, Villers-Bocage, Caen, Falaise, Pont-l'Évêque et Saint-Pierre-sur-Dives.

Enfin, en ce qui concerne les routes communales, les compétences sont réparties entre les communes et les communautés de communes. Les pratiques d'entretien et les compétences varient selon chaque intercommunalité. Tous ces gestionnaires font parfois appel à un prestataire privé pour réaliser certains travaux.

Chapitre 3 : Les bassins versants

Ce mémoire s'intéressera plus particulièrement aux routes goudronnées, donc constituées d'une surface imperméable, et dépendances de six petits bassins versants ruraux avec peu de surfaces urbanisées, à la fois représentatifs des paysages du Calvados, et avec un aspect hydro-sédimentaire intéressant tel que des pentes marquées, des précipitations abondantes, des sols peu perméables et des sols agricoles, et non pas seulement des prairies permanentes. L'avantage d'étudier des petits bassins versants permet de les parcourir assez rapidement. Cela permet aussi d'observer des processus érosifs et des dynamiques hydro-sédimentaires entre des parcelles jusqu'au réseau hydrographique.

Selon le Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Touques, un bassin versant est : « une surface drainée par un cours d'eau et ses affluents, délimitée en amont par les lignes de crête (points de plus hautes altitudes) et en aval par son exutoire (matérialisé généralement par une confluence avec un autre cours d'eau ou par un estuaire) ».

Les bassins versants sont la Martinière, le Bû, le Lingèvres, la Petite Seuline, le Tortillon et la Vire amont. Ces bassins versants sont représentatifs des différents paysages que le département du Calvados possède. Les différences entre ces bassins versants se font à travers des sous-sols plus ou moins imperméables, des sols peu épais et vite saturés, ou non, des pentes plus ou moins marquées qui ont une incidence sur le ruissellement, des variations en termes de précipitations, une densité de haies parfois importante et surtout un mode d'occupation du sol très différencié entre la Plaine de Caen et le Bocage normand. Dans les cartes suivantes, les autres parcelles en herbe correspondent le plus souvent aux prairies non déclarées dans le registre parcellaire graphique de 2021. Quant aux zones urbaines, elles ont été déterminées grâce aux parcelles cadastrales de la BD parcellaire de l'IGN où il y a la présence de constructions, qu'elles soient à usage résidentielles ou agricoles. Le réseau routier est également dans ce type d'occupation des sols.

A ces six bassins versants a été ajoutée la commune de Marolles à l'Est du département, pour localiser une étude de cas où il existe un conflit entre l'agence routière départementale, l'agriculteur et les habitants qui résident en aval de la route et de ces parcelles érodées.

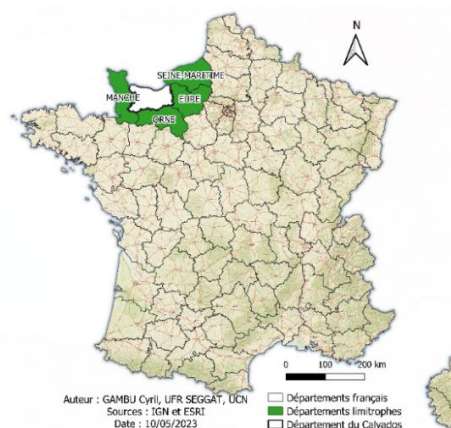


Figure 7 : localisation du Calvados, département du Nord-Ouest de la France

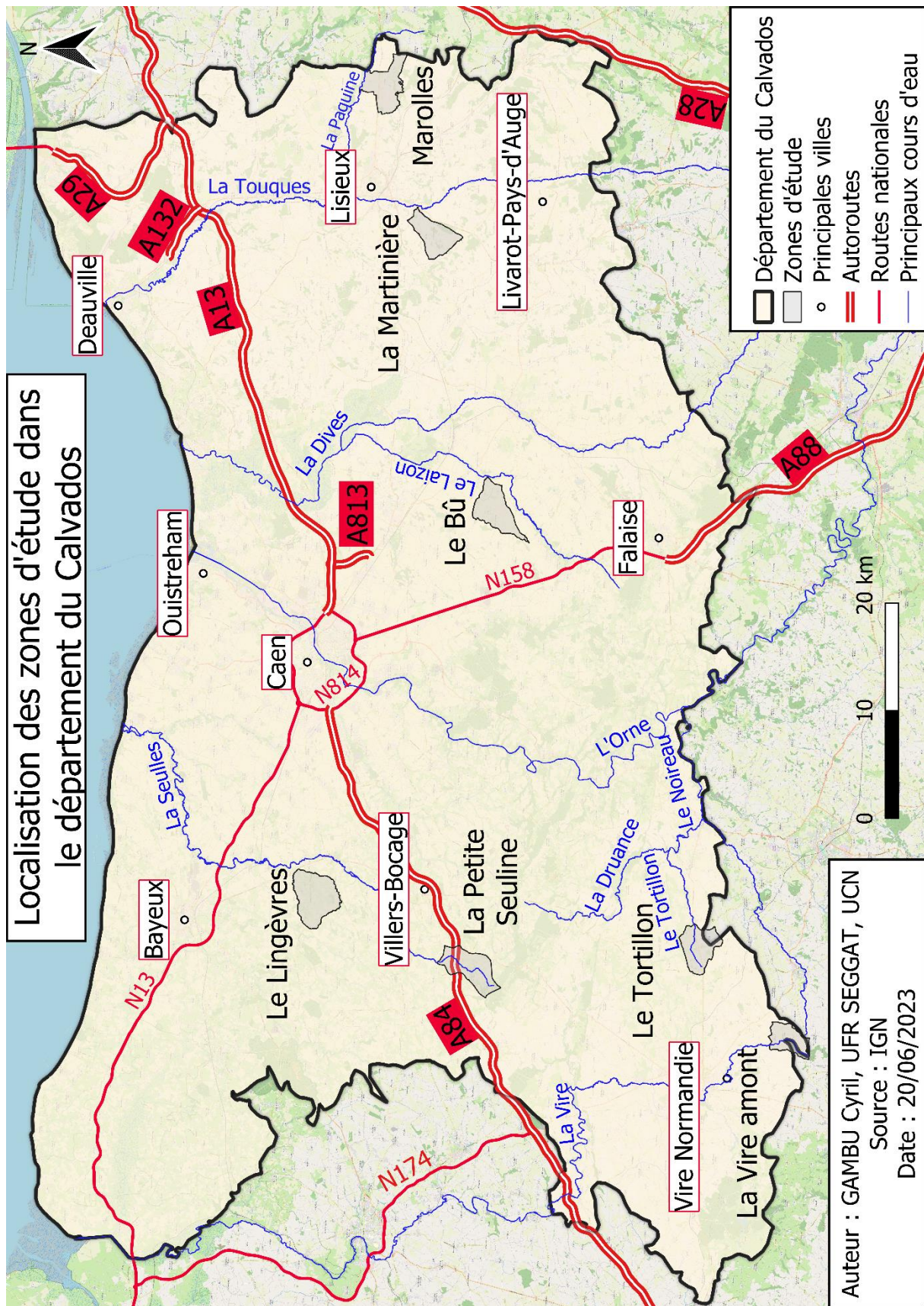


Figure 8 : carte de localisation des bassins versants étudiés

Les bassins versants ont chacun une superficie d'une dizaine de kilomètres carrés environ. La longueur du réseau routier est plus ou moins importante, entre 19 et près de 40 kilomètres. Les valeurs les plus importantes qui caractérisent les bassins versants sont en rouge dans le tableau ci-dessous.

	Surface (en km ²)	Dénivelé (en m)	Longueur du réseau routier (en km)	Densité du réseau routier dans le bassin versant (en km/km ²)
Martinière	10,8	127	19,8	1,8
Bu	12,8	102	21	1,6
Lingèvres	16,5	87	32	1,9
Petite Seuline	13,5	237	36,4	2,7
Tortillon	11,6	110	23,1	2
Vire-amont	8,1	104	19,4	2,4

D'après les données de l'IGN de 2021 (BD topo et RGE alti)

Figure 9 : quelques chiffres concernant les bassins versants

Les routes sont une caractéristique commune de ces bassins versants. Dans les bassins versants bocagers, les routes traversent à de nombreuses reprises le réseau hydrographique. Ainsi, il y a probablement des connexions hydrologiques entre le réseau routier et le cours d'eau. Les seules routes présentes dans ces bassins versants sont les routes départementales et communales, et les autoroutes uniquement pour le bassin versant de la Petite Seuline avec l'A84 sur 2,5 km. Ce mémoire s'intéressera en particulier aux routes départementales et communales, car l'autoroute est aménagée en conséquence pour éviter la modification du parcours des dynamiques hydro-sédimentaires au sein du bassin versant. Les dépendances routières de ces bassins versants sont aussi très variées. Dans le bassin versant qui se situe dans la plaine de Caen, il y a des bermes, des bandes enherbées et ponctuellement des fossés, des talus et des haies de bord de route. A l'inverse, dans les bassins versants qui se situent dans le Pré-bocage, le Bocage virois ou le Pays d'Auge, il y a beaucoup de fossés, de talus, de haies de bord de route, mais aussi de bermes et de bandes enherbées.

Dans ce chapitre, les informations concernant la géologie sont issues du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et les informations concernant la pédologie sont issues de Géoportail. Les distances entre les principales villes et les bassins versants sont exprimées en distance euclidienne.

3.1 La Martinière

La Martinière se situe dans le pays d'Auge, au Sud-Est du Calvados, à 41 km au Sud-Est de Caen et à 7 km au Sud-Ouest de Lisieux.

3.1.1 La localisation

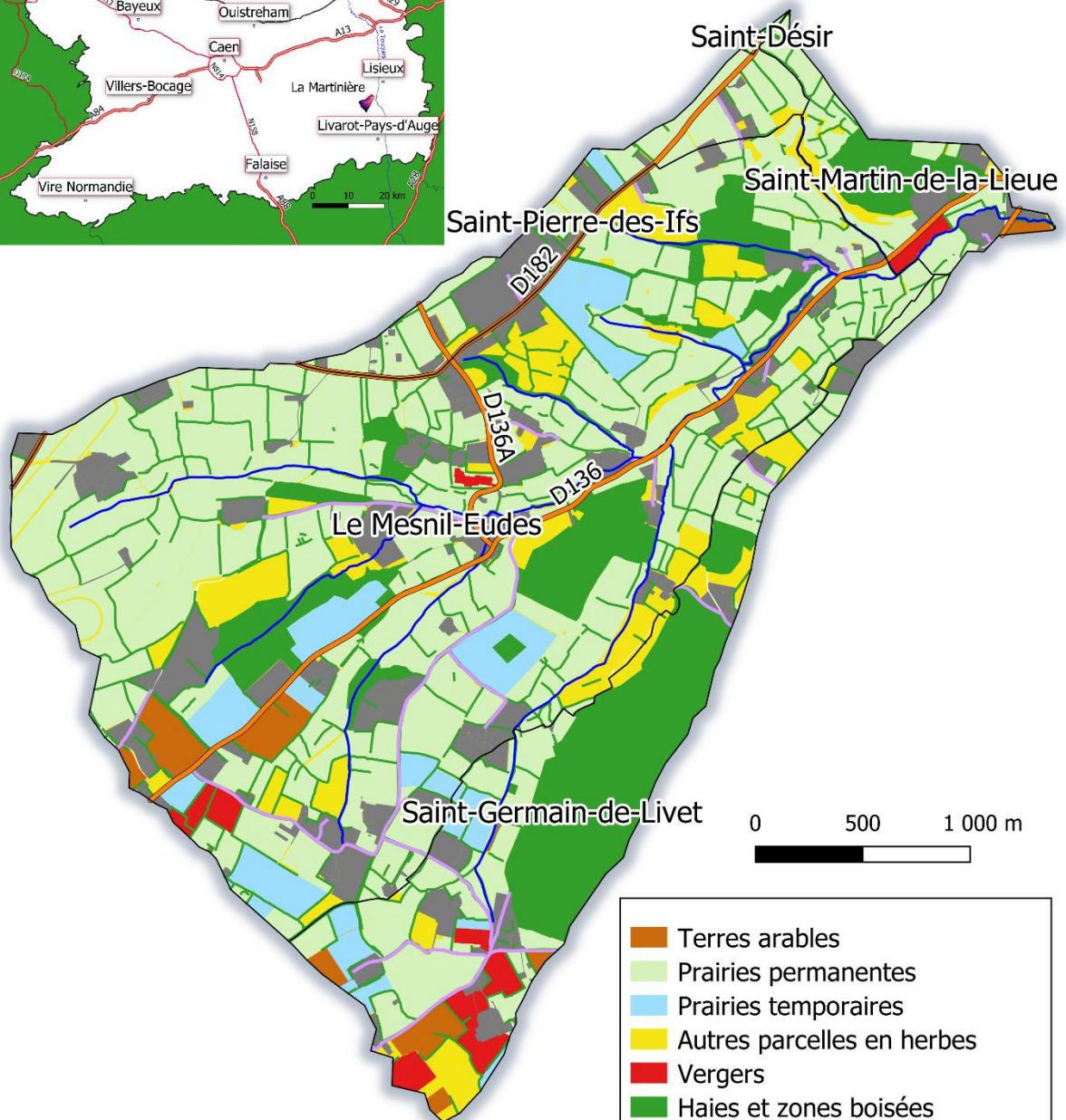
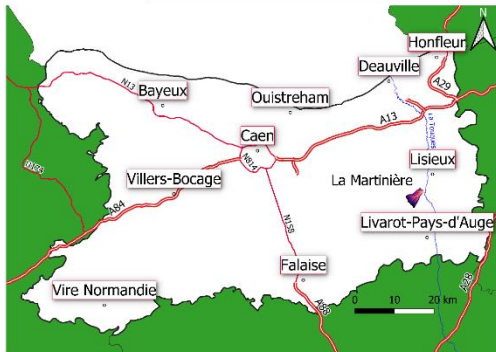
D'une superficie d'environ 11 km², le bassin versant de la Martinière est le plus à l'Est des six bassins versants étudiés. Il se situe sur les communes de Saint-Désir et Saint-Pierre-des-Ifs au Nord, Le Mesnil-Eudes sur la partie centrale, Saint-Germain-de-Livet au Sud et Saint-Martin-de-la-Lieue à l'Est, où se situe l'exutoire. La Martinière est un affluent de la Touques.

3.1.2 Les paysages

Ce bassin versant présente un paysage de prairies bocagères et de bois, avec seulement quelques parcelles cultivées, notamment au Sud. La plupart des grandes parcelles cadastrales urbanisées sont des centres équestres ou des exploitations agricoles.

De nombreuses routes convergent vers l'exutoire qui se situe à Saint-Martin-de-la-Lieue. Ces routes semblent compléter le réseau hydrographique, car sur les plateaux, où il n'y a pas de cours d'eau, il y a une route. Il est probable que dans ce bassin versant, le réseau routier soit une extension au réseau hydrographique. Ainsi, un sédiment mis en suspension par l'impact d'une goutte d'eau dans une parcelle cultivée au Sud semble être facilement transportable par le ruissellement jusqu'au cours d'eau via les routes.

Structure paysagère du bassin versant de la Martinière en 2021

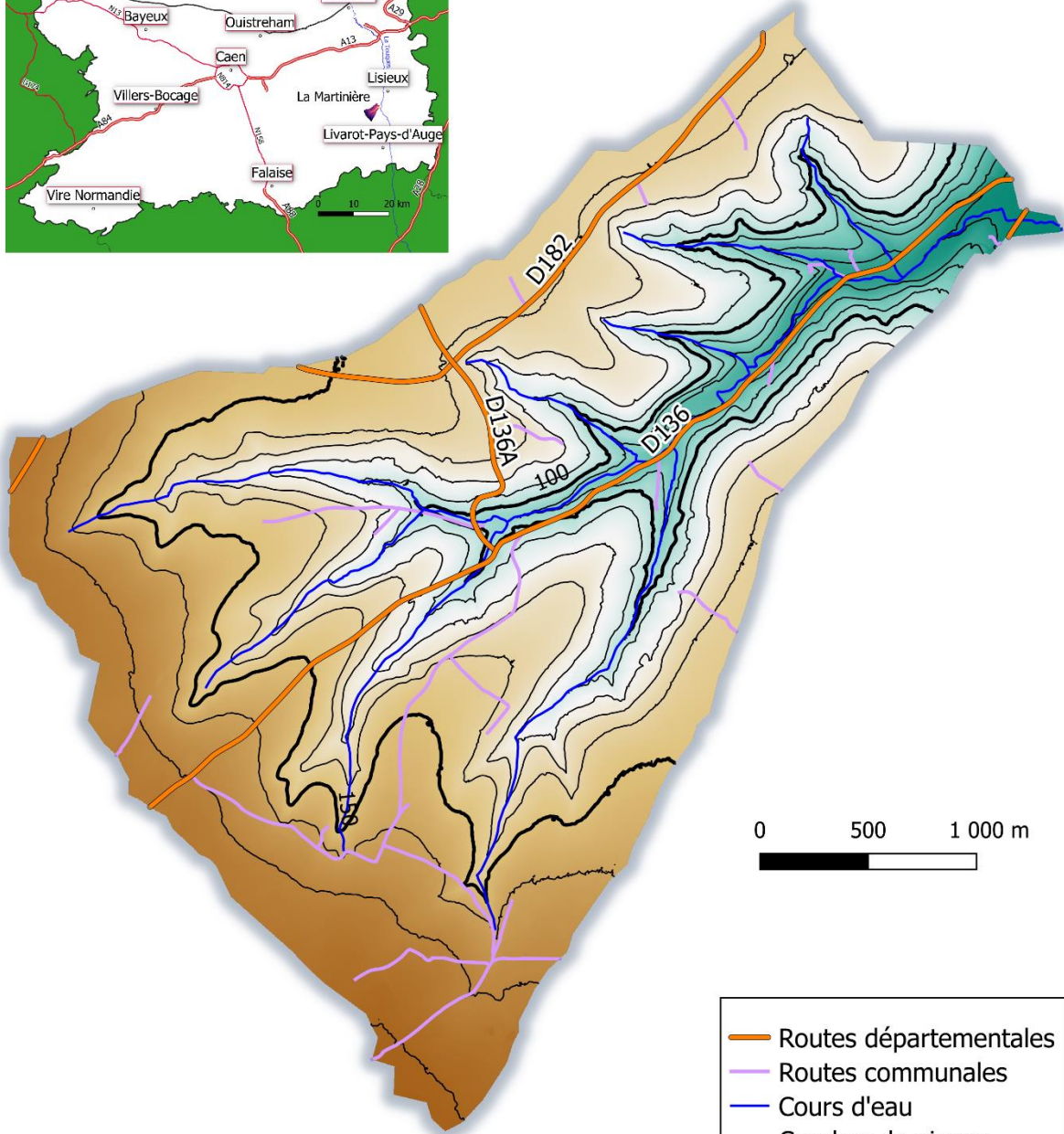
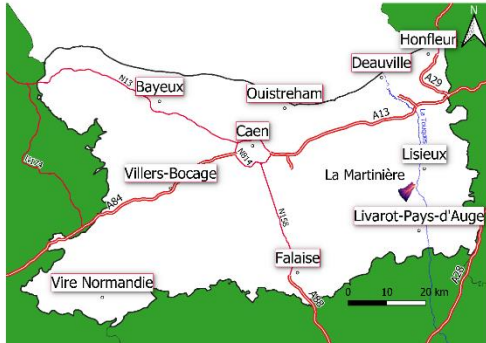


- Terres arables
- Prairies permanentes
- Prairies temporaires
- Autres parcelles en herbes
- Vergers
- Haies et zones boisées
- Parcelles cadastrales urbanisées
- Limites communales
- Routes départementales
- Routes communales
- Cours d'eau

Auteur : GAMBU Cyril, UFR SEGGAT, UCN
 Sources : R. QUIGNEAUX et IGN (RPG 2021, BD TOPO et BD PARCELLAIRE)
 Date : 31/05/2023





Figure 10 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant de la Martinière

Topographie du bassin versant de la Martinière



0 500 1 000 m

Auteur : GAMBU Cyril, UFR SEGGAT, UCN
Source : IGN
Date : 13/04/2023

-  Routes départementales
-  Routes communales
-  Cours d'eau
-  Courbes de niveau

MNT 1 mètre
Altitudes



-  181 mètres
-  55 mètres

Figure 11 : carte de la topographie du bassin versant de la Martinière

L'altitude maximale est de 181 mètres au Sud-Ouest, sur les hauteurs de Saint-Germain-de-Livet et l'altitude minimale est de 55 mètres au Nord-Est, sur la commune de Saint-Martin-de-la-Lieue, au niveau de l'exutoire. Le bassin versant est orienté du Sud-Ouest au Nord-Est.

L'indice de compacité du bassin versant de la Martinière selon l'indice de Gravelius (1914) est de 1,3. Ce bassin versant est donc assez homogène, car plus le bassin versant est compact, plus l'indice de compacité est proche de 1.

Un bassin versant avec un indice de compacité proche de 1 signifie que sa forme ressemble à un cercle et que le temps de réponse va être rapide entre le maximum de l'épisode pluvieux et le moment où le débit est le plus fort. Pour connaître l'indice de compacité d'un bassin versant, il suffit d'appliquer la formule suivante : $0,28x(P/\sqrt{A})$ où **P** est le périmètre du bassin versant (en km) et **A** est l'aire du bassin versant (en km²) (M. HINFRAY, 2008).

La Martinière est un cours d'eau d'ordre 2 selon la classification de Strahler (1957).

Cette classification attribue la valeur « 1 » à tous les chenaux de tête de bassin. La confluence de deux chenaux d'ordre 1 produit un chenal d'ordre « 2 » et la rencontre de deux chenaux d'ordre 2 produit un chenal d'ordre « 3 », et ainsi de suite.

Le bassin versant est drainé par 15 km de cours d'eau permanent. La D136 sépare le bassin versant d'Ouest en Est. Le bassin versant est en forme de peuplier avec une forme assez allongée, de près de 5 km entre la tête du bassin jusqu'à l'exutoire.

3.1.3 Les sols

Concernant la pédologie de ce bassin versant selon Géoportail, les fonds de vallées sont dominés par des sols minéraux, des Rankosols, donc des sols peu épais et développés à partir de roches autre que des roches calcaires. Les agrégats qui constituent le sol sont grossiers, en particulier avec la présence de graviers et de cailloux issus de la roche mère. C'est dans ces fonds de vallée que l'instabilité structurale est forte, certainement lié à l'instabilité des berges. Au Sud-Ouest du bassin versant, où les altitudes sont les plus fortes, il y a la présence de Néoluvisols-Rédoxisols qui sont soumis aux excès d'eau car la topographie varie peu et l'eau ne s'évacue pas. Ce type de sol est faiblement lessivé et moyennement profond.

Enfin, le reste du bassin versant est constitué de Rédoxisols, ce sont des sols soumis aux excès d'eau, et notamment en hiver lorsque les précipitations sont abondantes. Ce sont des sols peu épais qui, selon Patrick Le Gouée et Géoportail : « *reposent sur des argiles à silex méso-cénozoïques de l'entre Plaine de Caen [...] et du Pays d'Auge* ».

3.2 Le Bû

Le Bû se situe dans la plaine de Caen, au Sud-Est du Calvados, à 22 km au Sud de Caen, à 32 km à l'Ouest de Lisieux et à 15 km au Nord de Falaise.

3.2.1 La localisation

D'une superficie d'environ 13 km², le bassin versant du Bû est le troisième plus grand bassin versant derrière le Lingèvres et la Petite Seuline. Il se situe sur les communes de Rouvres, Maizières, Soignolles, Le Bû-sur-Rouvres, Saint-Sylvain et Valambray à l'Ouest et Condé-sur-Ifs à l'Est. Le bassin versant du Bû est un affluent du Laizon.

3.2.2 Les paysages

Ce bassin versant est presque totalement cultivé. Il n'y a que quelques centaines de mètres de haies, parfois plantées sur un talus d'une trentaine de centimètres de haut. Des haies ont récemment été plantées entre certaines parcelles agricoles sur les communes de Rouvres et de Condé-sur-Ifs à l'initiative du Syndicat Mixte du bassin de la Dives. Ce bassin versant est marqué par quelques bosquets çà et là sur la commune de Condé-sur-Ifs. Il est constitué d'un vaste plateau en pente douce et d'une vallée encaissée à l'Est qui s'étend du Sud-Ouest au Nord-Est jusqu'à son exutoire, non loin du bourg de Condé-sur-Ifs.

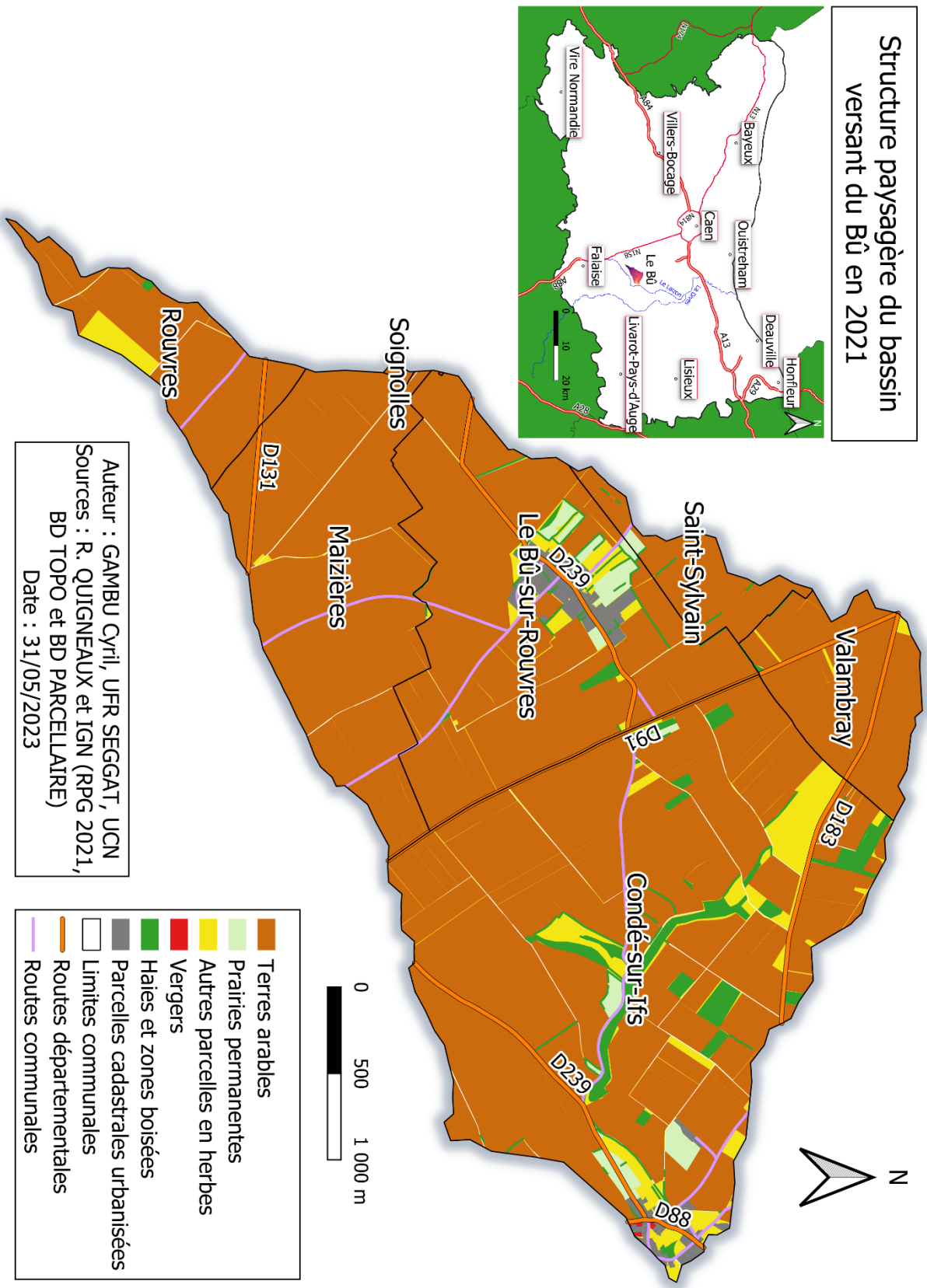


Figure 12 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant du Bû

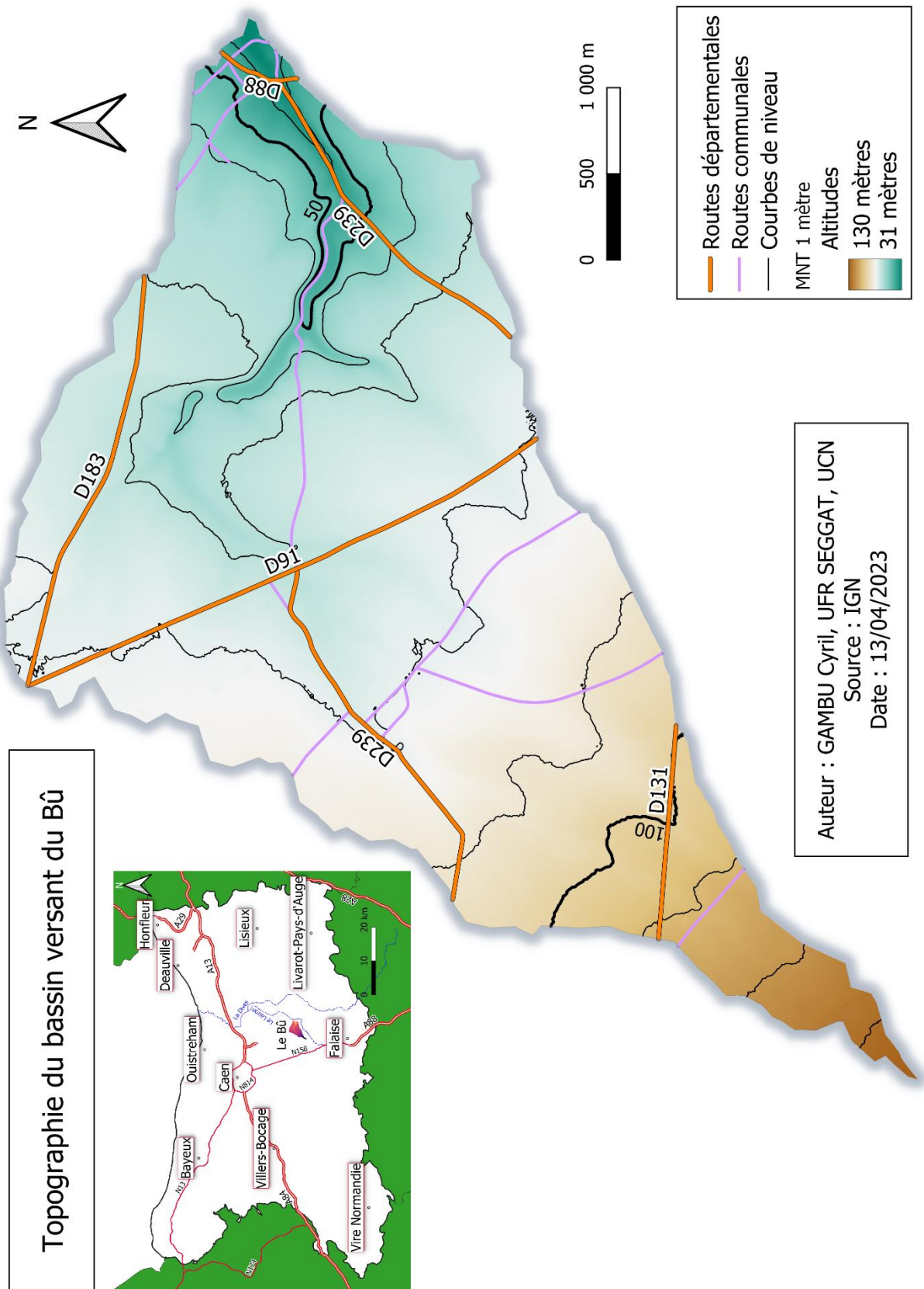


Figure 13 : carte de la topographie du bassin versant du Bû

L'altitude maximale est de 130 mètres au Sud-Ouest, sur les hauteurs de Rouvres et l'altitude minimale est de 31 mètres au Nord-Est, sur la commune de Condé-sur-Ifs, au niveau de l'exutoire. Le bassin versant est orienté du Sud-Ouest au Nord-Est. L'indice de compacité du bassin versant du Bû selon l'indice de Gravelius (1914) est de 1,5. Le bassin versant est en forme d'entonnoir avec une forme assez allongée, de plus de 7 km entre la tête du bassin jusqu'à son exutoire. Le bassin versant n'est pas drainé par un réseau hydrographique permanent, seul un fossé contient de l'eau sur une centaine de mètres avant l'exutoire. Ce fossé est potentiellement prolongé par la D239 qui est une route en creux et dont toutes les pentes du bassin versant sont inclinées vers celle-ci. Cette route semble donc servir de réseau hydrographique en cas de précipitations abondantes. La D91 sépare le bassin versant du Nord au Sud.

3.2.3 Les sols

Concernant la pédologie de ce bassin versant de la plaine de Caen, le Nord est composé de Rendosols, c'est-à-dire de sols issus de matériaux calcaires. Il s'agit plus particulièrement de sols bruns peu épais reposant sur des calcaires et des marnes datant du Jurassique moyen (175 à 154 millions d'années B.P.) d'après le BRGM. Ce sont des sols argileux, caillouteux et très perméables. La partie Sud du bassin versant est constituée de Néoluvisols qui sont des sols évolués. Ce sol repose sur des loess de la Plaine de Caen. Ce sont des sols faiblement lessivés.

L'instabilité structurale est forte, avec des éléments qui constituent le sol assez fins, inférieur à 1 mm (LE GOUEE, DELAHAYE, 2008). Lors de phénomènes pluvieux, ce bassin versant est donc facilement soumis à la formation de croûtes de battance, rendant imperméable le sol et générant des ruissellements, des ravines, donc de l'érosion. De plus, en hiver, de nombreuses parcelles sont occupées par du blé donc la couverture végétale y est faible. Certainement que le réseau routier joue un rôle dans les transferts hydro-sédimentaires.

3.3 Le Lingèvres

Le Lingèvres se situe à la fois dans les formations du Massif armoricain et du Bassin parisien, au Nord-Ouest du Calvados, à 22 km à l'Ouest de Caen et à 12 km au Sud de Bayeux.

3.3.1 La localisation

D'une superficie de 16,5 km², le bassin versant du Lingèvres est le plus au Nord des bassins versants étudiés. Il se situe en majorité sur la commune de Lingèvres mais aussi sur les communes de Bucéels où se situe l'exutoire, Tilly-sur-Seulles, Hottot-les-Bagues, Aurseulles et Juaye-Mondaye. Ce bassin versant est un affluent de la Seulles.

3.3.2 Les paysages

Ce bassin versant est situé à l'interface entre les formations du Bassin parisien au Nord et les formations du Massif armoricain au Sud. Le paysage principal est un paysage de prairies clôturées par des futaies irrégulières sur talus, même si le Nord du bassin versant prend la forme d'openfields où il y a une forte présence de grandes parcelles cultivées où les parcelles se distinguent uniquement par leur culture, à savoir le blé, le maïs, l'orge et le colza.

Les zones urbanisées sont assez dispersées, typiques des paysages de bocage. Le bourg de la commune de Lingèvres se situe au centre du bassin versant. Le bassin versant est quadrillé d'Est en Ouest et du Nord au Sud respectivement par la D13 et la D187. La D13 est une route surélevée avec des fossés de part et d'autre de la chaussée et enjambe les multiples vallées. Parmi les bassins versants étudiés, c'est celui qui a la plus grande superficie (16,5 km²) et qui à l'un des réseaux routiers les plus longs (32 km). Le réseau routier est inégalement réparti avec un linéaire routier plus important à l'Est servant à relier les hameaux à la D13.

A plus de 10 reprises, le réseau routier croise un cours d'eau, ce qui favorise le transfert de sédiments déplacé par le réseau routier directement dans le réseau hydrographique

Structure paysagère du bassin versant du Lingèvres en 2021

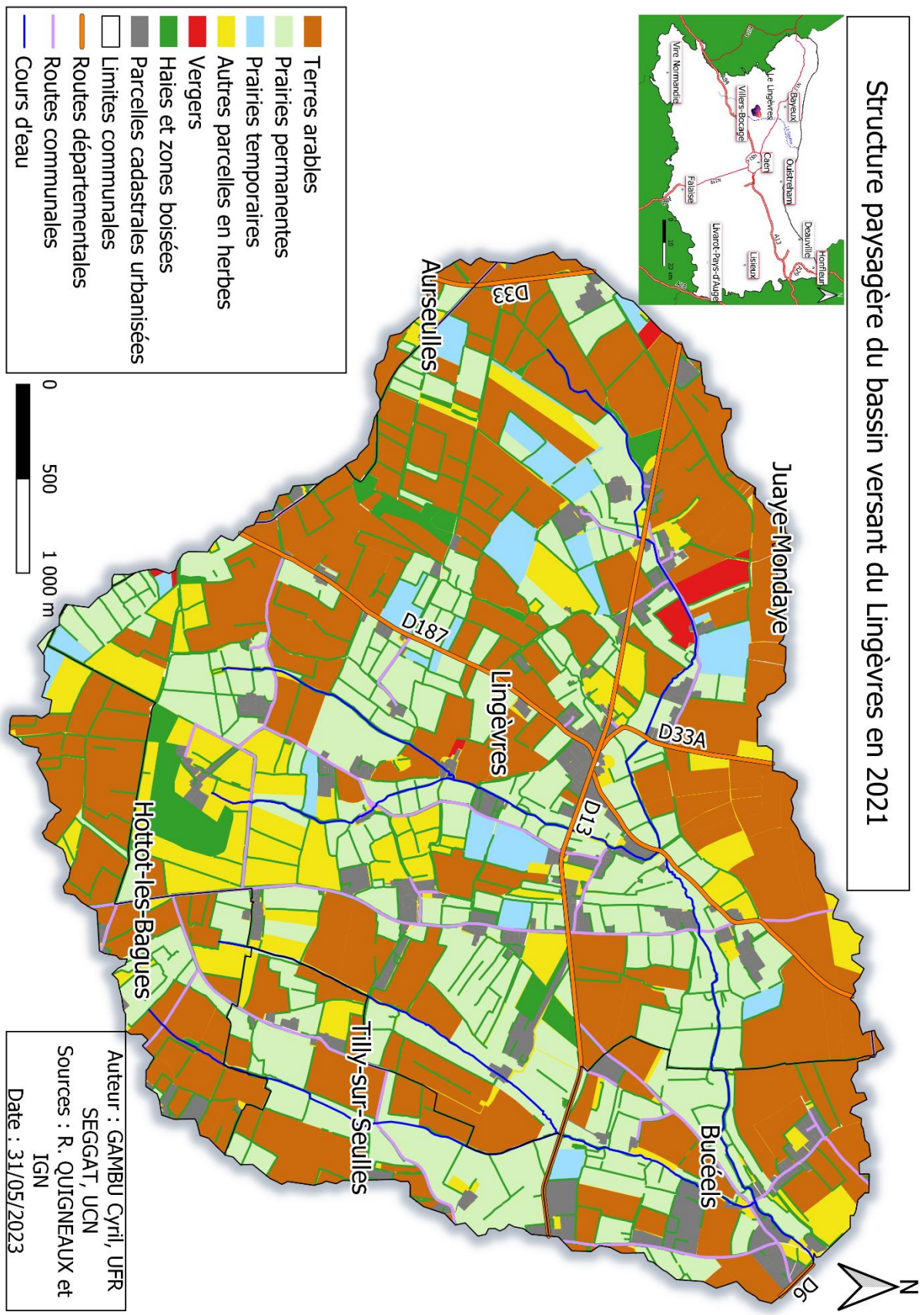


Figure 14 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant du Lingèvres

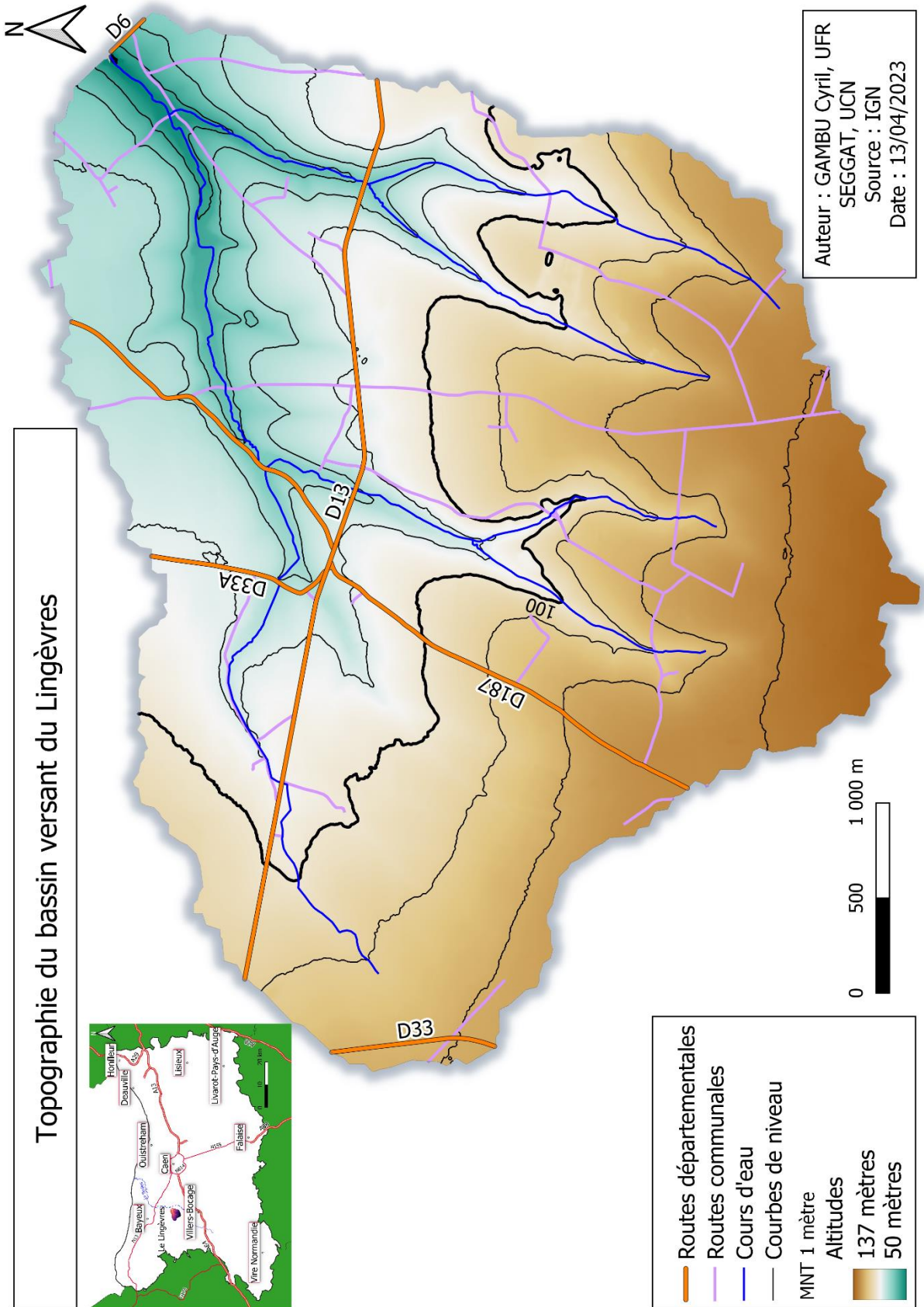


Figure 15 : carte de la topographie du bassin versant du Lingèvres

Ce territoire est constitué d'un plateau au Sud du bassin versant qui donne naissance à plusieurs petites vallées drainées qui convergent vers l'exutoire au Nord.

L'altitude maximale est de 137 mètres au Sud, sur les hauteurs d'Hottot-les-Bagues et l'altitude minimale est de 50 mètres au Nord-Est, sur la commune de Bucéels, au niveau de l'exutoire. Le bassin versant est orienté du Sud-Ouest au Nord-Est. L'indice de compacité du bassin versant du Lingèvres selon l'indice de Gravelius (1914) est de 1,3. Le ruisseau du Pont Saint-Esprit est un cours d'eau d'ordre 3 selon la classification de Strahler (1957). Le bassin versant est en forme d'éventail avec une forme assez circulaire.

Le bassin versant est drainé par plus de 15 km de cours d'eau permanent. « *Le bassin de Lingèvres est drainé d'ouest en est par le ruisseau du Pont Saint Esprit (6,6 km de longueur) alimenté par le Douet du Cordillon (2,6 km) et le ruisseau du Pont Tueloup (3,3 km) qui drainent le sud du bassin. Le débit moyen annuel [enregistré à l'exutoire du bassin entre 2009 et 2013] est de 74 L.s-1* » (R. REULIER, 2015 (page 93)).

3.3.3 Les sols

La pédologie de ce bassin versant est variée. Tout d'abord, sur les plateaux de l'Ouest, il y a la présence de Néoluvisols-Rédoxisols. Ces sols sont donc lessivés et temporairement gorgés d'eau. Ils reposent sur des loess et des colluvions du Pré-bocage datant du Quaternaire (2,58 millions d'années B.P.). Ensuite, à l'Est de ce bassin versant, le sol est constitué de Rendosols qui sont des sols bruns peu épais issus de matériaux calcaires reposant sur des calcaires marneux. Ces sols sont très perméables. Enfin, la majorité de la surface de ce bassin versant est constituée de Rédoxisols qui sont des sols soumis aux excès d'eau en période hivernale. Ce sont des sols peu perméables qui reposent sur des calcaires et des marnes du Jurassique moyen (175-154 millions d'années B.P.). L'instabilité structurale est faible, avec des agrégats qui constituent le sol d'une taille de 2 mm environ (Le Gouée, Delahaye, 2008).

Au nord du bassin versant, les sols sont plus épais mais aussi plus sensibles à la formation de croûte de battance qu'ailleurs, car le diamètre moyen des agrégats est plus fin, de l'ordre de moins d'un millimètre.

3.4 La Petite Seuline

La Petite Seuline se situe dans le Pré-bocage normand, au Sud-Ouest du Calvados, à 32 km à l'Ouest de Caen et à 24 km au Nord de Vire.

3.4.1 La localisation

La Petite Seuline s'étend sur les communes de Cahagnes où se situe l'exutoire du bassin versant, Coulvain (communes déléguées de la commune nouvelle Seulline), Jurques (commune déléguée de la commune nouvelle de Dialan sur Chaîne), Saint-Pierre-du-Fresne, Souleuvre en Bocage et Brémoy.

3.4.2 Les paysages

Le bassin versant de la Petite Seuline se situe dans les formations du Massif armoricain. Le paysage principal est un paysage alterné entre bocage et openfield, héritage des arrachages de haies pour obtenir des parcelles plus grandes. Plusieurs petites vallées drainent le bassin versant vers une vallée centrale dont l'exutoire est au Nord. Au Sud, où les altitudes sont les plus importantes, il y a la présence de nombreuses parcelles boisées servant à la sylviculture avec des zones déboisées qui sont ensuite replantées. Ces zones boisées s'atténuent peu à peu en allant vers le Nord au profit des parcelles agricoles. Néanmoins, le long des cours d'eau, il y a des ripisylves et des prairies permanentes. Sur les versants, il y a exclusivement des parcelles cultivées destinées aux productions de blé et de maïs à ensilage. Ce bassin versant est traversé dans sa partie Nord par l'autoroute A84 reliant Rennes à Caen. Dans ce bassin versant, les routes coupent perpendiculairement les cours d'eau, ce qui laisse à penser que le réseau routier est une extension au réseau hydrographique, reliant les parcelles cultivées sensibles à l'érosion sur les hauteurs avec le cours d'eau le plus proche.

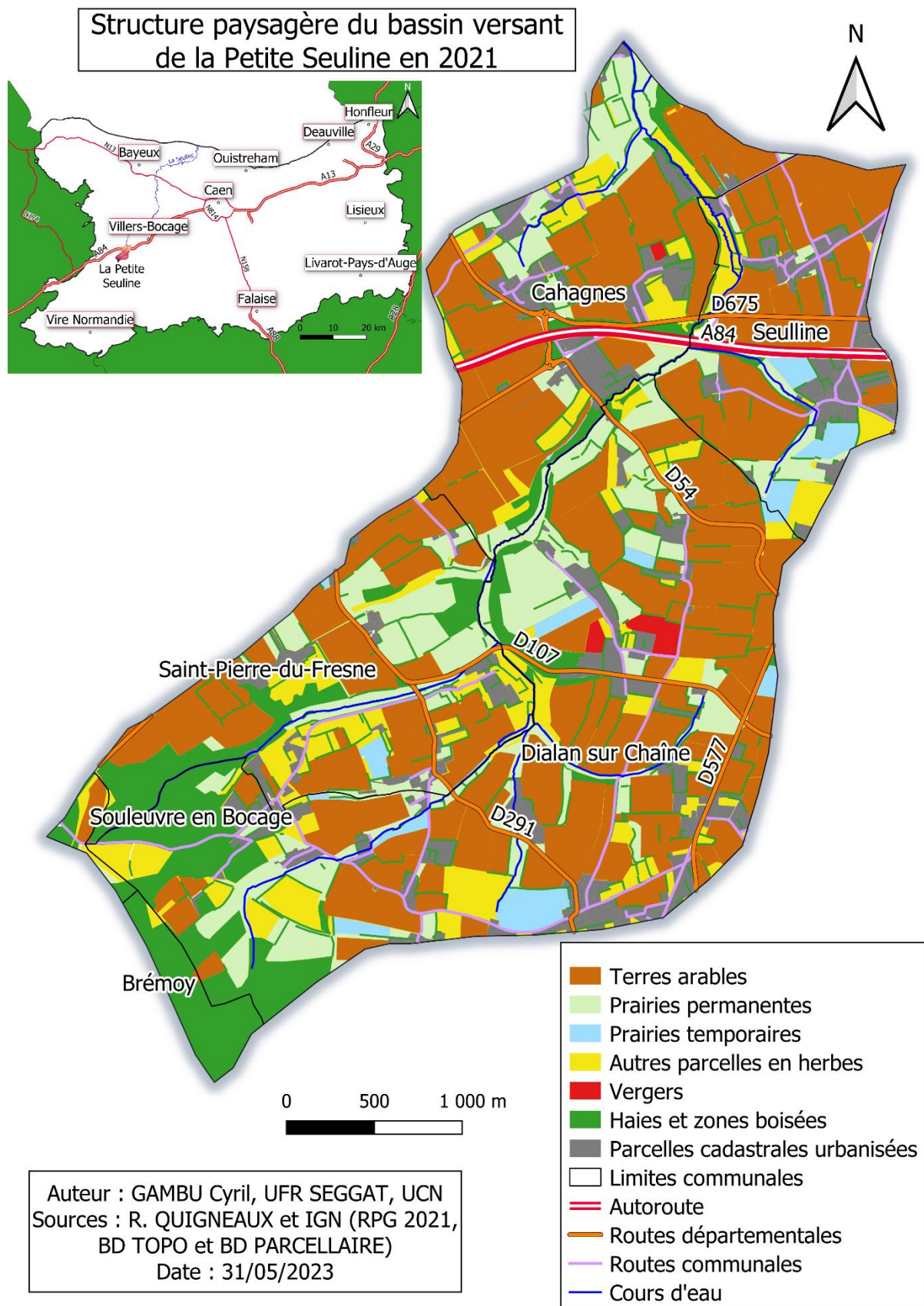
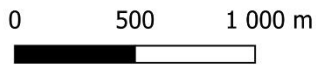
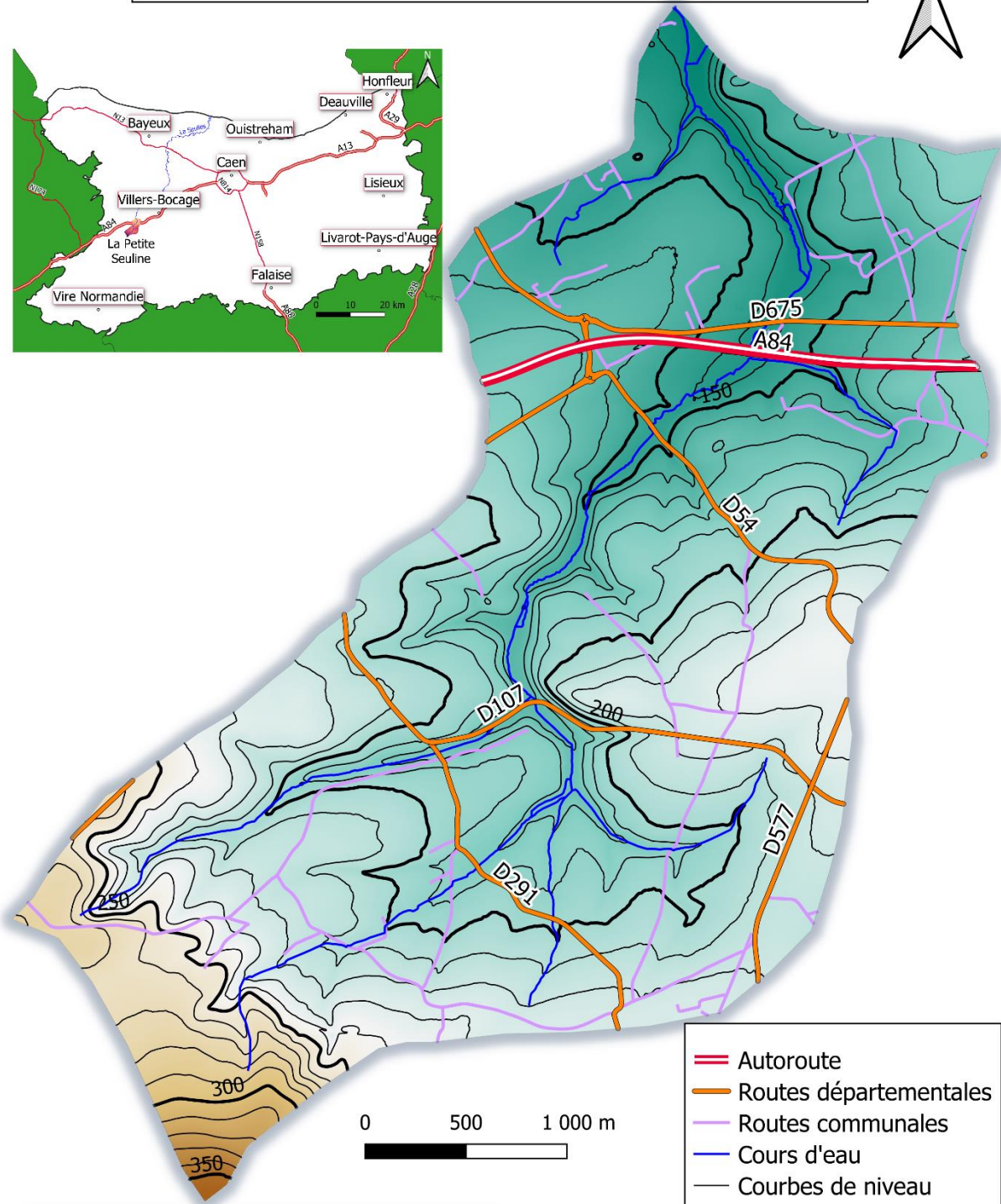
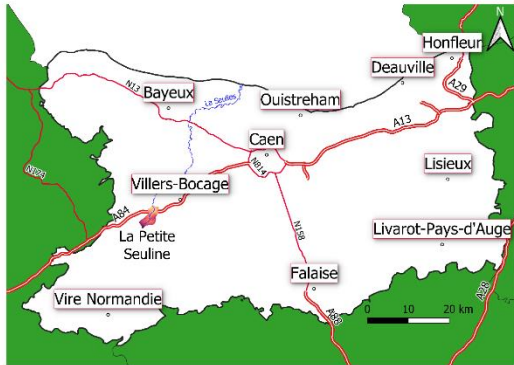


Figure 16 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant de la Petite Seuline

Topographie du bassin versant de la Petite Seuline



- Autoroute
- Routes départementales
- Routes communales
- Cours d'eau
- Courbes de niveau
- MNT 1 mètre
- Altitudes
- 358 mètres
- 121 mètres

Auteur : GAMBU Cyril, UFR SEGGAT, UCN
 Source : IGN
 Date : 13/04/2023

Figure 17 : carte de la topographie du bassin versant de la Petite Seuline

D'une superficie de 13,5 km², le bassin versant de la Petite Seuline est le bassin versant qui a le plus fort dénivelé. L'altitude maximale est de 358 mètres d'altitude, sur les hauteurs de Jurques, où la Seulles prend sa source, au Sud du bassin versant. L'altitude minimale est de 121 mètres au Nord, sur la commune de Cahagnes, au niveau de l'exutoire. Le bassin versant est orienté du Sud vers le Nord.

L'indice de compacité du bassin versant de la Petite Seuline selon l'indice de Gravelius (1914) est de 1,3. La Seulles est un cours d'eau d'ordre 2 selon la classification de Strahler (1957). Le bassin versant est en forme de peuplier avec une forme assez allongée, de plus de 6 km entre la tête du bassin jusqu'à son exutoire. Le bassin versant est drainé par 16,4 km de cours d'eau permanent.

Ce bassin versant se situe également dans le Pré-bocage, les précipitations sont à peu près similaires aux précipitations du bassin versant du Lingèvres avec 992 mm en moyenne par an.

3.4.3 Les sols

La pédologie dans ce bassin versant est peu variée. En effet, le sol est composé de sols minéraux de type Rankosols sur toute la surface du bassin versant. Ce sont des sols acides, peu épais (< 40 cm) et peu différenciés qui reposent sur des schistes et des grès datant du Briovérien supérieur (550-540 millions d'années B.P.). A l'extrême Sud du bassin versant, il y a la présence de grès quartzitiques de l'Ordovicien et des grès rouges du Cambro-Ordovicien. Le sol contient des éléments grossiers tels que des graviers (de 2 mm à 2 cm) ou des cailloux (de 2 cm à 20 cm) voire même des blocs pour les matériaux les plus grossiers provenant de la roche mère. L'instabilité structurale est donc faible, avec des agrégats qui constituent le sol assez grossier. En revanche, l'absence d'aquifère rend ce bassin versant sensible aux surplus hydrologiques en hiver et « *présente une forte réactivité aux épisodes hydrologiques* » d'après V. VIEL (2012 (page 76)).

3.5 Le Tortillon

Ensuite, le Tortillon se situe dans les formations du Massif armoricain, dans le bocage virois, au Sud-Ouest du Calvados, à 45 km au Sud-Ouest de Caen et à 13 km à l'Est de Vire.

3.5.1 La localisation

D'une superficie d'environ 12 km², le bassin versant du Tortillon se situe à la fois sur les communes de Vassy, de Pierres et de Rully (communes déléguées de la commune nouvelle de Valdallière) dans le département du Calvados, au Nord, et de Moncy dans le département de l'Orne, au Sud-Est. Le Tortillon est un affluent de la Druance, du Noireau puis de l'Orne.

3.5.2 Les paysages

D'après V. VIEL, page 172 du rapport d'étude de P. LE GOUEE et D. DELAHAYE (2008), dans ce bassin versant : « *la formation du ruissellement est principalement provoquée par la saturation des bas de versants, au contact d'une couche géologique imperméable* ». Ce bassin versant laisse donc penser que le réseau routier joue un rôle dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires, à la fois par les pentes, par le nombre important de parcelles cultivées, auquel s'ajoute une faible porosité et des précipitations parmi les plus abondantes du département. De nombreuses parcelles sont cultivées et sont pour la plupart d'une superficie importante. Les prairies permanentes semblent grignotées par ces terres arables, surtout au Nord du bassin versant où les prairies permanentes se situent en grande partie le long du cours d'eau. En effet, dans ce bassin versant, en 1955, les prairies couvraient 64 % du bassin versant alors qu'en 2009, les prairies couvraient seulement 30 % du bassin versant. Il en est de même pour le réseau de haie. En 1955, le linéaire de haie était de 120 km alors qu'il n'est plus que de 62 km en 2020 (R. QUIGNEAUX, 2020).

Structure paysagère du bassin versant du Tortillon en 2021

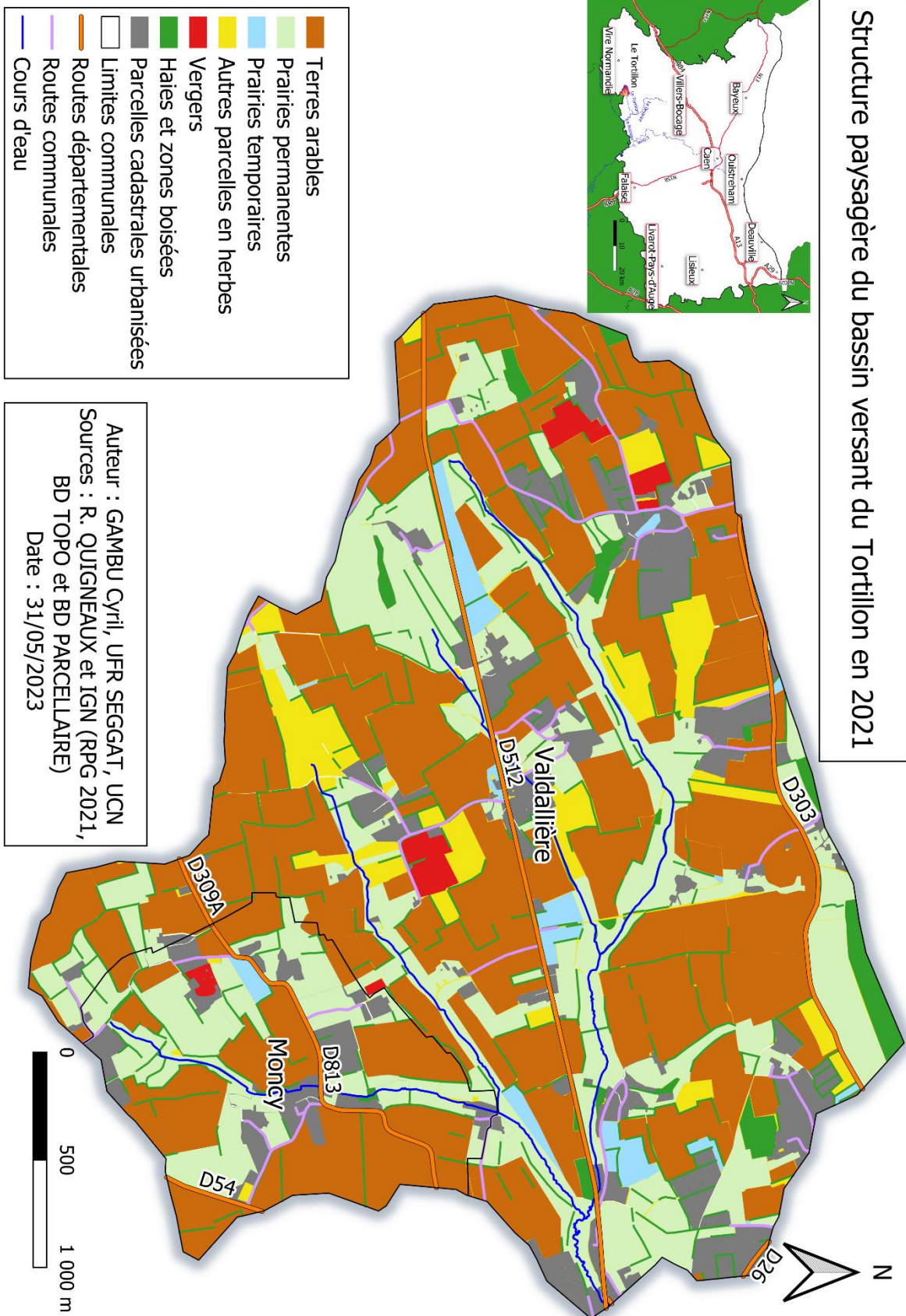


Figure 18 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant du Tortillon

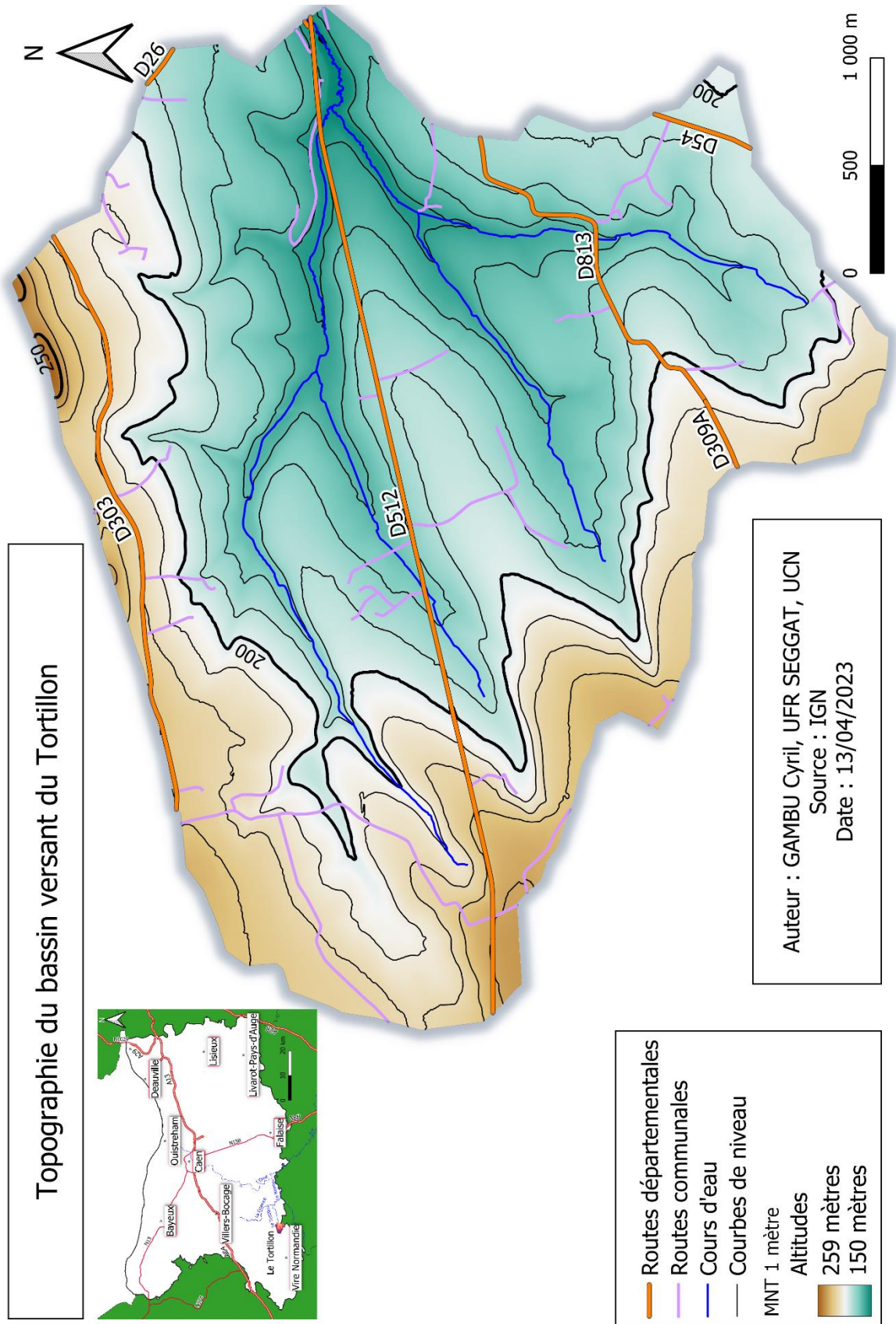


Figure 19 : carte de la topographie du bassin versant du Tortillon

L'altitude maximale est de 259 mètres au Nord-Est et l'altitude minimale est de 150 mètres à l'Est sur la commune de Vassy, au niveau de l'exutoire. Le bassin versant est orienté de l'Ouest vers l'Est. Dans ce bassin versant, les pentes sont en moyenne de 2 % avec des versants pouvant atteindre 20 % de pente (J. PAITEL, 2007).

L'indice de compacité du bassin versant du Tortillon selon l'indice de Gravelius (1914) est de 1,2. Le Tortillon est un cours d'eau d'ordre 3 selon la classification de Strahler (1957). Le bassin versant est en forme d'éventail avec une forme circulaire et il est drainé par 11,2 km de cours d'eau permanent. La D512 sépare ce bassin versant d'Ouest en Est.

3.5.3 Les sols

La pédologie de ce bassin versant du bocage virois est variée, malgré une dominance de sols minéraux de type Rankosols. Les Rankosols sont des sols peu épais (environ 40 cm), peu différenciés, typique des formations du Massif armoricain. Ils reposent sur des schistes et des grès datant Briovérien supérieur (550-540 millions d'années B.P.). Le sol contient des éléments grossiers tels que des graviers ou des cailloux provenant de la roche mère. En fond de vallée, il y a des sols soumis aux excès d'eau de type Rédoxisols, liés à la présence des cours d'eau. Le Nord-Est du bassin versant est constitué de sols évolués tels que des Néoluvisols. Ce sont des sols lessivés reposant sur des loess du Bocage. Néanmoins, l'instabilité structurale est faible, avec des éléments qui constituent le sol assez grossier (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008).

3.6 La Vire amont

Enfin, le dernier bassin versant est celui de la Vire amont qui se situe dans les formations du Massif armoricain, au Sud-Ouest du Calvados, à 57 km au Sud-Ouest de Caen et à 9 km au Sud de Vire.

3.6.1 La localisation

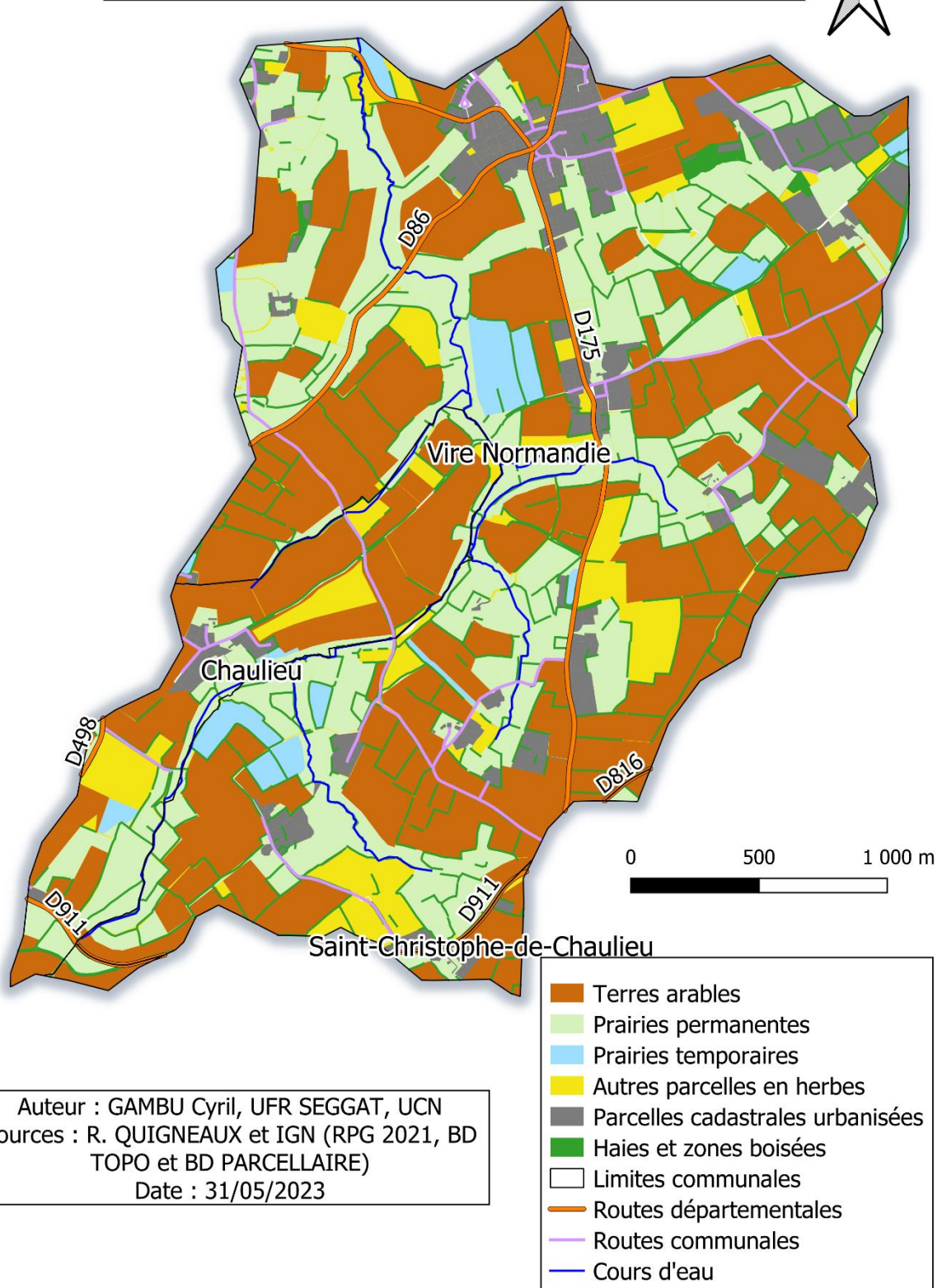
D'une superficie de 8,1 km², le bassin versant de la Vire amont est le plus petit des six, mais aussi celui qui se situe le plus au Sud-Ouest du Calvados. Il se situe à la fois pour la partie Nord sur les communes de Maisoncelles-la-Jourdan, de Truttemer-le-Grand et de Truttemer-le-Petit (communes déléguées de la commune nouvelle de Vire Normandie) dans le département du Calvados. Ce bassin versant est aussi en partie sur les communes de Chaulieu dans le département de la Manche, au Sud-Ouest, et de Saint-Christophe-de-Chaulieu dans le département de l'Orne, au Sud-Est. La Vire prend sa source dans la Manche, sur les hauteurs de Chaulieu, à la frontière avec le département de l'Orne.

3.6.2 Les paysages

Tout comme le bassin versant du Tortillon, le bassin versant de la Vire amont se situe dans les formations du Massif armoricain. Le paysage principal est un paysage de bocage et de prairies permanentes, même s'il y a des parcelles cultivées, notamment sur les parties les plus plates du bassin versant. Plusieurs petites vallées drainent le bassin versant vers une vallée centrale dont l'exutoire est au Nord-Ouest.

L'altitude maximale est de 348 mètres au Sud-Ouest et l'altitude minimale est de 244 mètres au Nord-Ouest, sur la commune de Truttemer-le-Grand, au niveau de l'exutoire. Le bassin versant est orienté du Sud vers le Nord. L'indice de compacité du bassin versant de la Vire amont selon l'indice de Gravelius (1914) est de 1,4. La Vire est un cours d'eau d'ordre 2 selon la classification de Strahler (1957). Le bassin versant est en forme de rectangle avec une forme assez allongée, de près de 4 km entre la tête du bassin jusqu'à l'exutoire. Le bassin versant est drainé par 9,8 km de cours d'eau permanent. La D175 sépare le bassin versant du Nord au Sud.

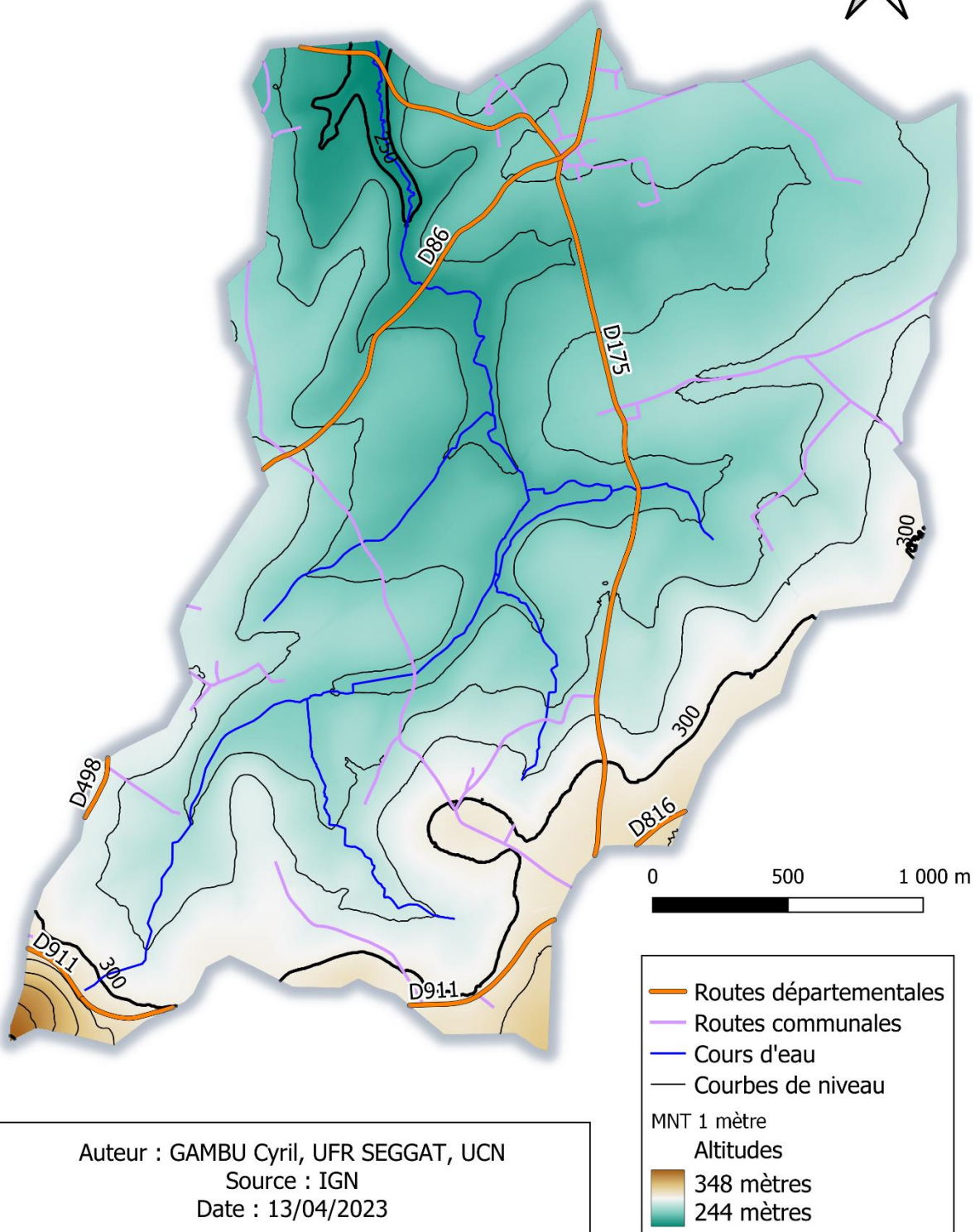
Structure paysagère du bassin versant de la Vire
amont en 2021, au Sud de Vire Normandie



Auteur : GAMBU Cyril, UFR SEGGAT, UCN
Sources : R. QUIGNEAUX et IGN (RPG 2021, BD
TOPO et BD PARCELLAIRE)
Date : 31/05/2023

Figure 20 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant de la Vire amont

Topographie du bassin versant de la Vire amont,
au Sud de Vire Normandie



Auteur : GAMBU Cyril, UFR SEGGAT, UCN
Source : IGN
Date : 13/04/2023

Figure 21 : carte de la topographie du bassin versant de la Vire amont

3.6.3 Les sols

Ce bassin versant du bocage virois est constitué en grande partie de Brunisols qui sont des sols bruns peu évolués, moyennement épais et poreux qui reposent sur des schistes et des grès, datant du Briovérien supérieur (580 à 540 millions d'années B.P.) d'après le BRGM. Au Nord-Ouest, la vallée de la Vire est formée de Rédoxisols qui sont des sols soumis aux excès d'eau qui reposent en partie sur des alluvions datant du quaternaire. Dans ce bassin versant, aux extrêmes Nord-Est et Sud-Ouest, il y a aussi la présence de sols peu épais de type Rankosols. L'instabilité structurale est faible (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008).

3.7 Etude comparatives des différents bassins versants

D'après les cartes des structures paysagères présentées pour chacun des bassins versants, les paysages semblent diversifiés. Le bassin versant du Bû est composé à près de 90 % de parcelles cultivées à l'inverse du bassin versant de la Martinière dans le Pays d'Auge qui ne comporte que 2 % de parcelles cultivées selon le RPG 2021. Le bassin versant de la Martinière compte 161 hectares de forêts et un linéaire de haie assez conséquent contre seulement 33 hectares de bosquets et quelques kilomètres de haies dans le bassin versant du Bû.

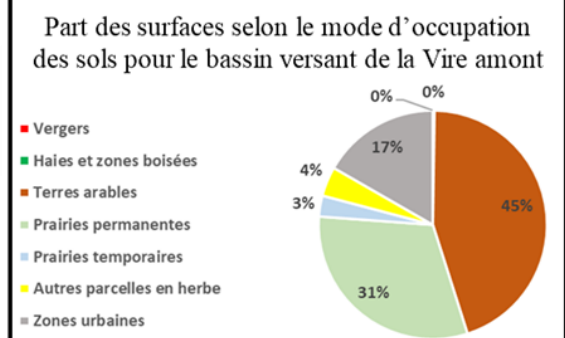
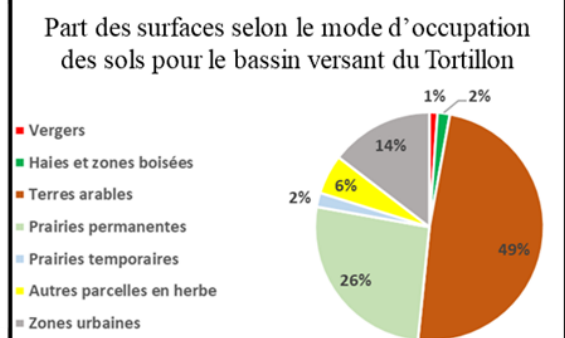
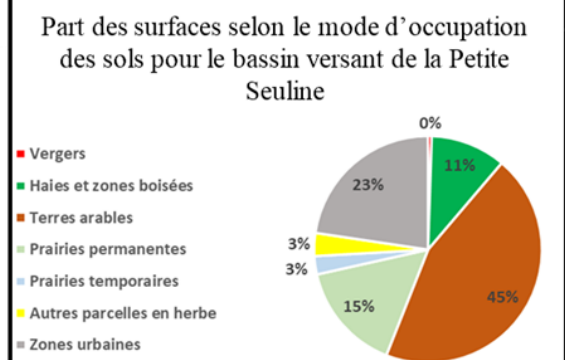
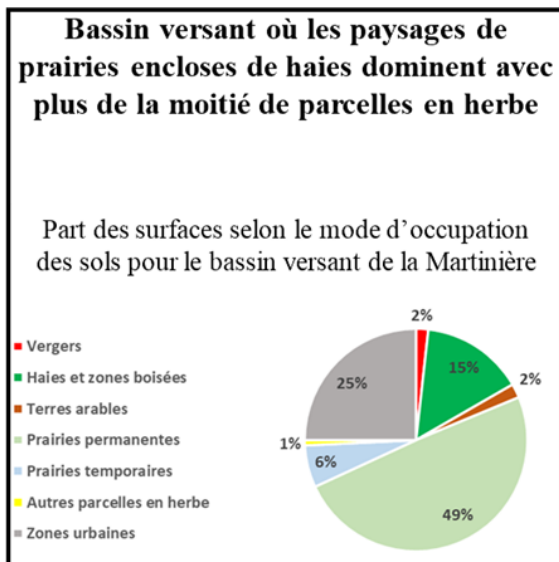
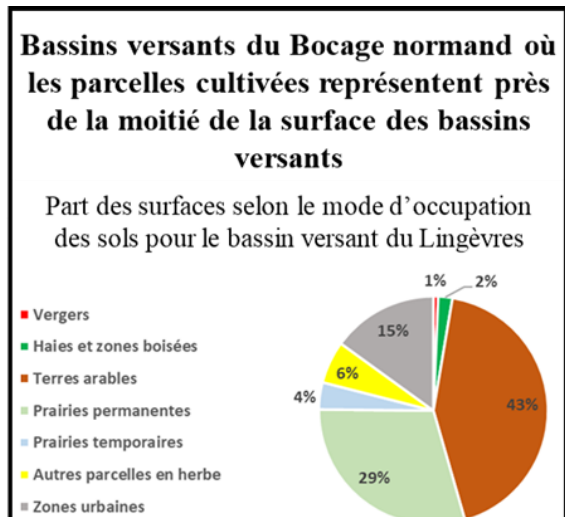
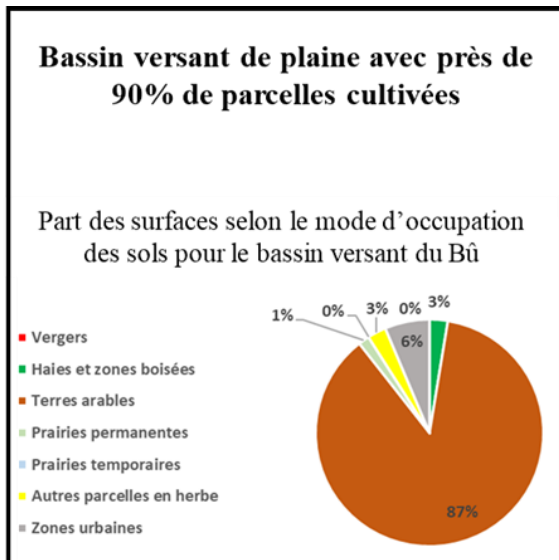
Entre ces deux hydrosystèmes contrastés, il y a les bassins versants du Lingèvres, de la Petite Seuline, du Tortillon et de la Vire amont. Bien qu'ils se situent tous dans le Bocage normand, à l'Ouest du Calvados, les prairies permanentes représentent moins d'un tiers de la surface totale et les terres arables, c'est-à-dire les parcelles cultivées, couvrent dans chaque cas près de la moitié des bassins versants. Les terres arables se situent sur les versants et les prairies permanentes se situent çà et là, mais sont surtout présentes le long du réseau hydrographique. Les zones urbaines semblent occuper de vastes espaces mais dans le cas des exploitations agricoles ou de certaines propriétés, il y a une seule bâtisse pour une parcelle de plus d'un hectare, mais dont la majorité de la surface est enherbée. Les zones urbaines correspondent aux parcelles cadastrales urbanisées.

	Martinière	Bû	Lingèvres	Petite Seuline	Tortillon	Vire amont	Surfaces totales
Vergers (en ha)	19	0	11	7	13	0	50
Forêts (en ha)	161	33	33	144	20	2	393
Terres arables (en ha)	22	1109	706	603	558	365	3365
Prairies permanentes (en ha)	533	20	488	209	300	253	1803
Prairies temporaires (en ha)	66	0	63	35	23	24	211
Autres parcelles en herbe (en ha)	8	34	99	44	64	34	284
Zones urbaines (en ha)	270	81	247	305	167	136	1203
Surfaces totales (en ha)	1079	1277	1647	1347	1145	814	7309

Figure 22 : surface de chaque type d'occupation des sols dans les bassins versants

	Martinière	Bû	Lingèvres	Petite Seuline	Tortillon	Vire amont
Vergers (en %)	2	0	1	1	1	0
Forêts (en %)	15	3	2	11	2	0
Terres arables (en %)	2	87	43	45	49	45
Prairies permanentes (en %)	49	2	30	16	26	31
Prairies temporaires (en %)	6	0	4	3	2	3
Autres parcelles en herbe (en %)	1	3	6	3	6	4
Zones urbaines (en %)	25	6	15	23	15	17

Figure 23 : part de chaque type d'occupation des sols dans les bassins versants



Auteur : GAMBU Cyril, UFR SEGGAT, UCN
 Sources : données SIG IGN
 Date : 21/06/2023

Figure 24 : les types d'occupation des sols dans les différents bassins versants

En ce qui concerne les indices de drainage dans les différents bassins versants, c'est le bassin versant de la Petite Seuline qui a le plus long réseau hydrographique référencé par l'IGN, avec 16,4 km de cours d'eau.

Le temps de réponse le plus rapide, c'est-à-dire qu'entre le maximum de l'épisode pluvieux jusqu'au moment où le débit est le plus fort, semble avoir lieu dans le bassin versant du Tortillon car sa forme ressemble le plus à un cercle contrairement au bassin versant du Bû.

	Martinière	Bû	Lingèvres	Petite Seuline	Tortillon	Vire amont
Longueur du réseau hydrographique	15 km	0 km	15,6 km	16,4 km	11,2 km	9,8 km
Distance entre le point plus éloigné de l'exutoire et l'exutoire	5 km	7,2 km	5,1 km	6,3 km	2 km	3,9 km
Distance entre l'altitude la plus élevée et l'exutoire	5 km	7,2 km	5,6 km	6,3 km	4,7 km	3,9 km
Indices de compacité (Gravelius 1914)	1,3	1,5	1,3	1,3	1,2	1,4
Densité de drainage	1,4	0	0,9	1,2	1	1,2

Figure 25 : tableau comparatif sur les bassins versants

Résumé

Parmi ces six bassins versants du département du Calvados, il y a diverses formations géologiques, différents climats, diverses couvertures pédologiques, plusieurs structures paysagères entre les grandes parcelles agricoles de la Plaine de Caen et les petites prairies encloses de haies dans le bocage virois. Parmi ces bassins versant, la topographie est variée, avec une ou plusieurs vallées. De plus, ces bassins versants sont répartis dans le département afin de représenter la Plaine de Caen, le Pays d'Auge, le Pré-Bocage et le Bocage virois. Seul le Bessin n'est pas représenté.

Dans ces bassins versants, les types de routes et les types de bords de route sont de diverses formes. Ces routes semblent jouer un rôle dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires d'après les quelques études déjà réalisées aux Etats-Unis et au Royaume-Uni. De plus, les bassins versants du Tortillon, de la Petite Seuline et du Lingèvres ont été étudiés depuis une dizaine d'années en ce qui concerne les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires depuis les parcelles agricoles jusqu'aux rivières. Il semblerait que certaines routes forment une extension au réseau hydrographique en connectant directement des parcelles au cours d'eau. Il est vrai que le réseau routier croise à de nombreuses reprises des fossés et des rivières.

La description des zones d'étude étant faite, la suite de ce mémoire va tenter de répondre à ce manque de connaissances sur le rôle du réseau routier dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires. Il s'agit d'abord de cartographier l'aléa moyen érosion des sols à l'échelle des parcelles agricoles dans les différents bassins versants pour savoir où se situent les zones les plus sensibles à l'érosion.

Partie 2 : Le processus d'érosion des sols et la cartographie de ce phénomène

Introduction

L'érosion des sols est un phénomène qui touche le plus souvent les parcelles agricoles. L'érosion peut être due à la pluie, au vent ou à l'alternance gel-dégel. Depuis plusieurs années maintenant, de plus en plus de chercheurs s'intéressent à ce sujet. Le sol est une richesse pour l'agriculture, mais il n'est pas renouvelable rapidement. Il faut plusieurs dizaines d'années pour former un centimètre de terre. A l'inverse, en quelques dizaines de minutes, une ravine de plusieurs centimètres de profondeur peut se former et emporter à la fois des sédiments, mais aussi des polluants tels que des nitrates vers le cours d'eau. Pour éviter que l'érosion ait lieu, plusieurs modèles pour évaluer la sensibilité des sols à l'érosion ont été mis en place afin de cibler les zones à risque et ainsi créer des aménagements.

Chapitre 1 : Etat de l'art sur l'érosion des sols

Dans ce chapitre, il s'agit de s'intéresser à l'érosion hydrique des sols, mais aussi aux aménagements mis en place.

1.1 La genèse de l'érosion

L'érosion hydrique des sols dépend du climat, du sol, du relief et de l'occupation du sol. D'après P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, « *le processus d'érosion, qui s'apparente au déplacement de particules du sol sous l'influence du ruissellement, occasionne des dégâts lourds de conséquence pour les cultures, les infrastructures collectives, les biens des personnes et, d'une manière générale, pour l'environnement* » (2008 (page 8)). Dans l'Europe du Nord-Ouest, l'érosion par ruissellement représente 0,5 à 7,8 tonnes de terre par hectares et par an d'après KWAAD, 1994 ; CHAMBERS AND GARWOOD, 2000, cités par P. LE GOUEE et D. DELAHAYE 2008. L'érosion hydrique se déroule en trois étapes. Tout d'abord, les agrégats du sol sont mis en suspension par l'impact des gouttes de pluie. Ensuite, les matériaux sont transportés, en fonction de la topographie. Enfin, ces agrégats du sol sont déposés lorsque la capacité du ruissellement diminue et n'est plus capable de transporter les sédiments les plus lourds.

1.1.1 L'érosion favorisée par les types de sols

L'érosion des sols peut avoir lieu le long des littoraux, mais aussi le long des cours d'eau, lorsque les sols sont instables, ou que les animaux en pâture s'abreuvent dans le cours d'eau et fragilisent les berges. Dans ce mémoire, ces problématiques ne seront pas abordées, au profit de l'érosion des sols sur les parcelles agricoles.

L'érosion hydrique des sols s'effectue aussi sur les versants, notamment sur les parcelles cultivées. L'érosion a lieu surtout à deux périodes de l'année, lorsque les précipitations sont intenses.

La première période s'étend de septembre à mars. Les pluies, parfois intenses durant les tempêtes d'hiver, s'abattent sur des sols où la couverture végétale est peu dense. En effet, dans le Calvados comme dans le Nord et l'Ouest de la France, les cultures d'hiver telles que le blé, le colza ou l'orge sont semées de septembre à novembre, mais elles couvrent le sol qu'au printemps. Quant aux zones de bocage, où l'élevage bovin est très présent, la production de cultures de printemps comme le maïs domine. La récolte a lieu entre octobre et décembre et souvent, il y a du maïs qui est planté sur 3 voire 4 années de suite sur la même parcelle. Durant la période d'interculture, le champ reste nu, sans avoir été retravaillé et le sol est compacté, à la fois par les pluies précédentes qui ont formé une croûte de battance, ou par le chantier de récolte (D. DELAHAYE, 1992). Ces sols ont une faible capacité d'infiltration et à chaque pluie, l'eau ruissellera (A. V. AUZET, 1990 ; Y. LE BISSONNAIS et al., 2002). Les fortes précipitations hivernales associées à un faible couvert végétal génèrent donc un risque d'érosion hydrique important (Y. LE BISSONNAIS et al., 2002).

La seconde période a lieu durant les orages, au printemps et en été. En effet, dans les parcelles de betteraves, de lin, de maïs, de pommes de terre et de tournesol, le sol est fraîchement cultivé, parfois très finement et ces plantes ne couvrent pas encore entièrement le sol. Face aux pluies qui peuvent parfois être intenses et soudaines, les gouttes de pluie, en tombant, peuvent mettre en suspension les particules du sol (effet splash). Si ces particules sont fines, il peut facilement y avoir la formation de croûtes de battances qui rendent imperméables le sol. Ces croûtes de battance sont d'après A. V. AUZET « incapable d'infiltrer plus de 1 à 2 mm/heure [...]. Un ruissellement se produira alors à chaque pluie, tant que la structure du sol en surface ne sera pas réouverte par un nouveau travail du sol ou, éventuellement, du fait de la dessiccation, du gel du sol ou de l'activité biologique » (1990, page 13)).

Outre la formation de croûtes de battance, si l'intensité des pluies et le volume de précipitations sont supérieurs à la capacité d'infiltration du sol, le sol, en fonction de son épaisseur, peut ne plus stocker d'eau. Si l'épisode pluvieux se prolonge, l'eau va ruisseler et se charger en sédiments érodés (N. GAIN, 2007).

Avec la pente, le ruissellement hortonien, autrement dit le ruissellement de surface, peut vite se mettre en place. En été, c'est plutôt lorsque les parcelles de blé, de colza et d'orge sont moissonnées. Il ne reste plus que les chaumes de ces plants, mais ils ne couvrent pas le sol, auquel s'ajoute une sécheresse de la terre qui est donc peu perméable et à défaut de s'infiltrer, l'eau ruisselle et déplace tout ce qui peut être emporté jusqu'aux cuvettes topographiques, à l'instar de la commune de Le Bû-sur-Rouvres qui a été inondée le 13 août 2020 (bassin versant du Bû). Dans le département du Calvados, la topographie favorise le risque d'apparition de l'érosion hydrique, avec plus de 36 % de la surface du département qui a des pentes supérieures ou égales à 5 %, et même 70 % de la surface du département qui a des pentes supérieures ou égales à 2 %, pentes sur lesquelles se déclenche le ruissellement (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008).

Depuis la modernisation de l'agriculture et le remembrement dans les années 1950, les limites des parcelles ont été modifiées, les champs ont été agrandis, les sols sont travaillés le plus finement possible, les labours sont de plus en plus profonds, les sols sont tassés par le poids des engins, les prairies se sont raréfiées et de nombreuses haies et fossés ont disparus. Les parcelles étant plus grandes, la surface des impluviums est aussi devenue plus importante (A. V. AUZET, 1987). Les volumes d'eau ruisselées sont considérables et l'eau ne peut pas toujours être infiltrée ou retenue en bas de parcelle. Il y a rarement une haie, un fossé ou un talus en bout de champ pour contenir l'eau, notamment dans la Plaine de Caen. L'eau d'une parcelle ruisselle et s'ajoute souvent à l'eau de la parcelle suivante, ce qui favorise un débit plus important et donc la formation de ravines et un déplacement de sédiments non-négligeable vers les bas de versants (D. DELAHAYE, 1992).

De nombreuses parcelles, parfois sur de grandes surfaces, en pentes raides sont mises en culture, ce qui cause l'arrachement des particules et la formation des ravines (A. V. AUZET, 1990).

1.1.2 L'arrachement des particules et les processus d'érosion hydrique

Il existe deux types d'érosion hydrique. Tout d'abord, il y a l'érosion diffuse où l'eau ruisselle sur le sol sur de larges surfaces et qui emporte des particules du sol à différents endroits de la parcelle sans inciser le versant car les pentes sont faibles. Les gouttes de pluie, lorsqu'elles tombent sur le sol, mettent en suspension les particules et les déplacent par effet gravitaire. Les sédiments sont déplacés sur de faibles distances (F. PAPY, 1992).

Enfin, il y a l'érosion concentrée, ou érosion de talweg, où l'eau ruisselle en convergeant vers le point bas de la parcelle et forme des ravines sur les versants et dans les fonds de versants. Ce phénomène a lieu suite à de fortes précipitations. Les rigoles, les ravines ou les ravins peuvent être de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres de profondeur en fonction de la pente et de la surface de l'impluvium. Ces ravines peuvent être plus ou moins espacées, de quelques dizaines à quelques centaines de mètres, notamment sur les sols limoneux et sur les parcelles cultivées dans le sens de la pente. Parfois, il n'y a qu'une ravine, notamment dans les talwegs secs (F. PAPY, 1992). Les ravines qui se forment sur les versants correspondent souvent aux traces de roues, mais elles peuvent correspondre également à la topographie (A. V. AUZET, 1990).

Ces deux types d'érosion hydrique peuvent déplacer des sédiments tout près de leur lieu d'origine, mais ils peuvent être déplacés sur de longues distances, notamment s'il n'y a aucun obstacle entre le lieu d'arrachage et le lieu de dépôt. Même si une parcelle est à quelques kilomètres d'un cours d'eau, un réseau de fossés ou une route peut jouer un rôle dans le déplacement de ces sédiments (R. REULIER et al., 2015).

1.1.3 Les conséquences de l'érosion hydrique et du ruissellement

Cette eau chargée de sédiments peut générer des dégâts importants pour les cultures. En effet, lors de la formation de ravines, les plantes sont arrachées et les parcelles sont déformées ce qui peut gêner les agriculteurs si la ravine est trop profonde. En bas de pente, s'il y a un obstacle au ruissellement, l'eau et les sédiments s'accumulent et recouvrent les plantes d'une épaisseur de terre qui peut parfois atteindre plusieurs centimètres. Il n'y a pas que des sédiments qui se déposent, il y a aussi des pesticides, des produits phytosanitaires et des engrais qui sont déplacés et qui génèrent un surdosage en produits chimiques dans la zone d'accumulation. Parfois, ces eaux, chargées en sédiments et polluants, peuvent s'infiltrer dans des bêtouilles et contaminent les eaux souterraines (Y. LE BISSONNAIS et al., 2002 ; N. GAIN, 2007). Ces eaux polluées peuvent aussi arriver dans les rivières, voire dans la mer, et avoir une incidence sur la biodiversité aquatique liée aux crues turbides, voire même favoriser la formation d'algues vertes comme dans les baies de Lannion et de Saint-Brieuc dans les Côtes-d'Armor (N. GAIN, 2007).

D'après Y. LE BISSONNAIS et al., en 2002, la perte de particules sur le sol a des conséquences plus ou moins importantes. En effet, « *une tonne de sol érodée constitue une menace beaucoup plus grave pour un sol mince que pour un sol épais* » (page 18). Que ce soit sur un sol mince ou un sol épais, la réserve utile diminue mais les effets se feront plus rapidement ressentir sur un sol mince.

L'eau qui ruisselle dans les parcelles agricoles, à défaut d'être retenue dans une mare ou un derrière un talus, est chargée de sédiments et génère des écoulements boueux soit sur d'autres parcelles, soit sur une route ou bien même dans des zones urbanisées. Ces coulées de boue peuvent provoquer des dégâts matériels sur les bermes, sur les chaussées mais aussi dans les habitations. C'est par exemple ce qu'il s'est passé sur la commune de Le Bû-sur-Rouvres (bassin versant du Bû) avec une coulée boueuse qui est arrivée de plusieurs parcelles via le réseau routier pour inonder le centre du village à plusieurs reprises. Dans la commune de Le Mesnil-Eudes (bassin versant de la Martinière), le ruissellement des parcelles agricoles a causé la crue des cours d'eau et a inondé des habitations en aval du bassin versant. Ces sédiments se déposent aussi sur la chaussée et comblent les buses et les fossés. Cela nécessite une action rapide des gestionnaires des routes, mais aussi aux collectivités locales qui doivent mettre en place une lutte contre le risque inondation. C'est notamment le cas de la communauté de communes Cingal-Suisse Normande qui a fait réaliser une étude de prévention des inondations par ruissellement sur la commune de Le Bû-sur-Rouvres dans le cadre de la Gestion des Milieux Aquatiques et de la Prévention des Inondations (GEMAPI).

1.2 Les aménagements pour limiter le ruissellement en amont du réseau routier

D'après l'histogramme des densités de coulées de boue (dossiers de demande d'indemnisation) par région de 1985 à 2001, l'ancienne région Basse-Normandie appartient au second groupe de régions. Cela signifie qu'il y a entre 3,4 et 4,4 coulées par 100 km². Il y en a certainement plus, mais seuls les dégâts aux maisons et bâtiments sont référencés. Par ailleurs, ces coulées de boue augmentent fortement depuis 1991, mais les zones urbanisées étant plus nombreuses, les dégâts liés aux coulées de boue varient dans le même sens (Y. LE BISSONNAIS et al., 2002). Pour limiter le risque d'érosion hydrique des sols, mais aussi le ruissellement et les coulées de boue, d'autres manières de cultiver et des aménagements peuvent être mis en place.

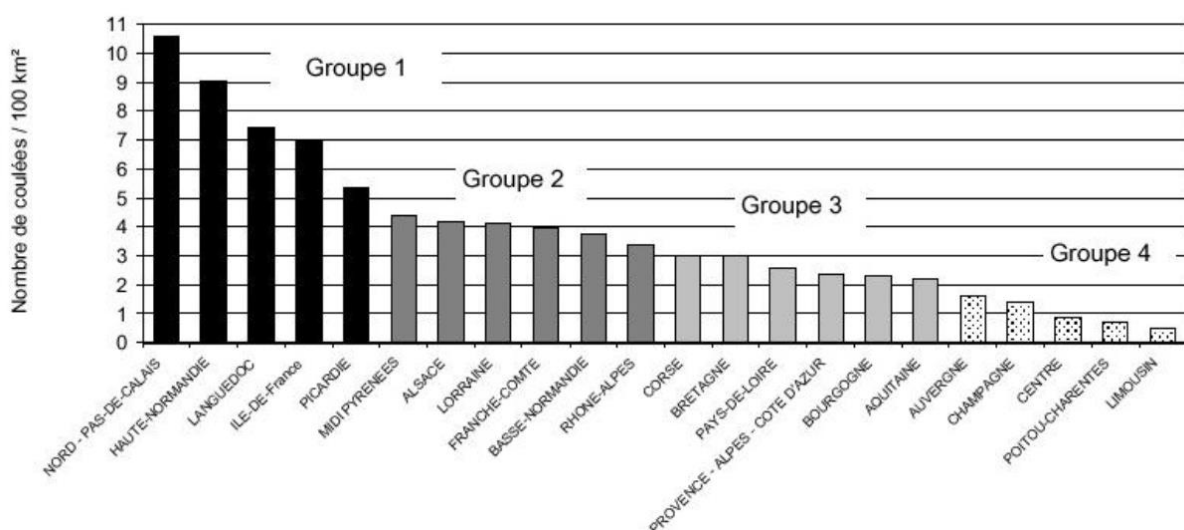


Figure 26 : histogramme du nombre de « coulées de boue » (dossiers de demande d'indemnisation) par région de 1985 à 2001 (Y. LE BISSONNAIS et al., 2002 (page 24))

1.2.1 Les pratiques agricoles pour lutter contre le ruissellement

A l'échelle des parcelles agricoles, de plus en plus d'agriculteurs sont sensibles au sujet de l'érosion hydrique mais cependant, certains ne le sont pas encore, ou considèrent que les coûts ou le temps passé n'est pas assez rentable.

La première méthode est de semer un couvert végétal durant la période d'interculture afin de ne jamais laisser le sol nu, notamment en hiver quand les précipitations sont abondantes et que la formation de croûtes de battance et de ruissellement est inévitable. Dans le bassin versant de la Martinière, j'ai rencontré un agriculteur bio de Saint-Germain-de-Livet qui m'a dit « *on essaie de semer un couvert végétal pour mettre le sol à l'abri comme nous, on se met à l'abri quand il pleut. Mais parfois, ce n'est pas possible, notamment après une culture de maïs grain, quand on récolte en décembre et qu'il pleut. Mais l'année dernière, il faisait sec, on a récolté en octobre donc là, les conditions étaient réunies pour semer un couvert végétal* ». De plus, les racines permettent de maintenir le sol, et limitent la formation des ravines.

Enfin, d'après R. REULIER : « *ce maintien d'un couvert permanent permet de limiter les fuites de nitrates en immobilisant temporairement l'azote minéral sous forme organique* » (2015 (page 32)). Une autre solution, complémentaire à celle-ci est de pratiquer la culture en bandes, en assurant un roulement entre des parcelles peu larges et dont les semis ne sont pas réalisés en même temps. Ainsi, cela forme plusieurs parcelles, dont certaines ont un couvert végétal, d'autres où celui-ci est moins dense et couvrant, dans le but de ralentir voire limiter l'érosion par ruissellement. Cette technique évite la monoculture sur une très grande parcelle (A. V. AUZET, 1987).

La seconde méthode est de semer perpendiculairement au sens de la pente. Ainsi, l'eau se retrouve bloquée à chaque rang ce qui permet de ralentir le ruissellement, limiter l'érosion hydrique et le transport d'intrants chimiques de la parcelle agricole au cours d'eau par exemple. Parmi les six bassins versants étudiés, il y a beaucoup de parcelles cultivées dans le sens de la pente, car soit les agriculteurs préfèrent gagner du temps à semer dans le sens de la plus grande longueur au lieu d'être obligés de manœuvrer souvent en bout de champ, notamment dans le cas des parcelles peu larges et très longue ; soit la pente est trop forte (supérieure à 5 %) et il est plus simple de monter et descendre la côte que de travailler la terre perpendiculairement à la pente, au risque de renverser le tracteur (F. PAPY, 1992).

Enfin, dans le département du Calvados, en 2021, 35 492 hectares, soit 9,4 % de la surface agricole du département, sont consacrés à l'agriculture biologique (Agence Bio). Les agriculteurs bio ne peuvent pas utiliser de produits chimiques pour désherber, ils réalisent donc un désherbage mécanique qui consiste à griffer la surface du sol, entre les rangs. Ainsi, dans une parcelle de blé, où la plante couvre le sol plusieurs mois après avoir été semée, le risque de formation de croûtes de battance est très fort. Cependant, avec cette méthode, le sol est régulièrement décompacté, les croûtes de battance disparaissent, le sol redevient perméable et étant donné que le sol est plus rugueux, l'eau s'infiltré plus qu'elle ne s'écoule. Cette pratique permet de limiter les coulées boueuses.

1.2.2 Les aménagements pour contenir le ruissellement dans les parcelles agricoles

Le long des parcelles agricoles, il peut y avoir l'aménagement d'une bande enherbée, notamment en bas de parcelle. En effet, cela forme une zone d'épandage pour les sédiments déplacés par le ruissellement. D'après R. REULIER en 2015 : « *LECOMTE (1999, cité par E. BOCHER, 2005) montre que les bandes enherbées permettent la ré-infiltration du ruissellement de l'ordre de 80 % pour une largeur de 6 mètres, mais l'efficacité peut être variable de l'ordre de 7 à 100 %. Massa et al. (2009), dans une étude sur l'efficacité des bandes enherbées, montrent qu'en moyenne 85 % des matières en suspension sont retenues dans des bandes enherbées de 6 mètres de large* » (page 35). L'eau peut donc s'infiltrer, ou son débit peut être ralenti avant de sortir de la parcelle si le ruissellement est important.

Ces bandes enherbées ou zones tampons évitent aussi l'éboulement du talus si la route est insérée dans la topographie avec la présence d'un talus d'au moins un mètre de haut. En effet, sur la commune de Marolles, à l'Est de Lisieux, et comme dans tous les bassins versants en général, les agriculteurs ont du mal à se justifier sur le sujet, mais ils cultivent de plus en plus près du talus et lors des pluies d'orage, l'eau ruisselle sur plusieurs centaines de mètres et l'eau déconsolide le talus. C'est également ce qu'il s'est passé sur la commune de Rocques, au Nord de Lisieux, où le talus a dû être consolidé à l'aide de gabions par l'agence routière départementale. Dans les fonds de talwegs cultivés, une bande enherbée peut également être installée pour limiter la formation de ravines et donc limiter le ruissellement et l'érosion hydrique des sols. Cette bande d'herbe peut servir pour la production de fourrage notamment. Mais la bande enherbée ne doit pas être longée par une fourrière ni par une raie de charrue. La parcelle doit être semée perpendiculairement à l'axe de la bande (A. V. AUZET, 1990 ; Y. LE BISSONNAIS et al., 2002).



Figure 27 : talus éboulé à Marolles qui bouche le fossé et gabions qui soutiennent un talus (C. GAMBU, 2023)

Pour limiter le ruissellement des parcelles agricoles sur le réseau routier, les entrées de champs sont parfois déplacées. En effet, notamment dans les parcelles qui se situent dans le Bocage, ces parcelles sont entourées de talus et le seul point de contact entre l'intérieur et l'extérieur de la parcelle est l'entrée de champ. Les entrées sont souvent dans un coin, au niveau du point le plus bas de la parcelle. Les sols sont souvent rapidement saturés donc l'eau emprunte l'entrée de champ pour rejoindre le réseau routier. Soit l'agriculteur déplace l'entrée de lui-même, en ayant demandé une autorisation au préalable à la mairie ou aux services routiers départementaux, soit c'est dans le cadre d'un projet d'aménagement réalisé par un bureau d'étude ou un syndicat mixte. L'ancienne entrée doit être bouchée par un talus, voire une haie sur le talus. La nouvelle entrée ne doit pas gêner l'écoulement de l'eau. Une buse doit être installée, notamment lorsqu'elle traverse un fossé. Parfois, l'entrée ne peut pas être déplacée en haut de la parcelle. Il faut donc aménager l'entrée en forme de dos d'âne pour retenir l'écoulement de l'eau et le contenir dans la parcelle (C. GOUINEAU et al., 2021).

Les mares permettent le stockage de l'eau, mais aussi servaient d'abreuvoir pour les animaux. Les éleveurs bovins étant de moins en moins nombreux au profit des céréaliers, les prairies ont été cultivées et les mares ont été rebouchées. Ainsi, l'eau s'évacue directement du champ. Actuellement, des mares sont réimplantées, soit sous forme de bassins de rétention étanches ou non, ou sous la forme de mares tampon qui permettent de collecter et de stocker temporairement l'eau en cas de fortes précipitations, en attendant que l'eau s'évacue par un réseau de buses. Ces mares servent de bassin de décantation afin de se débarrasser des sédiments et des polluants. Afin qu'elle joue son rôle, la mare doit être dimensionnée selon la taille de l'impluvium, mais aussi être curée régulièrement pour enlever les sédiments décantés (A. V. AUZET, 1990 ; Y. LE BISSONNAIS et al., 2002).

Ensuite, des talus peuvent être aménagés pour retenir l'écoulement de l'eau, permettre le dépôt des sédiments et favoriser l'infiltration de l'eau en amont du bassin versant. Ces talus sont souvent plantés d'arbres afin de les consolider grâce aux racines.

Comme les talus, les diguettes peuvent être installées au bord des champs. Ce sont des balles de paille attachées entre elles et maintenues au sol par des pieux. Elles permettent de retenir le ruissellement d'une parcelle agricole vers une route par exemple. L'aménagement doit être effectué chaque année et réinstallé sur la zone de dépôts des sédiments des années précédentes (A. V. AUZET, 1990). Les fascines, qui sont des branches entrecroisées entre des rondins de saules, permettent de filtrer les sédiments de l'eau et de ralentir son écoulement. Elles sont souvent installées le long des routes, où l'eau sort régulièrement des parcelles agricoles.

Les haies favorisent l'infiltration grâce aux racines (P. MEROT et al. (1999)). Ces haies ont un effet de retenue et d'infiltration sur le ruissellement si elles sont perpendiculaires au sens de la pente et accompagnées par un talus. Cependant, si elles sont plantées parallèlement à la pente, l'effet sur le ruissellement sera faible voire inexistant. Elles permettent aussi bien d'autres choses comme la production de bois, elles forment un brise-vent mais elles sont aussi utiles pour la biodiversité, notamment dans la partie amont du bassin versant du Bû où seules des cultures sont présentes. Cependant, quelques centaines de mètres de haies ont récemment été planté et seront accompagnés des 2 690 mètres prévus dans le projet de la communauté de communes Cingal-Suisse Normande.



Figure 28 : haie récemment plantée dans la commune de Condé-sur-Ifs (C. GAMBU, 2023)

Enfin, le rôle des fossés est de diriger l'écoulement vers un autre fossé ou un cours d'eau, Ces fossés doivent être curés plus ou moins souvent en fonction de leur fréquence d'utilisation par l'eau. Ils permettent le transfert des dynamiques hydro-sédimentaires, mais aussi le transfert des intrants agricoles. Il y a souvent une bande enherbée le long de ces fossés mais ce n'est pas toujours le cas, ce qui signifie que les quantités de polluants qui rejoignent le cours d'eau sont certainement importantes. Parfois, certains fossés retiennent l'eau, notamment lorsqu'une buse est plus haute que le fil d'eau, ou que le fossé est, à un endroit, creusé plus profondément. Cependant, lorsque le fossé est en pente, il peut favoriser l'accélération du débit.

Enfin, sur le bord des routes, il y a des avaloirs qui permettent de récupérer l'eau qui ruisselle et de l'évacuer plus loin, dans un fossé par exemple, ce qui évite la formation d'une mare d'eau sur un point bas de la route.



Figure 29 : avaloir qui draine l'eau qui ruisselle sur la route (C. GAMBU, 2023)

Les mares, les fossés et les haies sont souvent de nouveau installés où ils étaient situés il y a des dizaines d'années. Tous ces aménagements sont bien souvent réalisés à la suite de dégâts majeurs dans les communes, et rarement de manière préventive. Ces aménagements voient le jour lorsque les agriculteurs, les élus et les propriétaires sont d'accord pour un projet commun. Ces aménagements peuvent mettre plusieurs années à voir le jour, entre le temps que le projet d'aménagement soit conçu et réfléchi par un syndicat mixte ou un bureau d'étude, que les financements soient trouvés, que les propriétaires donnent leur accord, et que les travaux soient officiellement terminés. Les agriculteurs ont parfois du mal à céder une petite largeur pour créer des aménagements. Dans le cas de la commune de Le Bû-sur-Rouvres (bassin versant du Bû), le projet propose qu'une bande de 1,5 mètre de large soit aménagée soit en fossé, en talus ou en haie en fonction des endroits, mais le dialogue est parfois difficile entre tous les acteurs car chacun souhaite défendre ses intérêts. Dans le cas de la commune de Le Mesnil-Eudes (bassin versant de la Martinière) qui a été déclaré état de catastrophe naturelle suite à l'orage de juin 2019, le projet d'aménagement a été réalisé par le Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Touques mais si un seul habitant s'oppose au projet, le projet ne voit pas le jour. S. ALBIACH, technicienne du bassin versant de la Touques évoque d'ailleurs ce problème durant l'entretien « *je ne peux pas imposer à quelqu'un, même si ça inonde partout, même si ça inonde le voisin, je ne peux rien imposer mais en général, vu qu'ils sont aidés, ils n'ont rien à payer et ils sont aidés techniquement* ». Les dégâts qu'il y a eu en juin 2019 sur cette commune peuvent se reproduire, étant donné qu'une seule personne s'est opposée. La Martinière ne retrouvera donc pas son lit naturel et la cascade restera, au risque de causer de nouvelles inondations.

1.3 Exemples de modèles d'érosion hydrique des sols

Depuis la fin des années 1980, l'érosion des sols est un phénomène qui est de plus en plus étudié. Cela amène donc la création de modèles d'érosions à diverses échelles pour cartographier les zones à risque. Ces cartographies proposent une information spatialisée de l'aléa érosion des sols. Elles ont pour but d'aider les acteurs locaux dans la mise en place d'aménagements.

1.3.1 Le modèle d'érosion des sols selon l'Institut National de Recherche Agronomique et l'Institut Français de l'Environnement en 1998

D'après Y. LE BISSONNAIS et al., (2002), ce modèle produit une cartographie de l'aléa érosion des sols en France par saison selon différentes échelles, de la plus petite (les départements) à la plus grande (les bassins versants). Les zones de montagne et les zones urbanisées ne rentrent pas dans les données d'entrées du modèle. Ce modèle s'appuie sur des études régionales sur l'érosion hydrique des sols et sur l'étude des coulées de boue recensées en France.

Les données utilisées pour cartographier l'aléa érosion des sols sont d'abord la carte pédologique de l'Institut National de Recherche Agronomique, les données d'occupation des sols de CORINE land cover, le modèle numérique de terrain au pas de 250 mètres. Ensuite, ce modèle prend en compte les données météorologiques moyennes mensuelles sur 30 ans du fichier AURELHY au pas de 5 km mais aussi les fréquences moyennes de hauteurs de pluies en 1 heure dépassant certains seuils selon les données de Météo-France pour 95 stations. Enfin, le Recensement Général Agricole (RGA) de 1988 traité par petites régions agricoles (source Scees) est également pris en compte.

Les paramètres sont classés et pondérés selon un code de sensibilité à l'érosion hydrique des sols. Ce modèle arborescent se déroule en 3 étapes avec tout d'abord une **évaluation de la sensibilité potentielle des terrains à l'érosion**. Cette étape met en lien les données de pédologie, d'occupation des sols et de pente. La deuxième étape consiste à **évaluer l'aléa d'érosion saisonnier à différentes échelles** (cantons, bassins versants, petites régions agricoles et départements) en mettant en lien la sensibilité potentielle de la première étape avec les données de précipitations moyennes saisonnières. Enfin, la troisième étape permet de **réaliser un zonage typologique des aléas qui permet de situer les différents types d'érosion** et de faire le lien entre l'intensité de l'aléa et le type d'activité érosive.

Les résultats du modèle sont exprimés en 5 niveaux d'aléas : très faible, faible, moyen, fort, très fort.

Les résultats du modèle démontrent une certaine variabilité de l'aléa érosion hydrique des sols en fonction des saisons. Le printemps et l'été sont les saisons où l'aléa érosion des sols est le plus faible contrairement à l'hiver. A l'échelle du Calvados, la plaine de Caen est caractérisée par un aléa érosion des sols toujours plus important que dans le reste du département. En hiver, le Bocage virois, le Bessin et la Plaine de Caen ont un aléa érosion des sols faible, (niveau 2), tandis que le Pays d'Auge conserve toute l'année un aléa érosion des sols très faible (niveau 1).

Cependant, le modèle d'érosion d'après Y. LE BISSONNAIS et al. n'a pas vocation à donner une cartographie de l'aléa érosion des sols à une échelle plus fine que quelques dizaines de km². Ce modèle d'érosion ne se prête donc pas aux bassins versants étudiés dans le cadre de ce mémoire, mais donne tout de même un aperçu entre les différentes régions agricoles.

1.3.2 Le modèle d'érosion des sols de la Cellule d'Animation Technique pour l'Eau et les Rivières (CATER) Calvados Orne Manche en 2020

Le modèle d'érosion des sols imaginé par cette association produit une cartographie à l'échelle des parcelles agricoles. Il est utilisé par les syndicats mixtes des bassins versant de la Touques et de la Dives. Il prend en compte différentes données :

- Les pentes d'après la BD ALTI de l'IGN³. Une note allant de 1 000 pour les pentes inférieures à 1 %, à 5 000 pour les pentes supérieures ou égales à 10 % est attribuée aux 5 classes de pentes ;
- Il prend aussi en compte la texture du sol selon les données du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol et du triangle de Tavernier en attribuant une note de 1 000 pour des textures qui ont une faible érodibilité et une battance faible comme les argiles-argiles sableuses. La note de 5 000 est attribuée aux textures qui ont une érodibilité forte et une battance forte comme les sables-limons ;
- La géologie rentre aussi en compte dans ce modèle. La note de 0 est attribuée à certaines formations géologiques comme celles du Quaternaire (alluvions) ou du Crétacé (craie) tandis que la note de 1 000 est attribuée aux formations du tertiaire (sables) et du Précambrien Briovérien (schistes et grès) ;
- L'occupation du sol est une donnée primordiale dans les cartographies d'érosion hydrique des sols qui est aussi utilisée par ce modèle. Les données sont extraites du Registre Parcellaire Graphique et de CORINE Land Cover. Une note de 5 000 est attribuée à tous les groupes de cultures sauf les surfaces gelées sans production, les parcelles de fourrage, les estives et landes, les vergers (dont fruits à coque, oliviers, arboriculture) canne à sucres et parcelles boisées qui ont la note de 1 000.

³ IGN : Institut National de l'Information Géographique et forestière

- La surface de la parcelle pondérée à une densité de bocage est majorée aux autres données du modèle car plus une parcelle est grande, plus la lame d'eau qui ruisselle aura une plus grande compétence de transport et une plus grande capacité d'arrachement des particules. La note s'étend de 1 pour les parcelles de moins d'un hectare à 5 pour les surfaces supérieures à 10 hectares.
- Les parcelles agricoles sont aussi classées en fonction de leur connexion au cours d'eau. Cette classification prend en compte la distance au cours d'eau et la présence du réseau routier.
- La septième donnée qui est intégrée dans le modèle est la pluviométrie et plus précisément le « nombre de jours par an avec des précipitations supérieures à 10 mm » d'après la CATER en 2020 (page 44). En utilisant les données de Météo-France, les précipitations sont réparties en 5 classes. Entre 0 et 5 mm, une note de 1 000 est attribuée. Pour les précipitations au-delà de 12,5 mm, une note de 5 000 est attribuée.

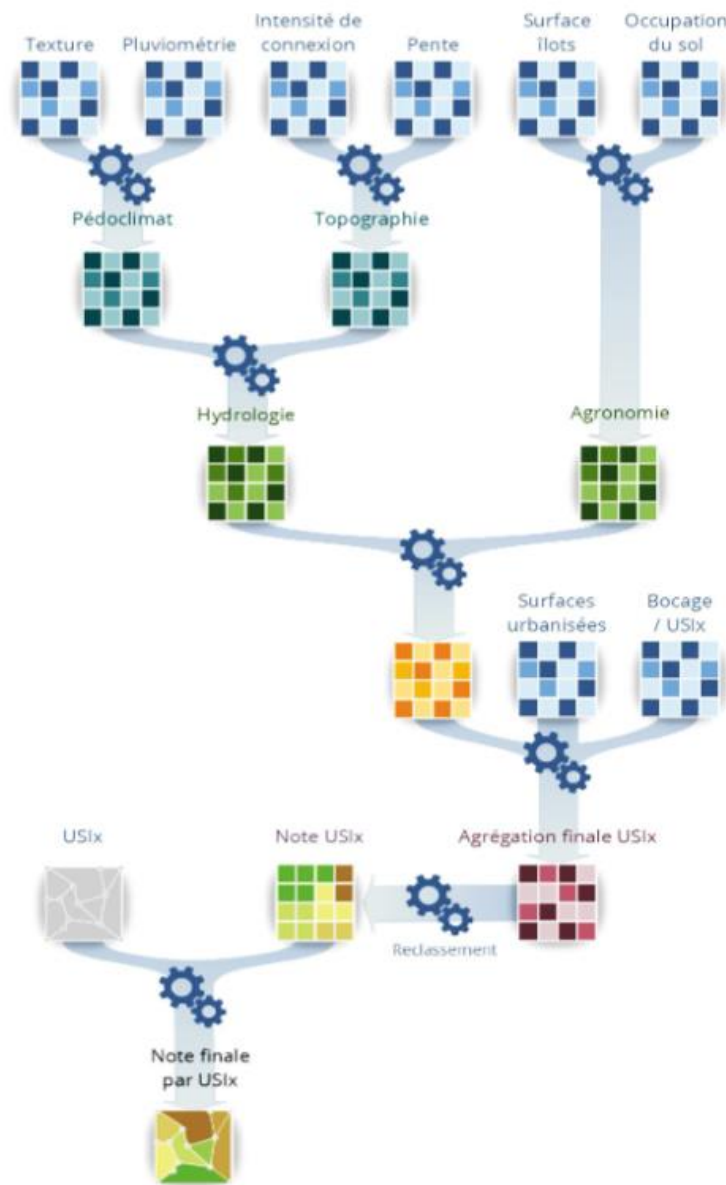


Figure 30 : structure du modèle de la CATER (C. GOUINEAU, 2020 (page 36))

Ce modèle arborescent à six étages de calculs permet de donner une note pour qualifier l'érosion hydrique des sols à l'échelle de chaque parcelle. Le résultat final aboutit à une classification en 7 niveaux d'aléas : très faible, faible, moyennement faible, moyenne, moyennement élevée, élevée, très élevée. (C. GOUINEAU, 2020)

Ce modèle, plus élaboré que celui de l'INRA en 1998, prend en compte des caractéristiques supplémentaires telles que la densité des haies bocagères ou la connexion des parcelles au réseau hydrographique. Il donne aussi des informations sur les surfaces des impluviums. De plus, un protocole détaillé est fourni pour expliquer les données utilisées et les manipulations à appliquer sur un logiciel de système d'information géographique. Ce modèle s'appliquant à l'échelle des parcelles agricoles, il est facile de cartographier l'aléa érosion des sols à des échelles plus petites, d'un sous-bassin versant jusqu'à un département ou une région, en fonction des données disponibles. A l'instar du modèle de l'INRA, ce modèle peut être applicable à chaque saison (Y. LE BISSONNAIS et al., 2002).

1.3.3 Le modèle de Spatialisation d'échelle fine de l'Aléa Erosion des Sols (SCALES) de P. LE GOUEE et D. DELAHAYE (2008)

Le modèle SCALES créé par P. LE GOUEE et D. DELAHAYE propose une cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle des parcelles agricoles. Le modèle permet de savoir sur une parcelle donnée, si les caractéristiques prises en compte par celui-ci sont favorables à la formation de l'érosion. L'aléa d'érosion des sols est une carte dont la discrétisation est coupée en 6 classes, allant de 0 lorsque l'aléa est nul à 5 lorsque l'aléa est très fort. Si l'aléa est fort, c'est que potentiellement, la parcelle génère facilement des dynamiques hydro-sédimentaires qui pourront arriver sur la route ou ses dépendances.

Le modèle SCALES utilise plusieurs variables :

- La durée qui sépare la récolte d'une culture avec la semence de la culture suivante sur un pas de temps de 5 années d'interculture ;
- Le couvert végétal présent sur les parcelles durant l'hiver ;
- L'inclinaison des pentes d'après le modèle numérique de terrain de l'IGN ;
- L'instabilité structurale du sol d'après une cartographie réalisée par P. LE GOUEE (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008) ;
- L'intensité journalière des pluies d'après une cartographie réalisée par P. LE GOUEE (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008) ;
- Les surplus hydrologiques d'après une cartographie réalisée par P. LE GOUEE (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008).

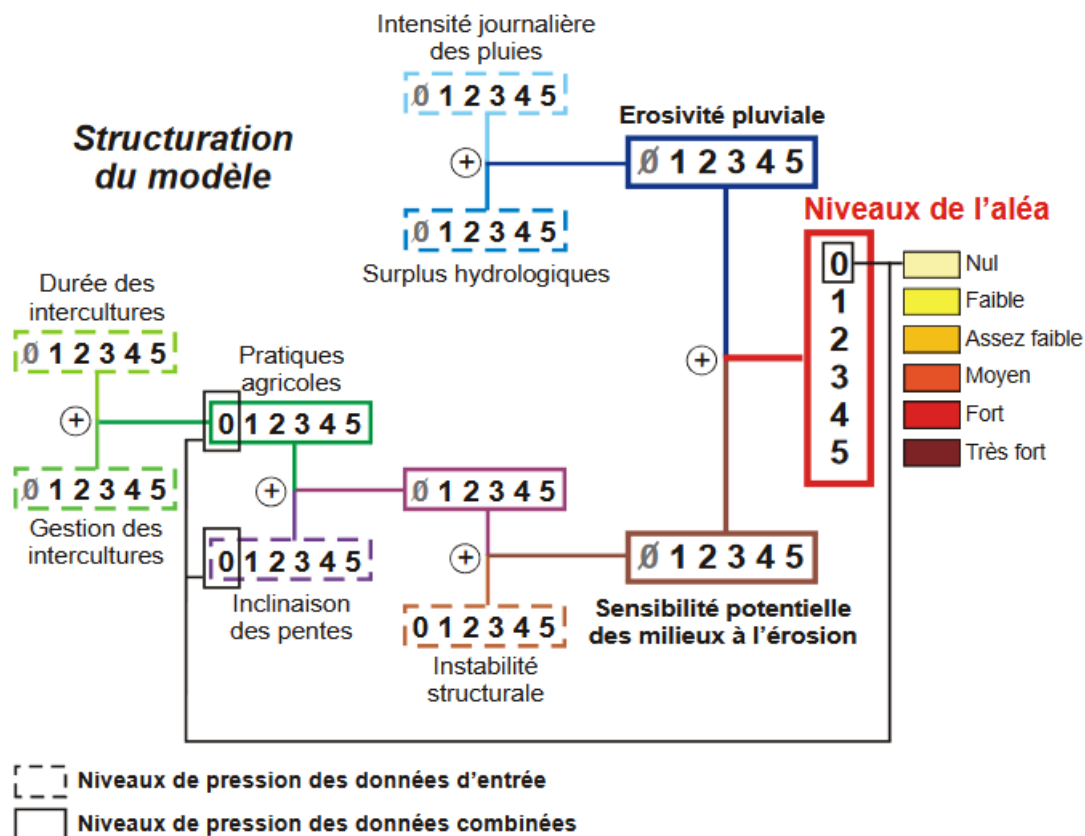


Figure 31 : structure du modèle SCALES (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 28))

Chapitre 2 : La mise en application du modèle de Spatialisation d'échelle fine de l'Aléa Erosion des Sols (SCALES) de P. LE GOUEE et D. DELAHAYE (2008)

Le processus d'érosion des sols et des exemples de modèles qui cartographient l'érosion étant expliqués, il s'agit dans ce chapitre d'explicitier ce dernier modèle, celui qui sera utilisé pour cartographier l'aléa moyen érosion des sols dans les bassins versants.

Suite à une étude sur trois bassins versants du Calvados dont le Tortillon, « *le modèle SCALES s'applique de manière satisfaisante à l'échelle de petits bassins ruraux (> 10 km²)* » (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 203)). Ce modèle est facile d'utilisation avec un simple logiciel de SIG. De plus, le nombre de variables utilisées est peu nombreux ce qui limite le temps de mise en application du modèle. A cela s'ajoute le fait que de nombreuses données difficiles à obtenir rapidement sont disponibles sous forme cartographique, notamment les variables « surplus hydrologiques » et « instabilité structurale ».

Cela explique le choix de ce modèle pour cartographier l'aléa moyen érosion des sols à l'échelle des parcelles des six bassins versants étudiés.

2.1 La méthodologie mise en place pour cartographier l'aléa moyen érosion des sols

Le modèle de Spatialisation d'échelle fine de l'Aléa Erosion des Sols créé par P. LE GOUEE et D. DELAHAYE à partir de 2004 va proposer une cartographie de l'aléa moyen érosion des sols à l'échelle des parcelles agricoles. Le modèle permettra de savoir sur une parcelle donnée, si les caractéristiques prises en compte par celui-ci sont favorables à la formation de l'érosion.

SCALES est également un modèle arborescent qui s'appuie exclusivement sur un système d'information géographique. Ce modèle est applicable à l'échelle régionale mais aussi à l'échelle locale. L'échelle la plus fine est celle de l'îlot PAC⁴ lors de sa création, et l'échelle parcellaire depuis que les données géoréférencées du Registre Parcellaire Graphique (RPG). Le RPG 2021 téléchargeable sur le site de l'IGN est la référence spatiale pour la mise en œuvre du modèle SCALES, c'est-à-dire que ce sont ces parcelles qui aideront à la localisation des différents niveaux d'aléa.

L'aléa moyen érosion des sols est une carte dont la discrétisation est coupée en 6 classes, allant de 0 lorsque l'aléa est « nul » à 5 lorsque l'aléa est « très fort ». Si l'aléa est « fort », c'est que potentiellement, la parcelle génère facilement des dynamiques hydro-sédimentaires qui pourront arriver sur la route ou ses dépendances.

Dans ce modèle arborescent, les niveaux sont moyennés et classés en fonction du résultat afin de toujours garder les mêmes niveaux de pression (1, 2, 3, 4 et 5). Les cartographies sont intitulées « aléa moyen érosion des sols » car les niveaux de pression sont moyennés entre eux. De plus, le résultat présente une carte à l'échelle annuelle et non saisonnière ou mensuelle.

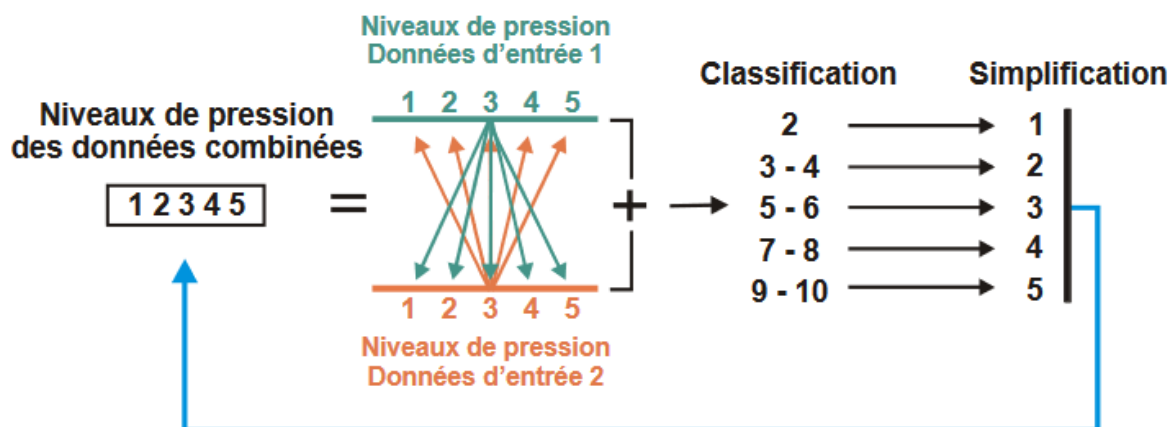


Figure 32 : procédure de combinaison des données du modèle SCALES (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 28))

⁴ Un îlot PAC regroupait jusqu'en 2015 « le maximum de parcelles contiguës exploitées par un même exploitant agricole » (voir le Chapitre 2, 2.2, sous-partie 2.2.1 intitulée « Pratiques agricoles »)

Tout d'abord, la première variable prise en compte dans ce modèle est la « durée des intercultures », c'est-à-dire quelle est la durée qui sépare la récolte d'une culture avec la semence de la culture suivante.

Ensuite, la seconde variable prise en compte est la « gestion des intercultures », c'est-à-dire quel est le type d'occupation et d'utilisation du sol entre deux cultures.

Ces deux variables sont additionnées pour former la variable « pratiques agricoles ». Le niveau 0 correspond aux parcelles toujours en herbe car le sol est couvert de manière permanente ce qui limite l'érosion, même s'il est possible d'observer du ruissellement. Les parcelles qui ont ce niveau de pression 0 correspondent au niveau 0 de l'aléa moyen érosion des sols. La suite du modèle n'est donc pas appliquée pour ces parcelles.

Cette variable est ajoutée à la variable « pente » composée aussi en 6 classes. La classe 5 est composée des pentes supérieures ou égales à 15 %. Ce niveau 0 correspond aux parcelles dont les pentes sont inférieures à 1 % où l'eau ne peut pas se mettre en mouvement par effet gravitaire. Les parcelles qui ont ce niveau de pression 0 correspondent au niveau 0 de l'aléa moyen érosion des sols. La suite du modèle n'est donc pas appliquée pour ces parcelles.

La somme des deux variables précédentes est ajoutée à l'instabilité structurale qui caractérise l'instabilité des éléments du sol.

Ces quatre variables forment la « sensibilité potentielle des milieux à l'érosion » composée de 5 niveaux, allant de 1 à 5.

Enfin, dans l'autre partie du modèle, pour obtenir la variable « érosivité pluviale », il prend en compte la variable « intensité journalière des pluies » supérieures à 10 mm moyennées sur 15 ans (entre 1991 et 2004). Il prend aussi en compte la variable « surplus hydrologique » qui fait le lien entre les volumes de précipitation et la teneur en eau disponible dans le sol.



Figure 33 : données d'entrée du modèle SCALES (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 24))

2.2 Les données utilisées par le modèle SCALES

Dans le rapport d'étude de P. LE GOUEE et D. DELAHAYE de 2008 intitulé *Modélisation et cartographie de l'aléa érosion des sols et des espaces de ruissellement dans le Calvados*, il y a plusieurs cartes permettant d'utiliser le modèle. Certaines cartes doivent être remises à jour comme la « durée des intercultures », la « gestion des intercultures », qui influent sur les cartes de « pratiques agricoles » et de « sensibilité potentielle des milieux à l'érosion ». Néanmoins, les cartes de « l'instabilité structurale » et de « l'érosivité pluviale » peuvent être insérées dans l'application du modèle car il est peu probable que ces données aient évolué en 15 ans. La carte des « pentes » sera améliorée grâce à l'utilisation d'un MNT au pas de 5 mètres et non plus 20 mètres.

2.2.1 Pratiques agricoles

P. LE GOUEE a travaillé à l'échelle de l'îlot PAC. Un îlot PAC regroupait jusqu'en 2015 « le maximum de parcelles contiguës exploitées par un même exploitant agricole, qui n'est pas nécessairement le propriétaire des terres. Des parcelles sont contiguës lorsqu'elles ne sont pas séparées par une route, un chemin, ou un cours d'eau d'une largeur supérieure à 4 mètres, ou par un bois. Seules des haies peuvent délimiter les parcelles d'un même îlot » (G. JOUAN, 2008 (page 23)). Actuellement, les parcelles agricoles se distinguent les unes des autres dans les données téléchargeables de l'IGN. Cela permet d'étudier de manière encore plus précise l'aléa moyen érosion des sols car dans chaque polygone, il n'y a qu'une seule culture et non plusieurs comme ce qui était le cas à l'échelle de l'îlot PAC.

Contrairement à ce qui a été fait par N. GAIN (2007), le choix a été fait d'aller voir chacune des parcelles des six bassins versants. En effet, reprendre des travaux de 2007 sur les pratiques agricoles me paraissait caduc. De plus, il s'appuie sur 85 agriculteurs répartis dans 30 communes du département dont aucune ne fait partie des bassins versants étudiés. Les pratiques agricoles avaient ensuite été interpolées aux communes qui ont le même type d'exploitation que la commune enquêtée. A cela s'ajoute le fait que les pratiques agricoles ont certainement évolué depuis, avec toujours plus de parcelles cultivées au détriment des prairies. Il y a aussi plus d'exploitants en agriculture biologique qui semblent avoir un raisonnement beaucoup plus protecteur de la nature que certains agriculteurs conventionnels.

Utiliser les données du registre parcellaire graphique de 2021 ne donne pas d'informations sur la manière dont est gérée l'interculture pour les cultures de printemps. Je suis donc convaincu que la seule méthode, même si elle prend du temps, est de voir durant les mois de janvier et de février quelle est l'occupation du sol pour chacune des parcelles.

Pour connaître le niveau de pression lié aux pratiques agricoles, il convient d'additionner, pour chacune des parcelles, le niveau de pression correspondant à la durée des intercultures avec la gestion des intercultures. Par exemple, une parcelle labourée, qui a donc un niveau de pression égal à 3 concernant la gestion des intercultures, et dont les registres parcellaires graphiques (RPG) des années précédentes indiquent une alternance entre cultures de printemps et cultures d'hiver, qui correspond à un niveau de pression égal à 3. Il suffit donc de faire la moyenne de ces deux valeurs, ce qui donne 6 divisé par 2, soit un niveau de pression de 3, qui correspond à un aléa érosion des sols qualifié de « moyen ».

Lorsque les niveaux de la durée des intercultures et de la gestion des intercultures sont de 0, le niveau de pression de la variables « pratiques agricoles » est de 0. Ainsi, ces parcelles ne subissent pas la suite du modèle et sont classées directement dans le niveau d'aléa érosion des sols le plus faible, soit le niveau de pression « nul ».

2.2.1.1 Gestion des intercultures

Cette longue étape de terrain s'est effectuée avec une carte des parcelles agricoles issue des données du Registre Parcellaire Graphique de 2021. A l'aide d'un outil de Système d'Information Géographique (SIG), chaque parcelle a été numérotée. Cette carte était accompagnée d'un tableau afin d'associer chaque numéro de parcelle avec la culture présente. Les cultures rencontrées étaient évidemment les zones enherbées de type prairie, les vergers de pommiers, les pépinières de sapins ; le couvert végétal couvrant le sol (avoine, fèves et ray-grass, le colza) ; le couvert végétal peu couvrant quand il y avait un couvert végétal mais que le sol était néanmoins bien visible (le blé, l'orge, le lin (dans la plaine de Caen)). Parfois, le sol était labouré, donc retourné sur une profondeur de près de 20 cm avec un sol qui est resté nu tout l'hiver. D'autres parcelles étaient déchaumées, c'est-à-dire que le sol est décompacté mais sur une faible profondeur, mais nu également. Enfin, des parcelles avaient un sol nu, c'est-à-dire qu'il y a eu un chantier de récolte de maïs ou de blé et que l'agriculteur n'a pas travaillé la terre depuis. Les pratiques agricoles durant l'hiver 2022-2023 sur les parcelles au bord des routes, ainsi que toutes les parcelles visibles depuis le domaine public (depuis la route ou un chemin communal) ont été répertoriées. Sur ces six bassins versants, le registre parcellaire graphique représente 1 807 parcelles. Grâce à cette première étape de terrain, 1 681 parcelles ont été classées selon leur niveau de pression.

Comme ce que les auteurs du modèle ont réalisé en 2008, « *le niveau 0 a été réservé aux îlots dédiés à la prairie permanente et à l'arboriculture* » (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 78)). Pour les six bassins versants, les parcelles dont le groupe de culture du Registre Parcellaire Graphique (RPG) de 2021 indique « gel (surfaces gelées sans production) », « prairies permanentes », « vergers », « fruits à coque », et les cultures du RPG « bande tampon », « bordure de champ », « surface agricole temporairement non exploitée » et « pépinière » reçoivent le niveau de pression 0 après vérification sur le terrain.

Les parcelles ayant un couvert végétal couvrant ou semées de colza dont des feuilles couvrent le sol, où l'effet splash et la formation de croûtes de battance est peu possible, ont le niveau de pression « 1 ». Les parcelles de blé, d'orge, de lin et les parcelles ayant un couvert végétal peu couvrant, ou qui a été désherbé mais qui ne couvre pas le sol, donc sensible à la formation de croûtes de battance, obtient le niveau de pression 2. Les parcelles labourées, qui peuvent ralentir le ruissellement, reçoivent le niveau 3. Ensuite, les parcelles qui ont été déchaumées, où il n'y a pas de couvert végétal, ont le niveau de pression 4. Enfin, les parcelles où le sol est resté nu, très sensible à la battance et au ruissellement sont classées dans le niveau de pression 5.



Figure 34 : exemple de prairie permanente (à gauche) et de couvert végétal (à droite) (C. GAMBU, 2023)



Figure 35 : exemple de couvert végétal peu dense (orge de printemps) (à gauche) et parcelle labourée (à droite) (C. GAMBU, 2023)



Figure 36 : exemple de parcelle déchaumée (à gauche) et sol nu (à droite) (C. GAMBU, 2023)

2.2.1.2 Durée des intercultures

A l'instar de ce que propose le modèle SCALES, il faut prendre en compte les cinq dernières années du RPG pour déterminer quels types de cultures se succèdent et connaître la durée des quatre dernières intercultures. Pour chacune des parcelles, il faut donc comparer les RPG 2017, 2018, 2019, 2020 et 2021. Cela permet de savoir quelle est la durée qui sépare la récolte d'une culture avec la semence de la culture suivante. Plus cette durée est longue avec une succession de cultures de printemps, plus l'indice compris entre 0 et 5 est proche de 5. Ainsi, s'il n'y a qu'une succession de cultures de printemps dans une parcelle, celle-ci est très sensible à l'érosion, sauf s'il y a toujours une culture dérobée ou un couvert végétal en hiver.

Concernant les niveaux de pression, un niveau 0 est attribué aux parcelles s'il y a au moins l'une des cultures suivantes durant les deux dernières années dans le RPG :

- Bandes tampon ;
- Bordures de champ ;
- Surfaces agricoles temporairement non exploitées ;
- Pépinières.

Il en est de même pour les groupes de culture :

- Gel (surfaces gelées sans production) ;
- Fourrages (sauf betterave fourragère qui est une culture de printemps) ;
- Prairies permanentes ;
- Prairies temporaires ;
- Vergers ;
- Fruits à coque.

Une parcelle où se succède des cultures d'hiver, avec quatre intercultures successives de 1 à 3 mois, correspond au niveau de pression 1 (blé, orge, blé, colza, orge par exemple). Une parcelle où se succède des cultures d'hiver avec une culture de printemps obtient le niveau de pression 2 (blé, maïs, blé, orge, colza par exemple). Une parcelle où il y a une alternance de cultures d'hiver et de printemps obtient un niveau de pression 3 (blé, orge de printemps, blé, maïs, blé par exemple). Une parcelle où une succession de cultures de printemps domine est classée dans le niveau de pression 4 (maïs, blé, maïs, colza, maïs par exemple). Enfin, une parcelle où il n'y a que des cultures de printemps, avec quatre intercultures successives de 5 à 7 mois, obtient le niveau de pression maximal, soit 5 (maïs, maïs, pois, maïs, betteraves par exemple).

Quelques exceptions demeurent. Une parcelle qui était une prairie permanente ou temporaire jusqu'en 2020 et devient une parcelle qui accueille une culture de printemps en 2021 obtient le niveau de pression 3 (car peut-être qu'elle a été une culture d'hiver en 2022). Si la parcelle était une prairie permanente ou temporaire jusqu'en 2019 ou avant, si en 2020, la parcelle accueille une culture de printemps puis en 2021, elle accueille une culture d'hiver, la parcelle obtient le niveau de pression 3 mais si en 2021, c'est aussi une culture de printemps, la parcelle obtient le niveau de pression 5. A l'inverse, si depuis 2021, il y a une prairie temporaire ou une parcelle destinée au fourrage, cette parcelle prend en compte l'alternance des années précédentes. Ces cas de figure sont rares.

Il faut ajouter le fait que certaines parcelles contiguës appartiennent au même agriculteur. D'une année à l'autre, les limites des parcelles évoluent. Il faut regarder quelle est la culture qui représentait le plus de surface dans la parcelle actuelle, c'est-à-dire la parcelle du RPG 2021.

2.2.2 Penthes

La variable « pente » est aussi composée de 6 niveaux. Le niveau 0 signifie que les pentes sont inférieures à 1 %, où le ruissellement érosif n'a pas de possibilité de se mettre en mouvement et former des ravines. Tout comme pour la variable des pratiques agricoles, lorsque des parcelles ont un niveau de pression égal à 0, elles ne subissent pas la suite du modèle et sont classées directement dans le niveau d'aléa moyen érosion des sols le plus faible, soit le niveau de pression « nul ». Les pentes comprises entre 1 et 2 % ont un niveau de pression 1. Les pentes comprises entre 2 et 5 % correspondent au niveau de pression 2. Les pentes comprises entre 5 et 10 % obtiennent le niveau de pression 3. Les pentes comprises entre 10 et 15 % ont un niveau de pression 4. Enfin, le niveau de pression 5 est attribué aux pentes supérieures à 15 %.

Le choix a été fait de prendre un Modèle Numérique de Terrain au pas de 5 mètres disponible sur le site de l'IGN pour réaliser la carte des pentes. Le Modèle Numérique de Terrain au pas de 20 mètres utilisé pour la mise en application du modèle en 2008 n'est pas assez précis pour des parcelles qui sont parfois très petites, notamment dans les paysages de bocage. De plus, le géoréférencement de la carte des pentes réalisé en 2008 était difficilement lisible.

Enfin, la valeur dominante a été choisie par rapport aux autres méthodes d'intégration des données d'entrée testées par G. JOUAN (2008) à l'échelle de petits bassins versants (<15 km²), à savoir les méthodes du centroïde, du maximum et de la moyenne. En effet, la proportion de surface d'îlots par niveau d'aléa dans plusieurs bassins versants et dans le Calvados, en 2006, montre que cette proportion est assez similaire entre les méthodes de la dominance et du centroïde (qui consiste à attribuer la valeur du centre de gravité de la parcelle à toute la parcelle). La méthode du centroïde maximise le niveau d'aléa 0 (« nul ») par rapport à la méthode de la dominance.

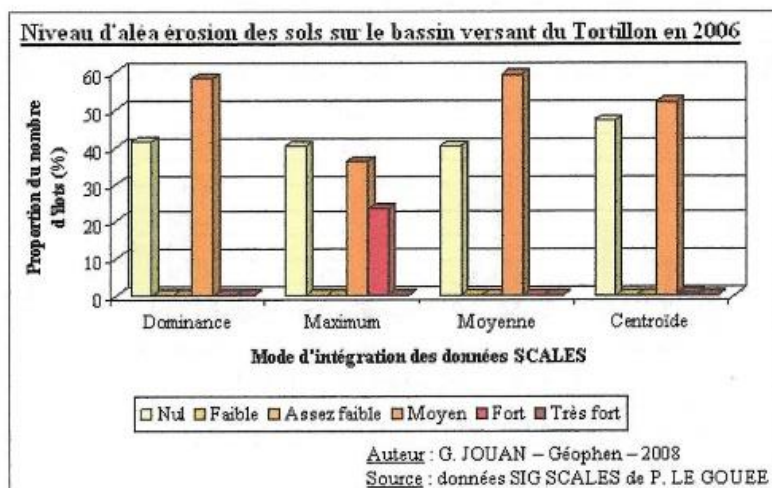
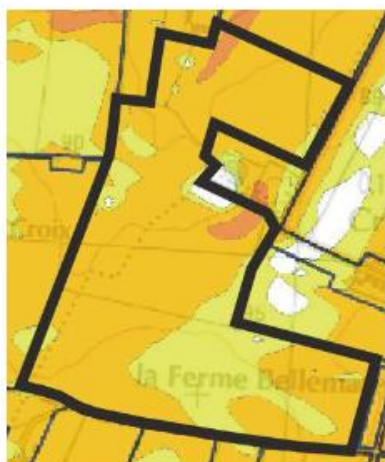


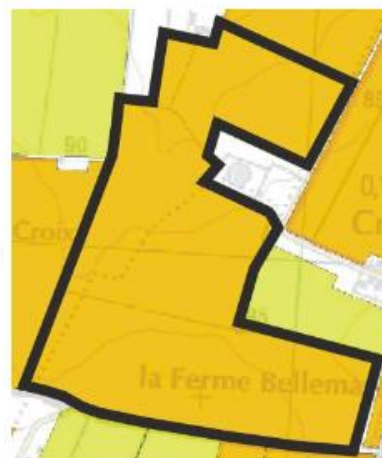
Figure 37 : histogramme de la répartition des niveaux d'aléa en fonction des méthodes d'intégration des données pour le bassin versant du Tortillon (G. JOUAN, 2008 (Annexe XXV))

Par ailleurs, P. LE GOUEE a favorisé le choix de la dominance dans la cartographie de l'aléa érosion des sols en 2007. Ainsi, pour chacune des parcelles, à l'aide d'un SIG, il faut estimer quelle est la valeur de pente qui a la plus grande surface afin de la classer dans le niveau de pression correspondant.

L'îlot (en trait noir) présente plusieurs valeurs de pente



La valeur de pente dominante est affectée à l'îlot



Cette procédure est répétée pour tous les îlots

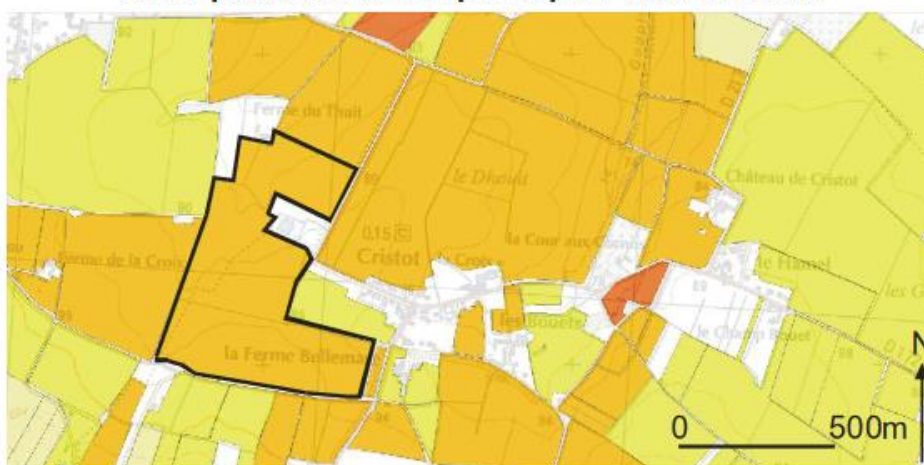


Figure 38 : méthode d'intégration selon la valeur dominante (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 81))

Cette variable de « pente » est ajoutée à la variable « pratiques agricoles », toujours en calculant la moyenne des deux niveaux de pression.

2.2.3 Instabilité structurale

Vient ensuite la variable d'instabilité structurale. L'instabilité structurale est : « l'aptitude d'une terre à maintenir son état d'agrégation lors d'une agression par les eaux pluviales. Dans la mesure où l'érosion des sols se traduit principalement par une désagrégation des mottes de terre et un détachement des particules sous l'action des pluies, la mesure de la stabilité structurale permet de déterminer l'érodibilité, c'est-à-dire la sensibilité des sols à l'érosion » (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008, (page 48)).

La détermination de l'instabilité structurale résulte de 7 514 sondages à la tarière, répartis dans tout le département du Calvados. Cela correspond à un sondage pour 40 ha de surface agricole utile. Les horizons, la profondeur, la couleur et la texture du sol ont été observés. Ces sondages ont abouti à 90 sites référents où des analyses sur la granulométrie, la stabilité structurale, le pH et la calcimétrie ont été effectués.

Le niveau de pression 0 d'instabilité structural n'existe pas. Lorsque le diamètre moyen pondéral (MWD) des agrégats est supérieur ou égal à 2 mm, l'instabilité structurale est faible, tout comme l'érodibilité, ce qui signifie que le niveau de pression est de 1. Le niveau de pression 2 regroupe les agrégats compris entre 1,3 et 2mm. Pour des agrégats dont le diamètre moyen pondéral est compris entre 0,8 mm et 1,3 mm, le niveau de pression obtenu est de 3. Ensuite, les agrégats qui ont un diamètre moyen pondéral compris entre 0,4 mm et 0,8 mm, le niveau de pression obtenu est de 4. Pour finir, lorsque les agrégats sont petits, inférieur à 0,4 mm, le niveau de pression est de 5 et l'érodibilité est forte.

MWD	Stabilité	Battance	Ruissellement et érosion diffuse
< 0.4 mm	Très instable	Systématique	Risque important et permanent en toutes conditions topographiques
0,4 - 0,8 mm	Instable	Très fréquente	Risque fréquent en toute situation
0,8 - 1,3 mm	Moyennement stable	Fréquente	Risque variable en fonction des paramètres climatiques et topographiques
1,3 - 2,0 mm	Stable	Occasionnelle	Risque limité
> 2,0 mm	Très stable	Très rare	Risque très faible

Figure 39 : Les classes de stabilité structurale (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 77))

Dans le but de gagner du temps, le choix a été fait de prendre directement la carte de la variable « instabilité structurale ». Cette carte, qui s'intitule « l'instabilité structurale des sols dans le Calvados », extraite de la mise en application du modèle SCALES (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008) a été géoréférencée sur un logiciel SIG, puis les niveaux de pression de l'instabilité structurale ont été attribués aux parcelles en utilisant toujours la méthode de la surface dominante comme méthode d'intégration des données d'entrée.

Pour les bassins versants du Tortillon et de la Vire-Amont qui ne sont pas exclusivement situés sur le département du Calvados, la carte a été interpolée pour éviter un manque de donnée.

2.2.4 Erosivité pluviale

Enfin, le modèle SCALES s'appuie sur les données climatiques, qui ont beaucoup plus d'influence sur le niveau de l'aléa moyen érosion hydrique des sols que les pratiques agricoles. Dans le but de gagner du temps et conserver les résultats de la mise en application du modèle, le choix a été fait d'utiliser directement la carte de la variable « érosivité pluviale » dans ce mémoire, qui elle-même prend en compte les variables « intensité journalière des pluies » et « surplus hydrologiques ». Toutes ces variables utilisent les données issues de 41 postes pluviométriques ou stations météorologiques de Météo-France qui se situent dans le département ou dans les départements voisins pour éviter les effets de bordures et obtenir des données de qualité sur tout le département.

Tout d'abord, la première donnée prise en compte est l'intensité pluviale pour la période 1991-2004, c'est-à-dire quel est le nombre moyen annuel de jours où les précipitations sont supérieures à 10 mm. A cela s'ajoute la donnée de l'évaporation potentielle mensuelle pour toutes les années de la période 1991-2004. L'intensité journalière moyenne annuelle des pluies supérieure à 10 mm est classée de la manière suivante : < 20 jours ; [20-25 jours [; [25-32 jours [; [32-40 jours [; \geq 40 jours et correspondent respectivement aux niveaux de pression 1, 2, 3, 4 et 5.

Ensuite, l'autre variable utilisée sont les surplus hydrologiques. Cette variable fait le lien entre les cumuls de pluie annuels moyens pour la période 1991-2004 et la réponse hydrologique des sols lié à la réserve utile. La réserve utile est le volume d'eau que le sol est capable d'absorber et qui peut ensuite être utilisable par les végétaux.

Les surplus hydrologiques sont des volumes d'eau qui ne vont pas s'infiltrer dans le sol de manière immédiate lorsque le sol ne peut plus absorber d'eau. L'eau va donc ruisseler. Les surplus hydrologiques moyens annuels sont classés de la manière suivante : < 150 mm ; [150-250 mm [; [250-350 mm [; [350-450 mm [; \geq 450 mm et correspondent respectivement aux niveaux de pression 1, 2, 3, 4 et 5.

Cette carte d'érosivité pluviale, qui s'intitule « l'érosivité pluviale en contexte climatique « normal » (1991-2004), échelle de l'îlot PAC », extraite de la mise en application du modèle SCALES (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008) a été géoréférencée sur un logiciel SIG, puis les niveaux de pression de l'érosivité pluviale ont été attribués aux parcelles, toujours en utilisant la méthode de la surface dominante comme méthode d'intégration des données d'entrée.

Pour les bassins versants du Tortillon et de la Vire amont qui ne sont pas exclusivement situés sur le département du Calvados, la carte a été interpolée pour éviter un manque de données.

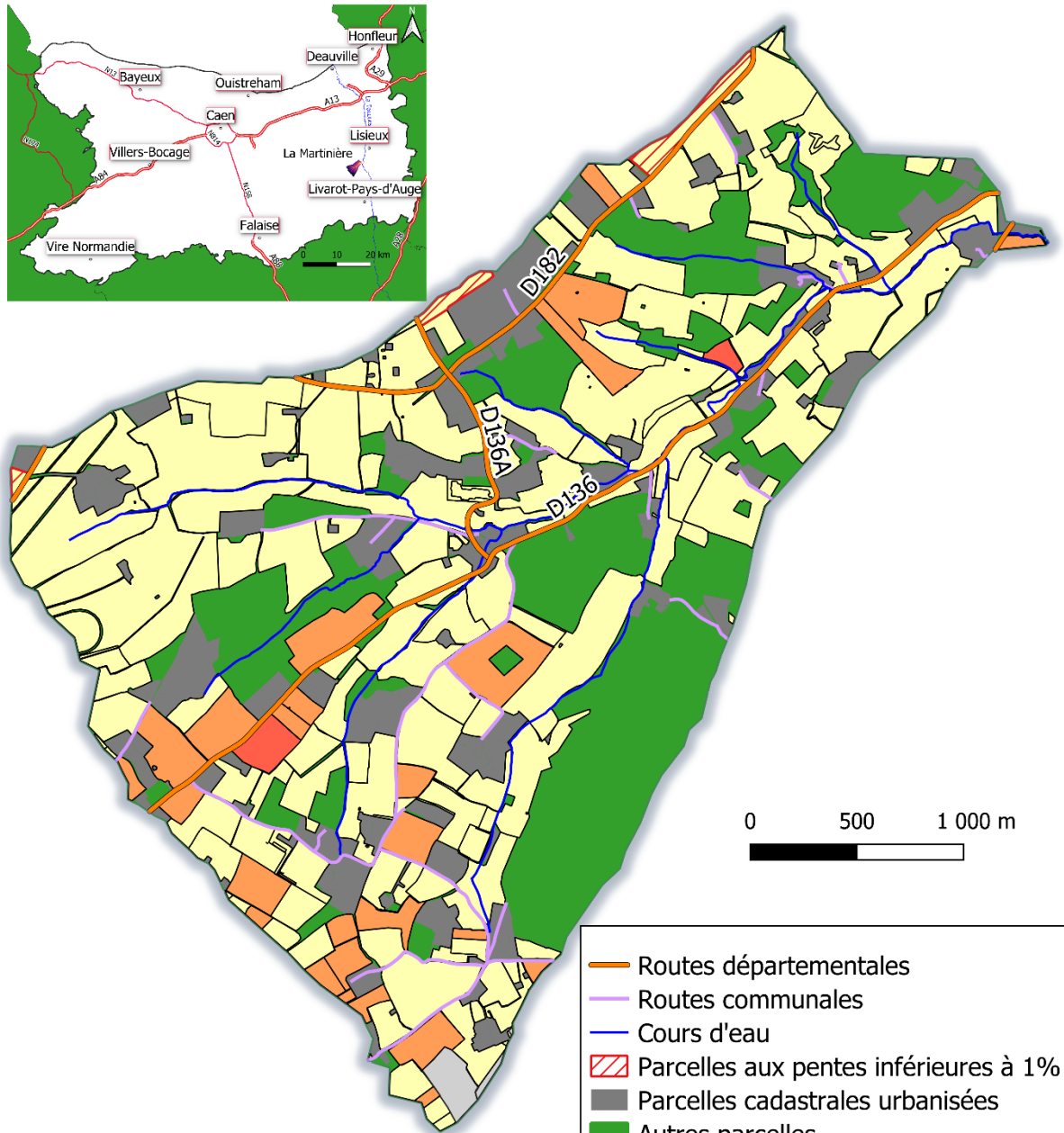
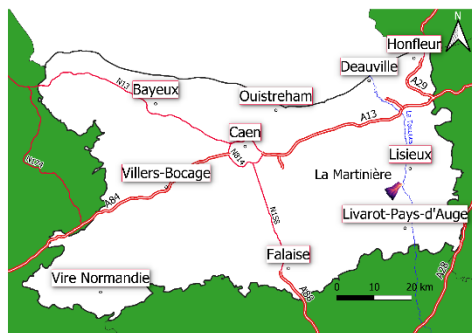
Chapitre 3 : Les résultats du modèle SCALES

Cette méthodologie du modèle SCALES est appliquée pour chacun des six bassins versants. Ce chapitre a pour but de montrer l'aléa moyen érosion des sols pour chacune des parcelles.

3.1 La Martinière

Ce bassin versant composé en majorité de prairies permanentes est peu sensible à l'érosion des sols. Il y a quelques parcelles cultivées qui ont un niveau « moyen » voire « fort » qui se situent en amont du bassin versant, où le relief est peu marqué.

L'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant de la Martinière



- Routes départementales
 - Routes communales
 - Cours d'eau
 - Parcelles aux pentes inférieures à 1%
 - Parcelles cadastrales urbanisées
 - Autres parcelles
- Niveaux d'aléa érosion des sols
- Nul
 - Moyen
 - Fort
 - Absence de donnée

Auteur : GAMBU Cyril, UFR SEGGAT, UCN
 Sources : IGN et P. LE GOUEE
 Date : 13/03/2023 (la gestion de l'interculture a été déterminée en janvier 2023)

Figure 40 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant de la Martinière

3.2 Le Bû

Le bassin versant du Bû est presque totalement cultivé. Il est donc assez sensible à l'érosion. Même si le bassin versant est relativement plat avec plusieurs parcelles où les pentes sont inférieures à 1 %, il y a une incision qui débute dès l'amont du bassin jusqu'à l'exutoire, en passant par le bourg de Le Bû-sur-Rouvres. Les parcelles les plus sensibles constituent trois grands espaces. Il y a tout d'abord l'amont du bassin versant jusqu'à la route communale la plus au Sud. Il y a ensuite l'Est de Le Bû-sur-Rouvres où les parcelles sont soit assez planes ou soit que l'eau ne peut pas s'introduire sur le réseau routier. Enfin, il y a toute la partie aval du bassin versant, où les pentes sont les plus fortes.

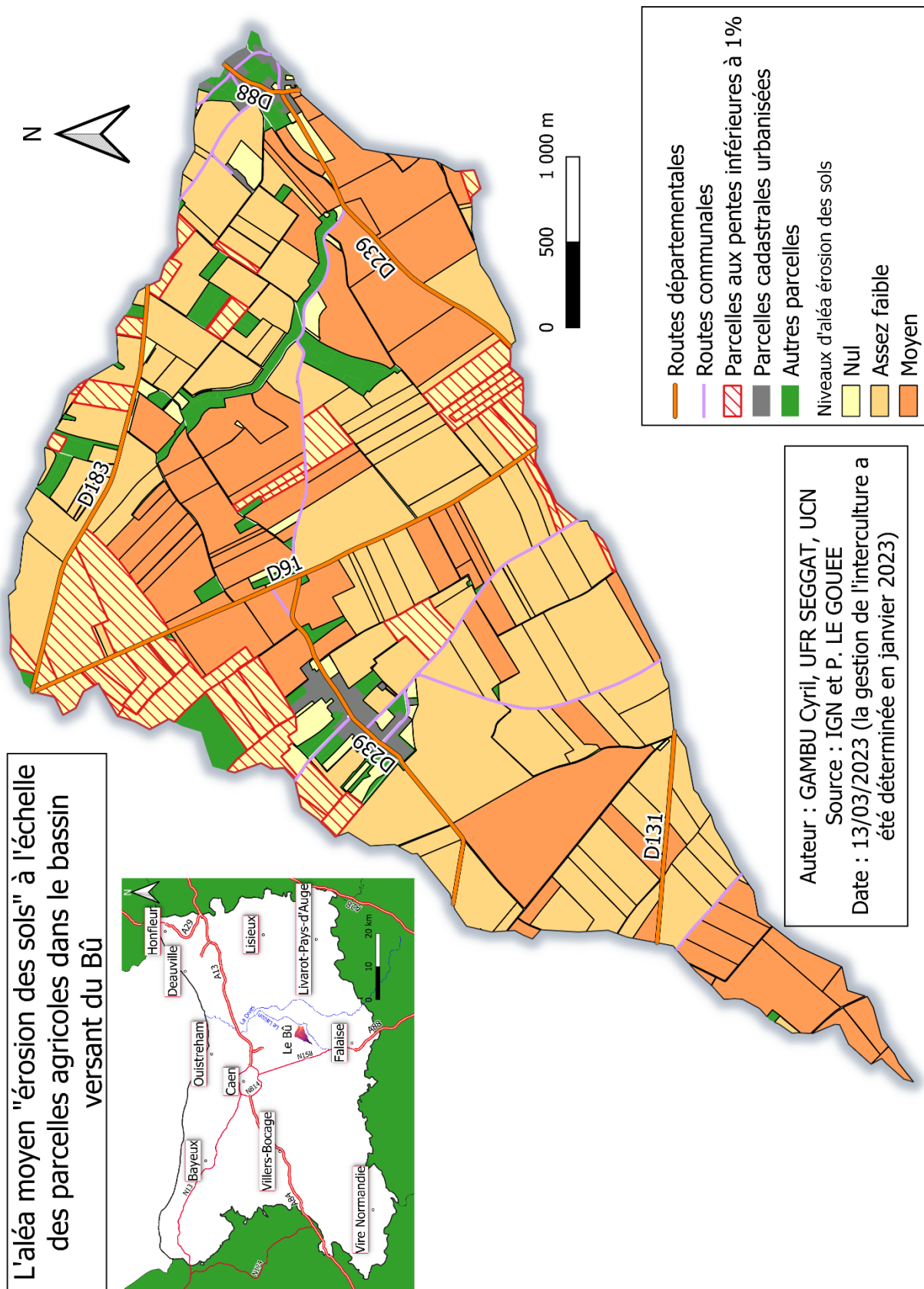


Figure 41 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant du Bû

3.3 Le Lingèvres

Ce bassin versant à la fois composé d'openfield au Nord et de bocage au Sud de la D13 est celui qui est le plus diversifié en termes de niveaux d'aléa moyen érosion des sols. Tout l'Ouest est marqué par un niveau d'érosion « fort » à cause de l'instabilité structurale et de l'érosivité pluviale.

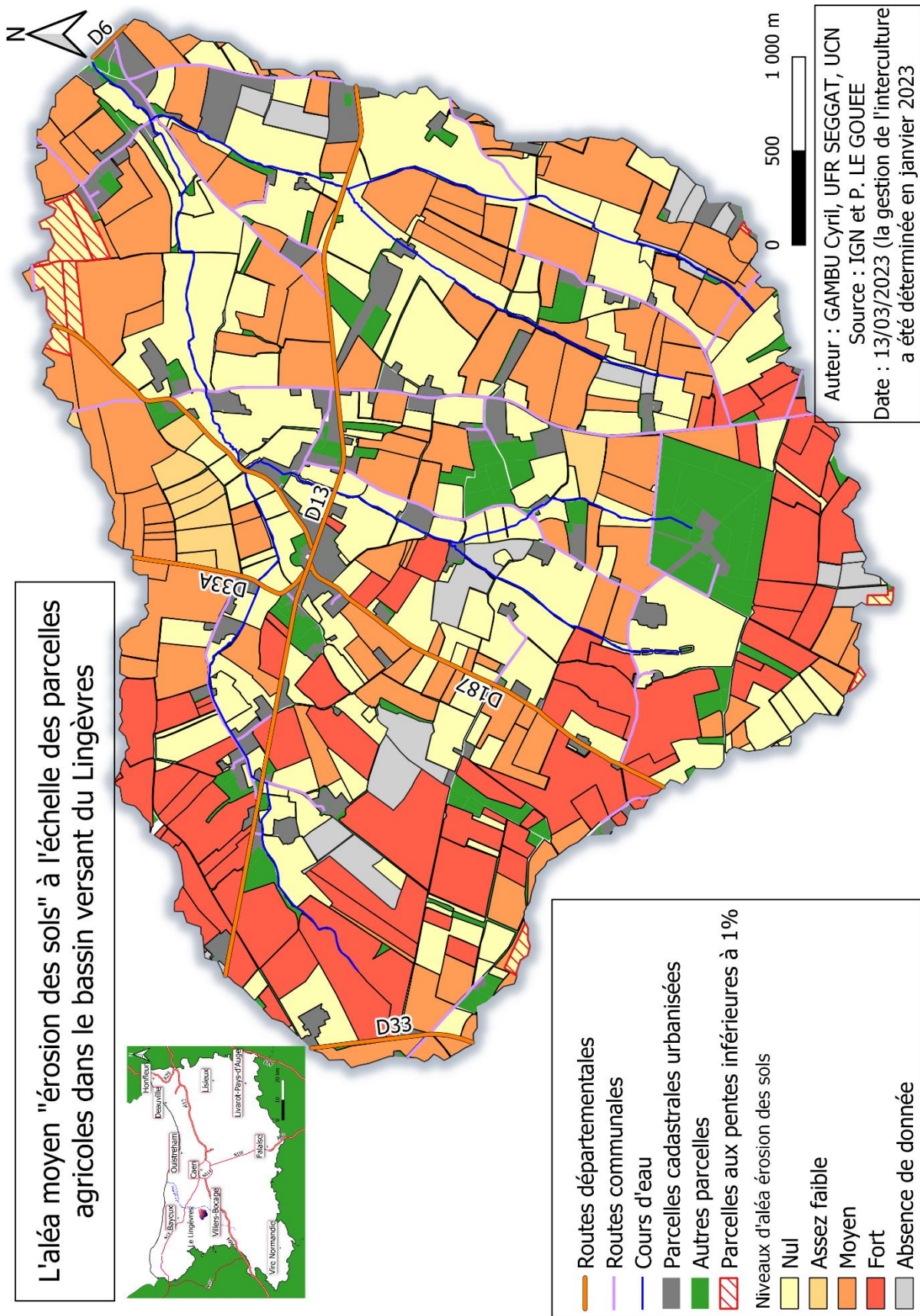


Figure 42 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant du Lingèvres

3.4 La Petite Seuline

Ce bassin versant possède beaucoup de prairies permanentes dans le fond des talwegs tandis que sur les versants, il y a beaucoup terres arables en pentes, cela explique en partie pourquoi le niveau d'aléa « moyen » est le plus dominant.

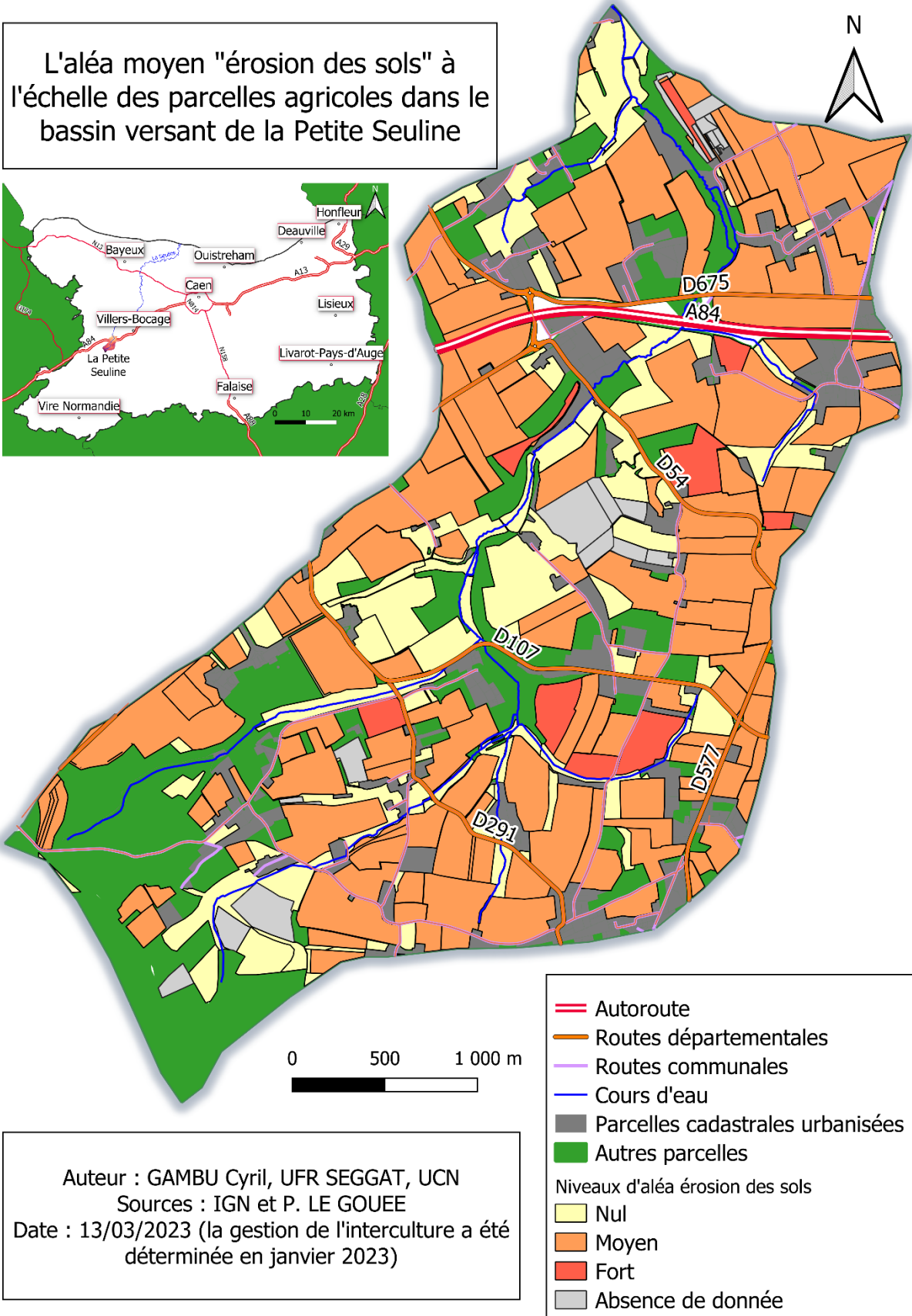


Figure 43 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant de la Petite Seuline

3.5 Le Tortillon

Ce bassin versant, à l'instar du bassin versant de la Petite Seuline, a aussi beaucoup de prairies permanentes dans le fond des talwegs tandis que sur les versants, il y a beaucoup terres arables en pentes. Le niveau d'aléa « moyen » est le plus dominant. Quelques parcelles ont un niveau d'érosion « fort » mais elles ne peuvent pas déverser de sédiments sur le réseau routier grâce à la topographie.

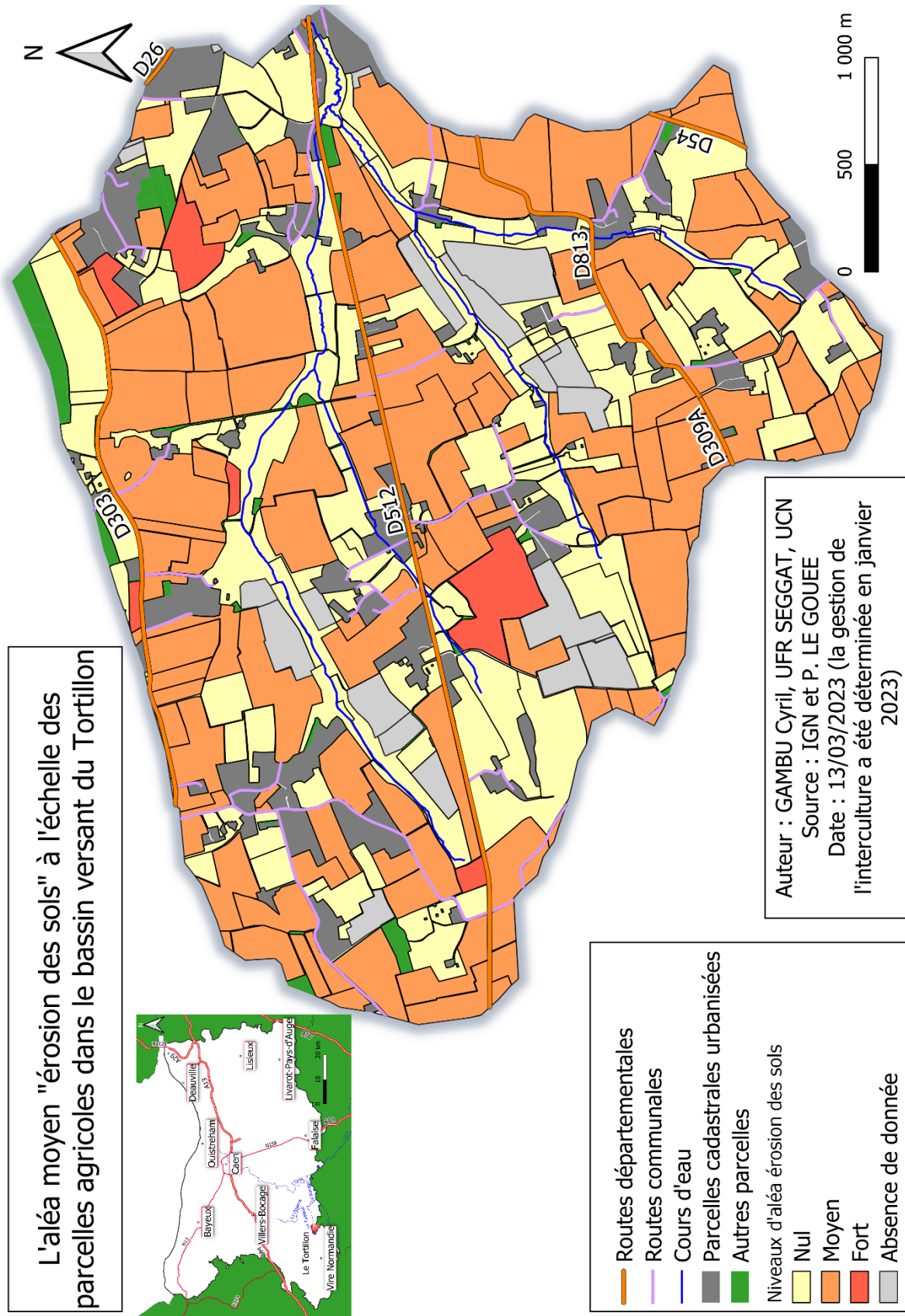
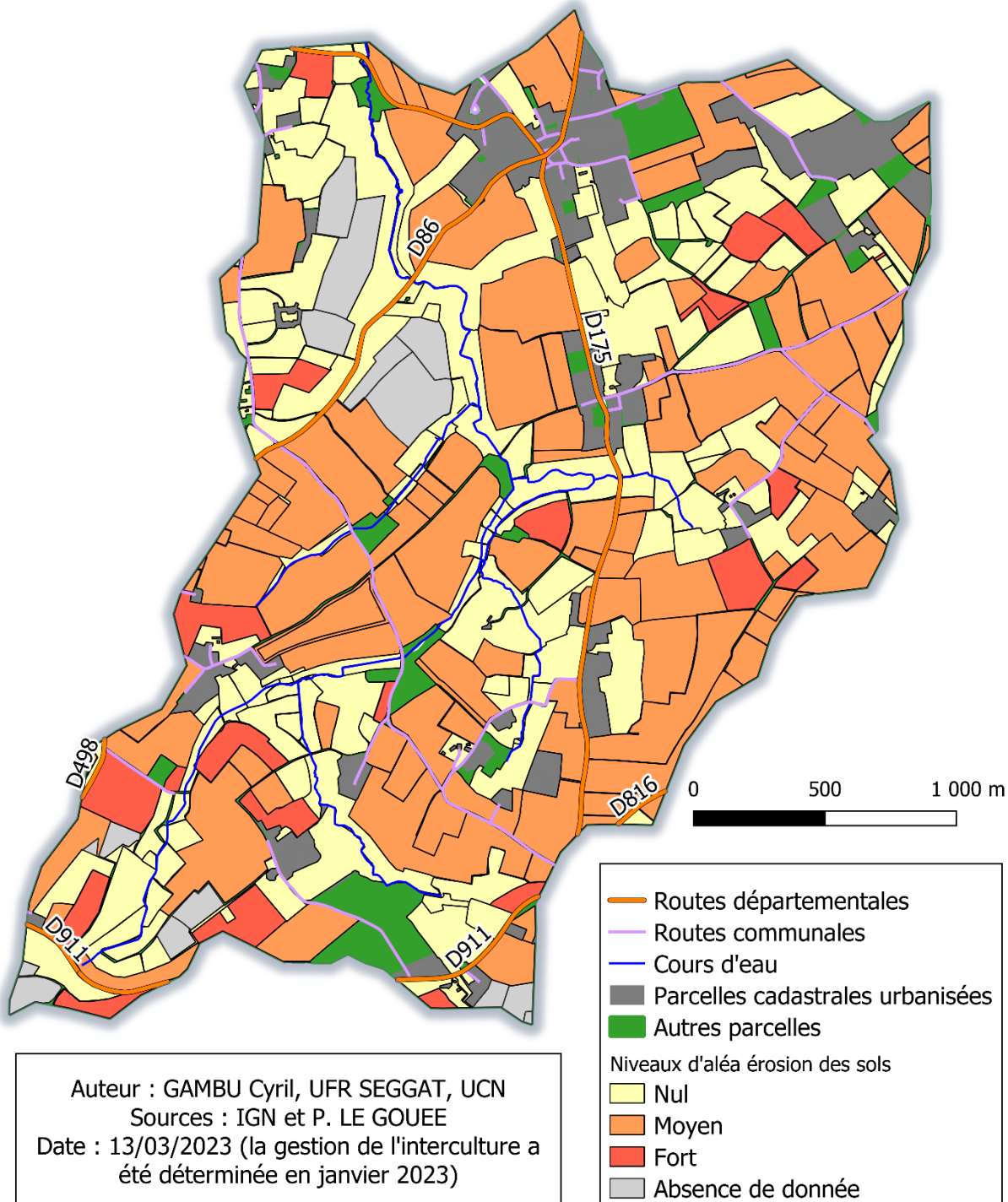


Figure 44 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant du Tortillon

3.6 La Vire amont

Ce dernier bassin versant le plus au Sud du département est semblable aux bassins versants précédents. Il est vrai que les prairies permanentes sont dans les fonds de talwegs tandis que les terres arables sont sur les versants. Cependant, certaines prairies permanentes se situent également sur les versants, notamment au Nord.

L'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant de la Vire amont, au Sud de Vire Normandie

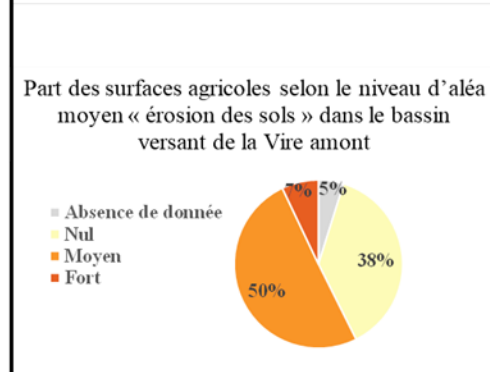
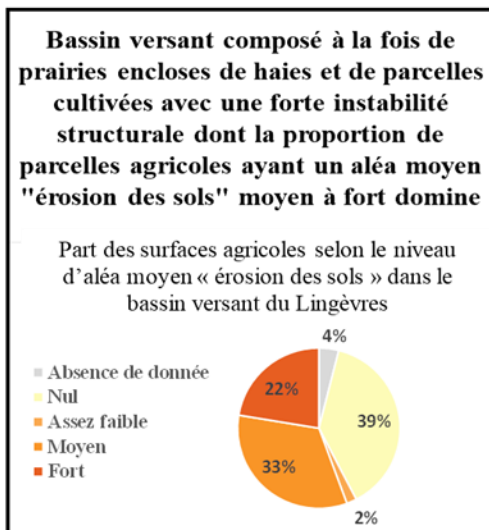
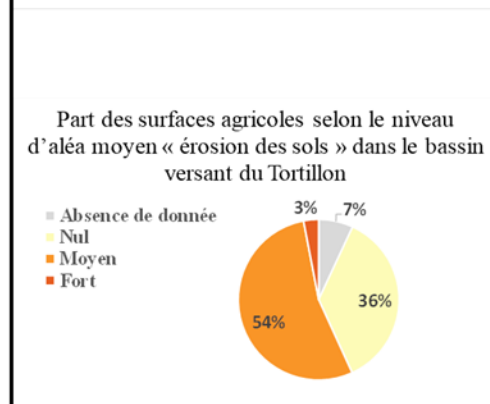
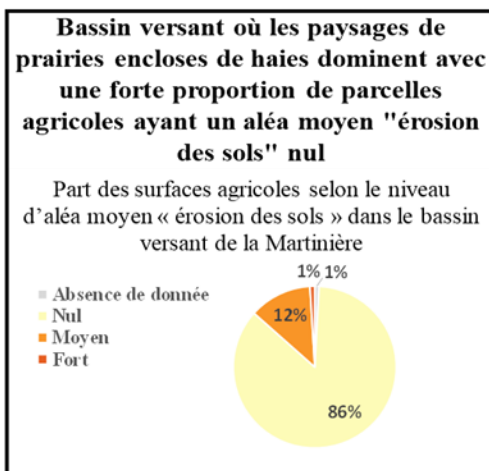
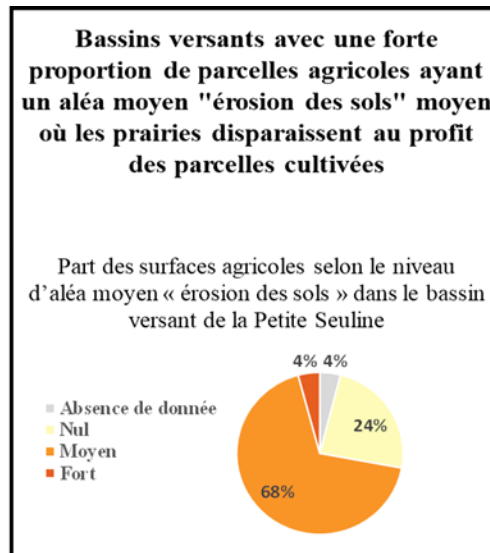
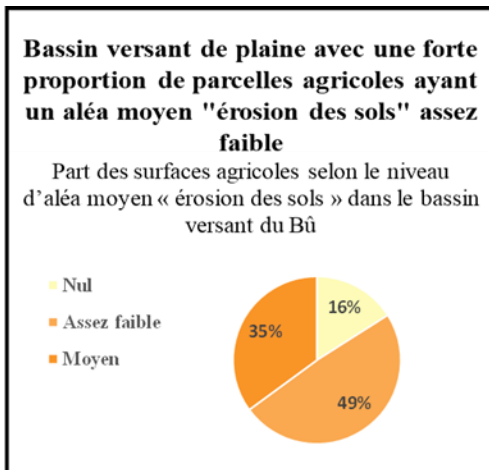


Auteur : GAMBU Cyril, UFR SEGGAT, UCN
 Sources : IGN et P. LE GOUEE
 Date : 13/03/2023 (la gestion de l'interculture a été déterminée en janvier 2023)

Figure 45 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant de la Vire amont

3.7 Comparaison entre les résultats des différents bassins versants selon leur localisation dans le Calvados

Le modèle SCALES fait ressortir quatre grands types de bassins versants, à savoir le bassin versant de plaine (le Bû), le bassin versant très bocager (la Martinière), le bassin versant mixte, entre bocage et openfield (le Lingèvres) et enfin les bassins versants où il existe encore beaucoup de haies mais dont les prairies laissent le plus la place aux parcelles agricoles cultivées, même où les pentes peuvent être importantes (la Petite Seuline, le Tortillon et la Vire amont). Dans le bocage normand où se situent ces trois derniers bassins versants, entre 1979 et 1988, 9 000 hectares de surfaces toujours en herbe ont disparu pour être remplacées par des terres labourables (D. DELAHAYE, 1992). Le mémoire réalisé par R. QUIGNEAUX en 2020 montre que ce processus est toujours en cours actuellement avec de moins en moins de haies, et de plus en plus de parcelles cultivées au détriment des prairies.



Auteur : GAMBU Cyril, UFR SEGGAT, UCN
 Sources : données SIG SCALES et P. LE GOUEE
 Date : 23/05/2023

Figure 46 : répartition des surfaces en fonction des niveaux d'aléa

Tout d'abord, le bassin versant le plus sensible à l'érosion est celui du Lingèvres, dans le Pré-bocage, qui offre à la fois un paysage de bocage (au Sud) et d'openfield (au Nord). 55 % de la surface totale des parcelles agricoles déclarées dans le RPG 2021 ont un aléa moyen érosion des sols supérieur ou égal au niveau « moyen », dont 22 % de la surface de ces parcelles ont un niveau « fort ».

Résultats de SCALES sur le bassin versant du Lingèvres		
Niveaux	Surfaces (en hectares)	Pourcentages
Absence de donnée	54	4
Nul	525	38
Assez faible	27	2
Moyen	454	33
Fort	306	22
TOTAL	1367	100

Figure 47 : rapport entre les surfaces agricoles et les niveaux d'aléa dans le bassin versant du Lingèvres (les valeurs ont été arrondies à l'unité après le traitement des données)

Viennent ensuite les bassins versants de la Vire amont, du Tortillon et de la Petite Seuline où le niveau d'aléa moyen érosion des sols est majoritairement « moyen ». Cela est dû aux parcelles cultivées qui couvrent la majeure partie de ces zones d'étude. Seules les prairies permanentes en fond de talwegs ont un niveau d'aléa moyen érosion des sols « nul ».

Résultats de SCALES sur les bassins versants						
Niveaux	La Vire amont		Le Tortillon		La Petite Seuline	
	Surfaces (en hectares)	Pourcentages	Surfaces (en hectares)	Pourcentages	Surfaces (en hectares)	Pourcentages
Absence de donnée	33	5	67	7	36	4
Nul	256	38	350	36	212	24
Moyen	341	50	520	54	603	68
Fort	48	7	29	3	37	4
TOTAL	677	100	966	100	889	100

Figure 48 : rapport entre les surfaces agricoles et les niveaux d'aléa dans les bassins versants de la Vire amont, du Tortillon et de la Petite Seuline (les valeurs ont été arrondies à l'unité après le traitement des données)

Ensuite, le bassin versant du Bû est pour moitié composé de parcelles ayant un niveau d'aléa moyen érosion des sols essentiellement assez faible.

Résultats de SCALES sur le bassin versant du Bû		
Niveaux	Surfaces (en hectares)	Pourcentages
Nul	185	16
Assez faible	566	49
Moyen	405	35
TOTAL	1156	100

Figure 49 : rapport entre les surfaces agricoles et les niveaux d'aléa dans le bassin versant du Bû (les valeurs ont été arrondies à l'unité après le traitement des données)

Enfin, dans le Pays d’Auge, à l’Est du Calvados, dans le bassin versant de la Martinière, la majorité des parcelles ont un niveau d’aléa moyen érosion des sols « nul » lié aux prairies permanentes, ce qui représente 556 des 649 hectares de parcelles agricoles déclarées dans le RPG 2021.

Résultats de SCALES sur le bassin versant de la Martinière		
Niveaux	Surfaces (en hectares)	Pourcentages
Absence de donnée	6	1
Nul	556	86
Moyen	81	12
Fort	6	1
TOTAL	649	100

Figure 50 : rapport entre les surfaces agricoles et les niveaux d'aléa dans le bassin versant de la Martinière (les valeurs ont été arrondies à l'unité après le traitement des données)

3.8 Les atouts et faiblesses du modèle

Seules 99 parcelles n’ont pas été classées sur les 1 807. Elles figurent donc en gris sur les cartes et correspondent à une « absence de donnée ». Cela représente 195 hectares sur les 5 703 hectares, soit 3 % de la surface des parcelles agricoles déclarées par les agriculteurs dans les six bassins versants. Cependant, ces parcelles sont souvent plus proches du cours d’eau que du réseau routier et ne posent donc aucun problème dans la réalisation de ce mémoire.

Contrairement au modèle de la CATER, il ne prend pas en compte la densité des haies bocagères ou la connexion des parcelles au réseau hydrographique. Cependant, ces indicateurs ne sont pas négligés dans ce mémoire. Il y a ensuite un travail conséquent sur le terrain pour faire le lien entre les impluviums sur les parcelles et la connexion au réseau hydrographique via le réseau routier. Ce modèle ne prend pas non plus en compte la surface des impluviums. Cela pose peu de problème dans les bassins versants se situant dans le bocage mais il pose plus problème dans les bassins versants où il y a de vastes openfields dont la pente converge vers le réseau routier. Dans ce mémoire, le choix a été fait de travailler d’abord à partir des parcelles qui ont une limite avec le réseau routier avant de remonter jusqu’aux extrémités de l’impluvium.

Ces cartes prennent en compte la gestion de l’interculture pour l’hiver 2022-2023 mais ne sont plus valables pour l’hiver suivant. A l’instar de ce qui avait été fait en 2007 par N. GAIN, il aurait fallu rencontrer les agriculteurs qui ont des parcelles dans les différents bassins versants afin de connaître leurs pratiques agricoles.

La carte « d’érosivité pluviale » mériterait d’être actualisée car l’intensité journalière des précipitations a pu évoluer depuis la période allant de 1991 à 2004.

Même si la carte des pentes a été réalisée par mes soins avec un MNT de 5 mètres pour résoudre un problème de lisibilité liée au géoréférencement et une évaluation plus précise de la pression érosive liée aux pentes, les cartes d'érosivité pluviales et d'instabilité structurales ont été utilisées telles qu'elles ont été réalisées en 2008 par P. LE GOUEE. Les mailles font 300 mètres de côté ce qui peut sur ou sous-estimer la pression érosive liée à ces données.

L'avantage de ce modèle pour ce mémoire de recherche est qu'il donne des informations à l'échelle de la parcelle, ce qui va être un atout pour les recherches. Il est utilisable à l'échelle annuelle mais il peut être appliqué aux échelles saisonnières et mensuelles.

Certaines données peuvent être facilement disponibles grâce aux travaux antérieurs comme la carte de « l'instabilité structurale » (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008). Cependant, d'autres données doivent être produites pour l'occasion car elles ont évolué comme les « pratiques agricoles » avec la « gestion des intercultures ». Il a fallu réaliser un travail de terrain pour voir quel est le type de couvert végétal. La « durée des intercultures » a nécessité une longue analyse de l'enchaînement des parcelles sur les cinq dernières années (2017, 2018, 2019, 2020 et 2021) grâce aux données RPG de l'IGN.

Contrairement aux autres modèles d'érosion qui existent, il n'y a pas que l'occupation du sol qui est prise en compte. En effet, le modèle se fonde sur les pratiques agricoles et associe à la fois le couvert végétal (la gestion des intercultures), mais aussi les rotations culturales sur les cinq dernières années (la durée de l'interculture).

Résumé

L'érosion hydrique des sols abîme les cultures dans les parcelles agricoles et génère des inondations et coulées boueuses en aval, où se situent le plus souvent les zones urbaines. Depuis la fin des années 1980, des recherches ont débuté afin de connaître ce phénomène et de réfléchir à des solutions pour limiter l'érosion et le ruissellement, malgré l'agrandissement des surfaces des parcelles agricoles, la diminution des surfaces de prairies et la suppression de nombreuses mares, talus et haies. De nombreux modèles permettent donc de diagnostiquer et de cartographier l'aléa érosion des sols à diverses échelles, d'un département à une parcelle agricole, en passant par un bassin versant.

Les différents acteurs du territoire se concertent dans le but d'aménager l'espace, non plus seulement comme ils le souhaitent, mais aussi en prenant en compte les dégâts potentiels ou avérés, dans le but que les conséquences de l'érosion hydrique des sols soit limitée. Ces aménagements servent soit à limiter l'érosion, ralentir le ruissellement, voire le stopper, ou le drainer via un fossé en direction d'une mare ou un bassin de rétention. Des modèles d'érosion sont développés pour identifier des zones, voire même des parcelles sensibles dans le but de cibler au mieux les espaces qui posent problème.

L'érosion hydrique des sols est difficile à appréhender étant donné que la géomorphologie, le climat et les précipitations sont des facteurs qui varient dans l'espace, que ce soit à l'échelle de la France, ou bien du département du Calvados.

Parmi les six bassins versants, 4 groupes se distinguent, à savoir le bassin versant du Bû qui a un aléa moyen érosion des sols globalement « assez faible », le bassin versant de la Martinière où l'aléa moyen érosion des sols est majoritairement « nul », le bassin versant du Lingèvres où l'aléa moyen érosion des sols est « moyen » voire « fort ». Enfin, les bassins versants où les prairies disparaissent au profit des parcelles cultivées, à savoir la Petite Seuline, le Tortillon et la Vire amont sont dominés par un aléa moyen érosion des sols « moyen ».

Malgré les limites liées à l'utilisation du modèle SCALES, ce modèle offre de nombreux atouts pour cartographier l'aléa moyen érosion des sols à l'échelle des parcelles des six bassins versants.

Les routes et dépendances des zones hors agglomération sont bordées par des parcelles agricoles qui sont, d'une part victimes de l'érosion hydrique et d'autre part un point de départ des dynamiques hydro-sédimentaires. L'intérêt d'appliquer un modèle d'érosion des sols permet de cibler les parcelles où le risque d'érosion est le plus élevé, pour ensuite mettre en relation ces parcelles sensibles à l'érosion avec des transferts hydro-sédimentaires sur le réseau routier. Pour cela, il convient de déterminer les impluviums qui interfèrent avec le réseau routier.

Partie 3 : Connectivité hydrologique et rôle du réseau routier dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires

Introduction

Dans ce mémoire, la détermination de la connectivité hydrologique des parcelles est purement structurelle et non fonctionnelle. Cette dernière est traitée dans le second axe du projet DARTHYS. Ainsi, cette partie va déterminer les surfaces qui sont potentiellement connectées au cours d'eau en prenant notamment en compte la topographie et l'organisation de la structure paysagère.

« La connectivité peut se produire soit par le contact physique direct entre les espaces de production sédimentaire (zone émettrice) et les zones réceptrices, soit par l'intermédiaire d'un transfert de matériel entre les zones, ou les deux (Jain et Tandon, 2010 cité par Bracken et al., 2015). On distingue ainsi la connectivité structurelle (ou statique) de la connectivité fonctionnelle (ou dynamique). La connectivité structurelle est le fait de composants homogènes et continus dans un même milieu et dont le comportement face à un processus est considéré comme uniforme. La connectivité fonctionnelle ou dynamique s'intéresse au mouvement de flux et de matières (c'est-à-dire les variables dynamiques) entre et sur les liens qui unissent les éléments de la connectivité structurelle (Bracken et al., 2013 ; Wainwright et al., 2011). A l'inverse, le terme de déconnectivité met en évidence les effets de rupture de connectivité entre deux points. Ainsi, l'absence de relation entre les quantités de terres érodées aux échelles locales et les quantités exportées à l'exutoire peut s'expliquer par les discontinuités observées entre les espaces de ruissellement, les zones de transferts et les cours d'eau (Turnbull et al., 2010 ; Delmas et al., 2012) ». (R. REULIER et al., 2017 (Page 328)).

Dans ce mémoire, un impluvium est défini par la surface dont le ruissellement produit sur celle-ci peut potentiellement arriver sur le réseau routier.

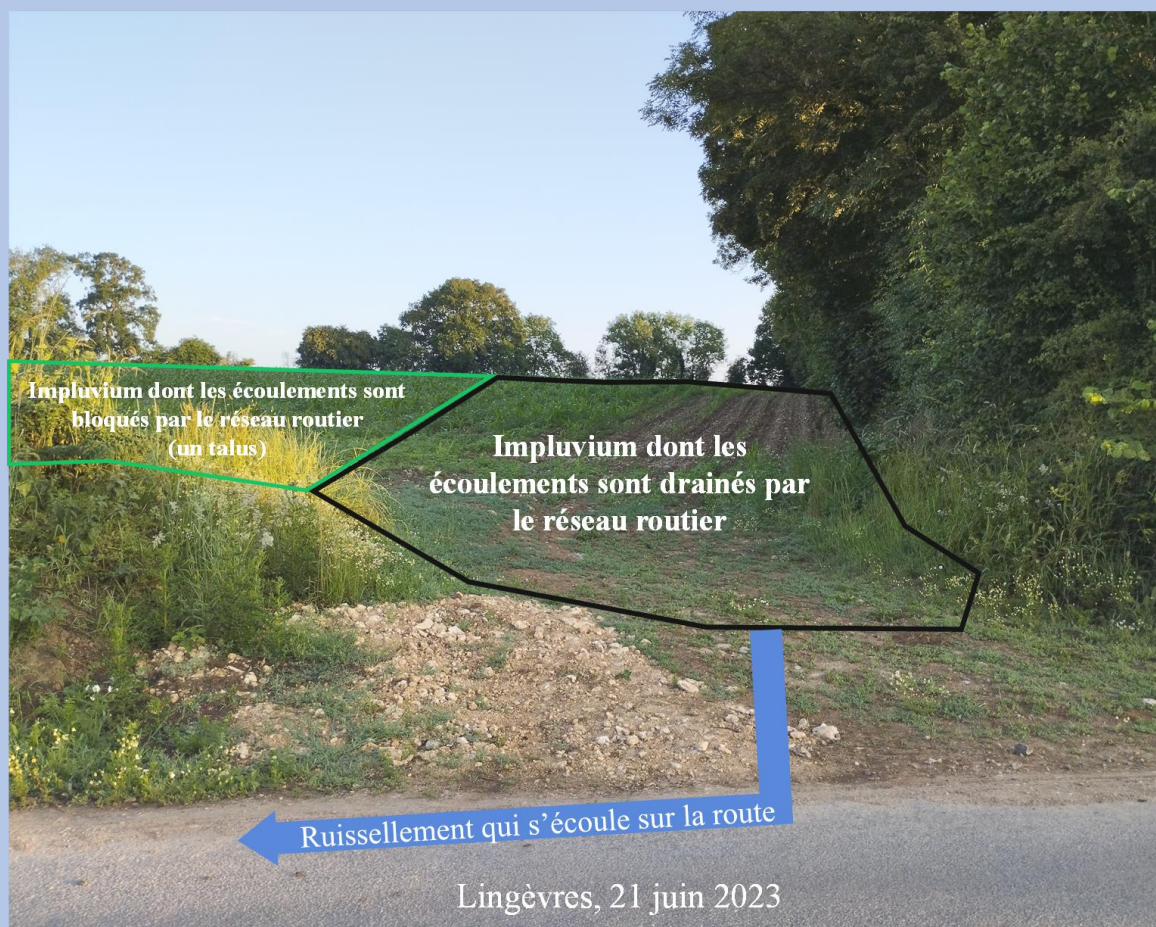


Figure 51 : Schéma illustrant deux types d'impluviums

Chapitre 1 : Méthodologie mise en place en alliant SIG et observations sur le terrain pour déterminer les impluviums

1.1 Méthodes jugées non satisfaisantes pour déterminer les impluviums

Pour limiter les coûts liés aux nombreux déplacements pour réaliser ce mémoire, la solution était de déterminer les impluviums les plus proches du réseau routier à l'aide des courbes de niveau issues d'un modèle numérique de terrain avec une résolution de 1 mètre, le fichier de forme localisant les haies extrait de la BD TOPO de l'IGN mais aussi d'une image aérienne, le tout grâce aux outils d'un système d'information géographique. Cela aurait permis de visualiser les parcelles, mais également le sens de la pente.

Un premier problème qui s'est rapidement posé était l'absence de données sur l'organisation paysagère des différents bassins versants. En effet, entre l'image aérienne de ESRI et la localisation des haies proposée par l'IGN, il y avait de nombreuses incohérences. Parfois il y avait une haie et le fichier issu de l'IGN n'en indiquait pas. Cette différence change considérablement la surface de l'impluvium qui peut potentiellement arriver sur le réseau routier. L'autre problème majeur était l'absence de haie dans la réalité grâce à des souvenirs d'une sortie de terrain antérieure mais l'IGN en localisait une au milieu de certaines parcelles agricoles. Il a donc fallu très vite abandonner l'usage du fichier de forme de l'IGN localisant les haies.

Quant à l'usage de la photo interprétation, cette méthode peut donner de nombreuses informations. Cependant, il peut y avoir une incision dans une haie ou la présence d'un fossé. La photo-interprétation ne permet pas d'en rendre compte mais cela n'est pas négligeable dans le parcours du ruissellement (V. VIEL, 2012).

Un autre problème, sûrement le plus important, résidait dans l'usage d'un MNT avec une résolution de 1 mètre. C'est pourtant celui qui est proposé par l'IGN et qui est le plus précis. Cependant, il n'indique pas la présence de talus ni de fossés qui entourent les parcelles dans les paysages de bocage. Ainsi, les impluviums déterminés exclusivement en travaillant avec un SIG a tendance à surestimer la surface des impluviums.

L'usage des MNT dans la détermination des impluviums ne rend pas compte du lieu où il accède au réseau routier. La présence éventuelle de fossés, de talus au bord des routes, mais aussi de chemins creux ou surélevés, sans parler du type de route, modifient significativement la trajectoire du ruissellement (G.D. DUKE et al., 2003).

Certaines entrées de champs sont creusées lorsque la parcelle surplombe la route. Elles forment un impluvium en pente forte d'une trentaine de km² dont le MNT le représente à peine, et encore moins lorsqu'il est représenté en isolignes.

Enfin, pour représenter le plus fidèlement la réalité du terrain, l'outil Google Street View de Google Earth a été testé. Cependant, certaines routes ne sont pas photographiées, les parcelles entourées de talus et de haies ne sont pas visibles, surtout quand la photographie n'a pas été prise en face de l'entrée de champ. Les parcelles qui sont à deux ou trois mètres en remblai par rapport à la route ne sont pas visibles donc il est difficile de juger la présence d'un impluvium allant vers le réseau routier. L'usage de cet outil nécessite également une très bonne connexion à internet pour limiter le temps de chargement de chaque vue.

1.2 La détermination des impluviums

Etant donné toutes ces limites envers l'usage exclusif des SIG pour déterminer des impluviums, il a été préférable de se rendre sur le terrain en se déplaçant à pied sur chacune des routes des bassins versant étudiés, sauf pour le bassin versant du Tortillon qui n'a pas été parcouru et dont les impluviums ne seront pas représentés. Il a fallu une journée de marche par bassin versant, ce qui a représenté au total près de 120 kilomètres. En parallèle, les entrées de champs ont été localisées et les questionnaires ont été adressés aux quelques usagers rencontrés.

Pour représenter les impluviums, le travail de terrain était donc la meilleure solution envisageable. A partir des parcelles du RPG 2021 qui ont une limite avec une route, les impluviums dont la route ou ses dépendances joue un rôle dans le parcours du ruissellement ont été dessinés. Les chemins ont été pris en compte car les matériaux qui se trouvent sur ces chemins arrivent sur le réseau routier et certains transportent aussi les sédiments des parcelles érodées.



Figure 52 : ruissellement qui sort d'un chemin et qui suit le réseau routier (C. GAMBU, 2023)

Pour chaque bassin versant, une image aérienne sur laquelle était superposée les courbes de niveau issues du MNT avec une résolution de 1 mètre accompagnait les sorties de terrain. La cartographie des impluviums prend donc en compte ces courbes de niveau, mais aussi tous les éléments présents sur le terrain, à savoir les entrées de champs, les haies, les fossés, les talus, les murs et les chemins. Le couvert végétal n'a pas été pris en compte. Ce sont donc tous les impluviums dont le réseau routier à une influence qui ont été recensés. Seuls les impluviums sur les parcelles planes n'ont pas été cartographiés car il est difficile de savoir où se situe exactement l'exutoire et les limites réelles de celui-ci.

Cette étape de détermination des impluviums était la plus difficile à réaliser. D'une part la faible présence d'usagers du réseau routier qui ne permettait pas de recueillir des témoignages en tous points des bassins versants sur ce qu'ils ont déjà vu en termes de ruissellement. D'autre part la difficulté de se rendre compte de ce qui peut se produire sans jamais voir de traces de ruissellement ou de dépôts de sédiments au bord des routes, étant donné les faibles précipitations durant l'hiver 2022-2023.

1.3 Désignation des surfaces drainées et l'avis des gestionnaires et des usagers du réseau routier à propos des résultats du modèle SCALES

Dans les bassins versants où les paysages de bocage dominant, les impluviums sont petits et sont très peu allongés. Quelques rares impluviums atteignent 500 mètres de long alors que dans le bassin versant du Bû, plusieurs impluviums dépassent le kilomètre entre l'amont et l'exutoire. La surface moyenne des impluviums pour les bassins versants du Lingèvres, de la Petite Seuline, de la Martinière et de la Vire amont est de 1,3 hectare tandis qu'elle est de 15 hectares pour le bassin versant du Bû. Cette différence entre le bassin versant au paysage de plaine céréalière et les autres s'explique par une forte densité de haies bocagères. Bien que les sols soient plus profonds dans le bassin versant du Bû, les parcelles cultivées semblent plus vulnérables à l'érosion et à la formation de ravines que dans les bassins versants bocagers. A cela s'ajoute la topographie. Les grands impluviums peuvent facilement avoir des dénivelés importants, favoriser rapidement des écoulements, et donc de l'érosion.

1.3.1 La Martinière

Il y a quelques parcelles cultivées qui se situent en amont du bassin versant et qui ont un niveau « moyen » d'érosion des sols, où le relief est peu marqué. Certaines de ces parcelles se situent au bord des routes mais d'après le maire de la commune de Le Mesnil-Eudes, le réseau routier communal n'intervient pas dans le transfert hydro-sédimentaire du bassin versant. En revanche, d'après l'agence routière départementale de Saint-Pierre-sur-Dives, le réseau routier départemental joue un rôle dans le transfert de sédiments entre les parcelles cultivées le long de la D136 et la rivière de la Martinière. Le ruissellement qui se forme dans les parcelles se dirige dans les fossés au bord de cette route avant de rejoindre directement le cours d'eau, peu avant l'intersection avec la D136A. Les parcelles en question ont un niveau d'aléa « moyen ».

Néanmoins, d'après deux habitants rencontrés le long de la D182, bien qu'il y ait la présence de haies de bord de route et de prairies, de l'eau sort de deux parcelles différentes puis emprunte le réseau routier sur plusieurs dizaines de mètres avant de rejoindre deux affluents de la Martinière. Ce n'est donc pas parce que le niveau de l'aléa moyen érosion des sols est « nul » qu'il n'y a jamais de ruissellement.

La surface des impluviums est assez faible mais ce ne sont pas les plus grands qui posent problème aux gestionnaires du réseau routier.

Ce bassin versant est celui qui a la plus forte densité de drainage (1,4 km par km²) et la plus faible densité du réseau routier (1,8 km par km²). Ainsi, la majeure partie des parcelles du bassin versant sont drainées par le réseau hydrographique et non par le réseau routier donc il y a peu d'impluviums qui amènent des écoulements vers le réseau routier.

Rapport entre l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles et le ruissellement vers le réseau routier dans le bassin versant de la Martinière

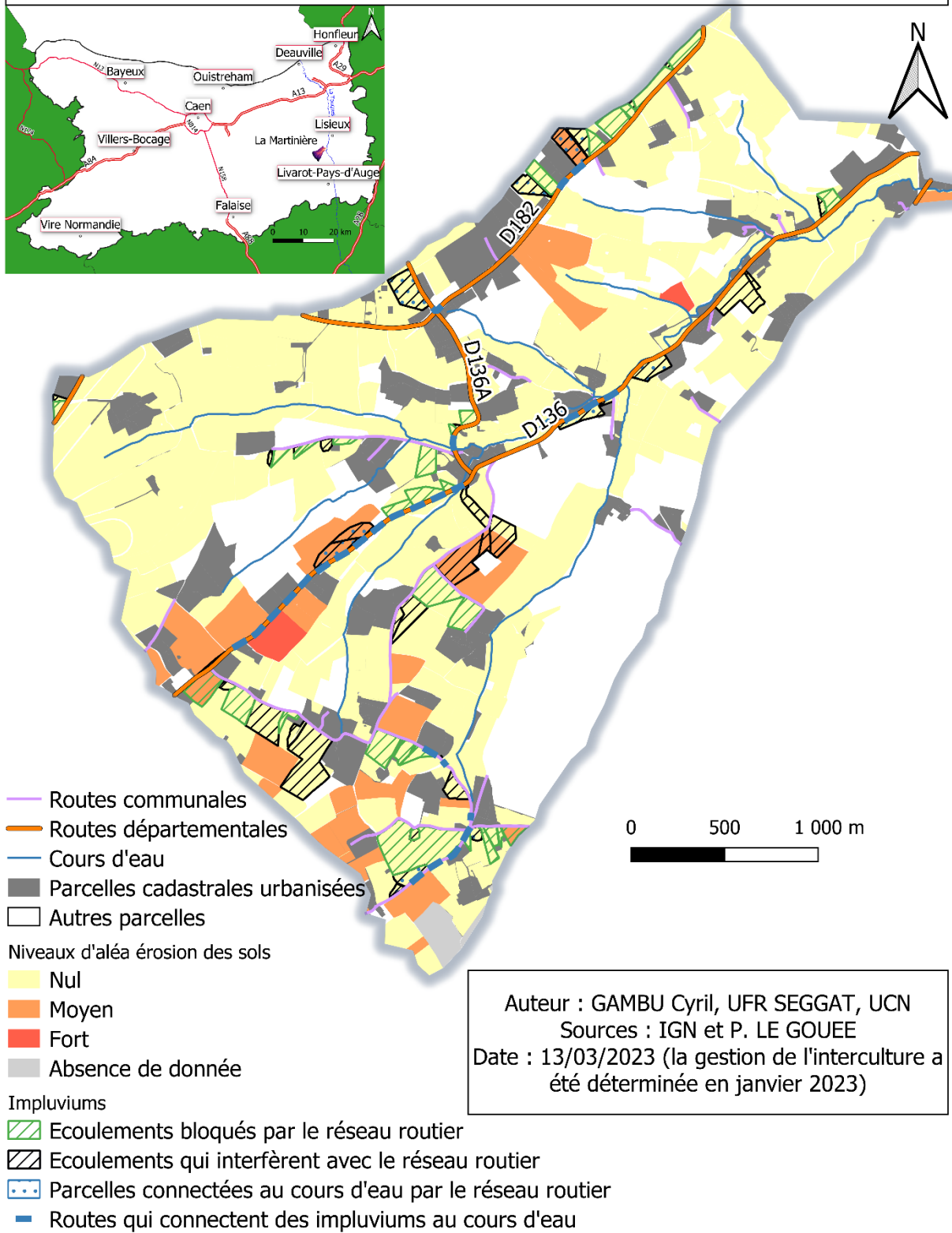


Figure 53 : carte illustrant le rapport entre érosion des sols et le potentiel d'écoulement confronté au réseau routier dans le bassin versant de la Martinière

1.3.2 Le Bû

Comme ce qui a été évoqué dans un chapitre précédent, les parcelles les plus sensibles à l'érosion constituent trois grands espaces.

Il y a tout d'abord l'amont du bassin versant jusqu'à la route communale la plus au Sud. Cette route est insérée dans la topographie donc elle n'a pas d'influence dans le transfert de sédiment. Tous ces impluviums viennent heurter la D131 qui est une route surélevée et qui retient les sédiments.

Il y a ensuite l'Est de Le Bû-sur-Rouvres où les parcelles sont soit assez planes ou soit que l'eau ne peut pas s'introduire sur le réseau routier. Seules les parcelles les plus proches des habitations de Le Bû-sur-Rouvres amènent des sédiments sur le réseau routier qui ensuite convergent vers le centre bourg.

Enfin, il y a toute la partie aval du bassin versant, où les pentes sont les plus fortes, à l'Est du bassin versant. C'est dans cette dernière zone que le réseau routier transporte le plus d'écoulements et de sédiments vers le cours d'eau. Ces parcelles sensibles à l'érosion forment de grands impluviums où l'eau prend ensuite le réseau routier. En effet, la D239 à Condé-sur-Iffs est une route en creux qui dirige et concentre le ruissellement issu de ces parcelles vers le Laizon.

Cependant, le modèle SCALES ne propose pas un niveau d'aléa plus élevé que « assez faible » pour les parcelles au Sud-Ouest de la commune de Le Bû-sur-Rouvres. Pourtant, ces impluviums sont très étirés et représentent plusieurs hectares. En 2020, suite à de fortes précipitations, le centre du village a été inondé. L'eau était chargée de sédiments en provenance de ces parcelles agricoles et a transité grâce aux routes départementales et communales.

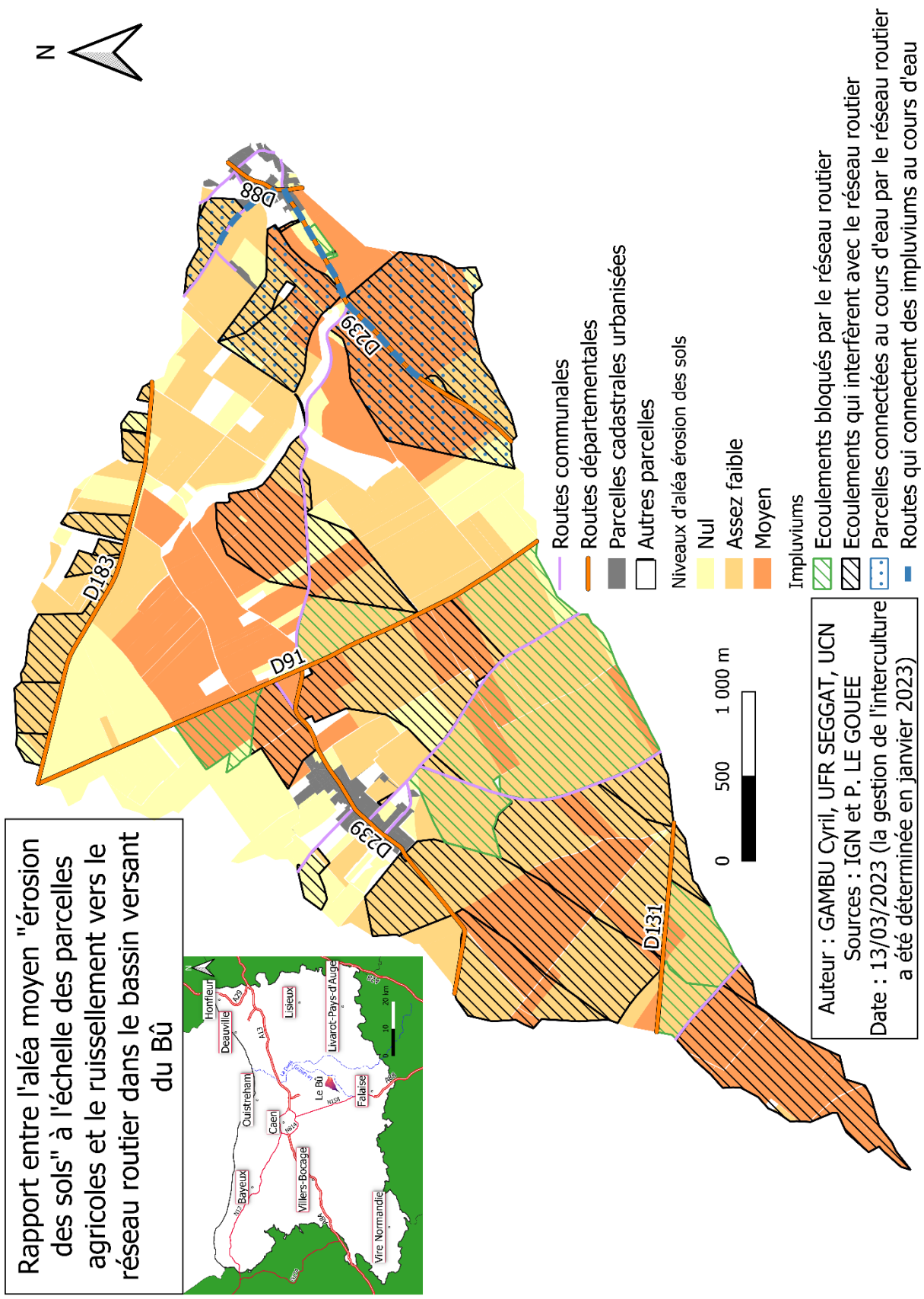


Figure 54 : carte illustrant le rapport entre érosion des sols et le potentiel d'écoulement confronté au réseau routier dans le bassin versant du Bû

1.3.3 Le Lingèvres

Quelques parcelles à l'Ouest du bassin versant sont fortement sensibles à l'érosion et génèrent du ruissellement sur les routes, mais la plupart sont enclavées par des talus ou des haies, et sont parfois plus proches d'une rivière que d'une route.

D'après l'agent communal de la commune de Lingèvres et une agricultrice rencontrée sur place, le ruissellement provenant de parcelles agricoles se produit surtout sur la route communale qui relie la D13 à la D33A et qui est longée par un ruisseau. De plus, ces parcelles ont un niveau d'aléa érosion des sols « fort ».

Grâce au Mémoire de Master 1 de R. REULIER (2010), des photographies témoignent des transferts hydro-sédimentaires effectués entre les parcelles cultivées qui se situent à l'extrême Nord du bassin versant, près de la D187 et de la route communale orientée Nord-Sud. Cette route communale achemine ce ruissellement chargé de sédiments directement au cours d'eau, 600 mètres plus au Sud. Ces parcelles ont un niveau d'aléa moyen érosion des sols « moyen ». De plus, l'impluvium est le plus grand du bassin versant.

Enfin, pour éviter que la route et des habitations soient inondées, des fossés sont curés ou sont créés pour que le bord de route prenne en charge cette eau et ces sédiments. C'est ce qu'il s'est passé récemment près de la limite du bassin versant, au Sud-Ouest, le long de la D187. D'ailleurs, ces parcelles ont un niveau d'aléa moyen érosion des sols « fort ». D'ailleurs, la majorité du réseau routier dans ce bassin versant est équipé de fossés. Ce bassin versant a la densité de drainage du réseau hydrographique la plus faible (0,9 km par km²) tandis que la densité du réseau routier est similaire aux autres bassins versants (1,9 km par km²). C'est pourtant dans ce bassin versant où il y a le plus d'impluviums (92). C'est donc dans le bassin versant du Lingèvres où il semble y avoir une complémentarité entre le réseau routier et le réseau hydrographique. Cependant, il faut rappeler que ce bassin versant est le plus grand (16,5 km) et le réseau routier est l'un des plus long parmi les 6 bassins versants (32 km). Il est aussi à la fois composé de grandes parcelles agricoles au Nord et de parcelles encloses de haies et de talus au Sud.

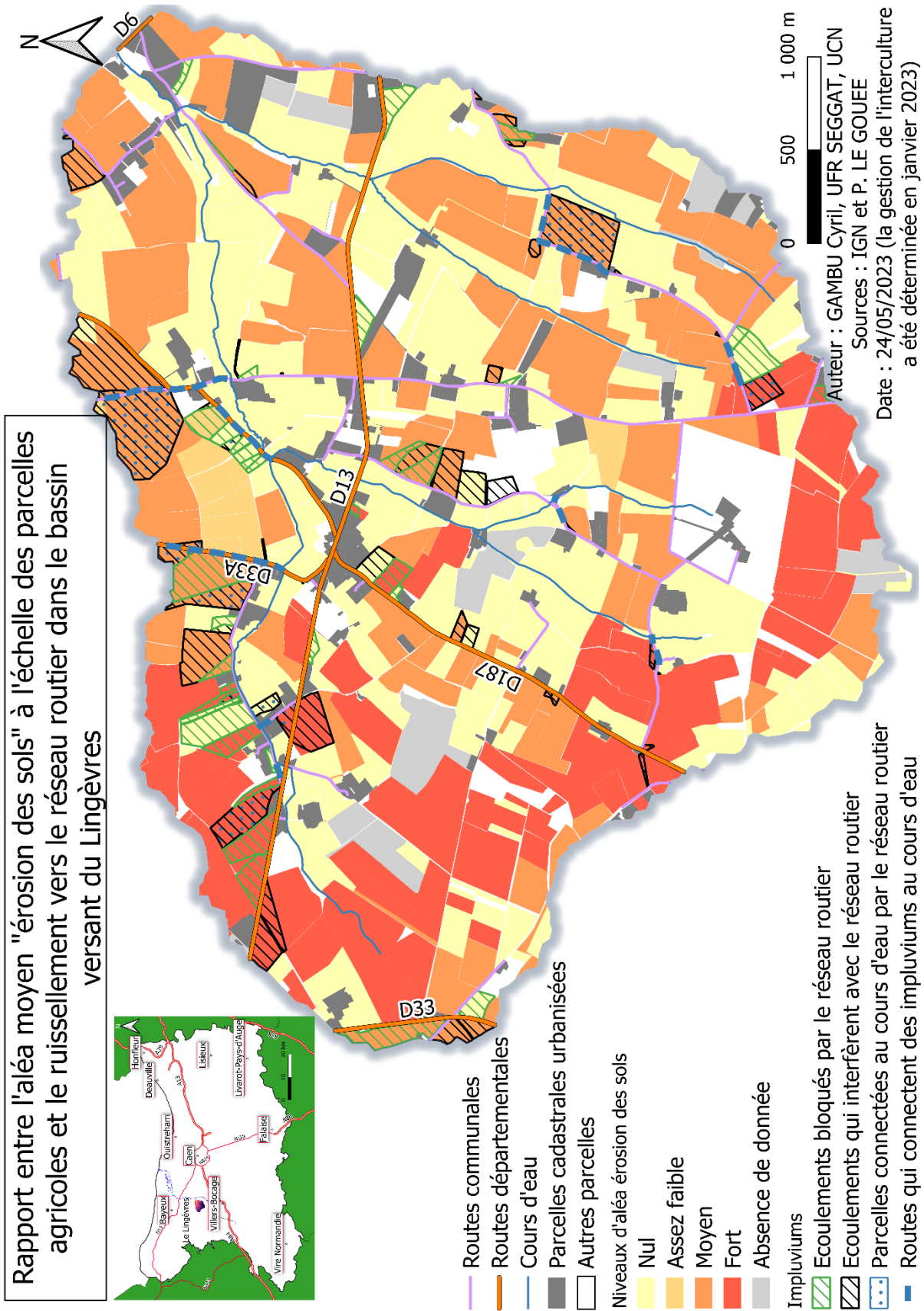


Figure 55 : carte illustrant le rapport entre érosion des sols et le potentiel d'écoulement confronté au réseau routier dans le bassin versant du Lingèvres

Cartographie des connectivités observées au cours de différents épisodes ruisselants

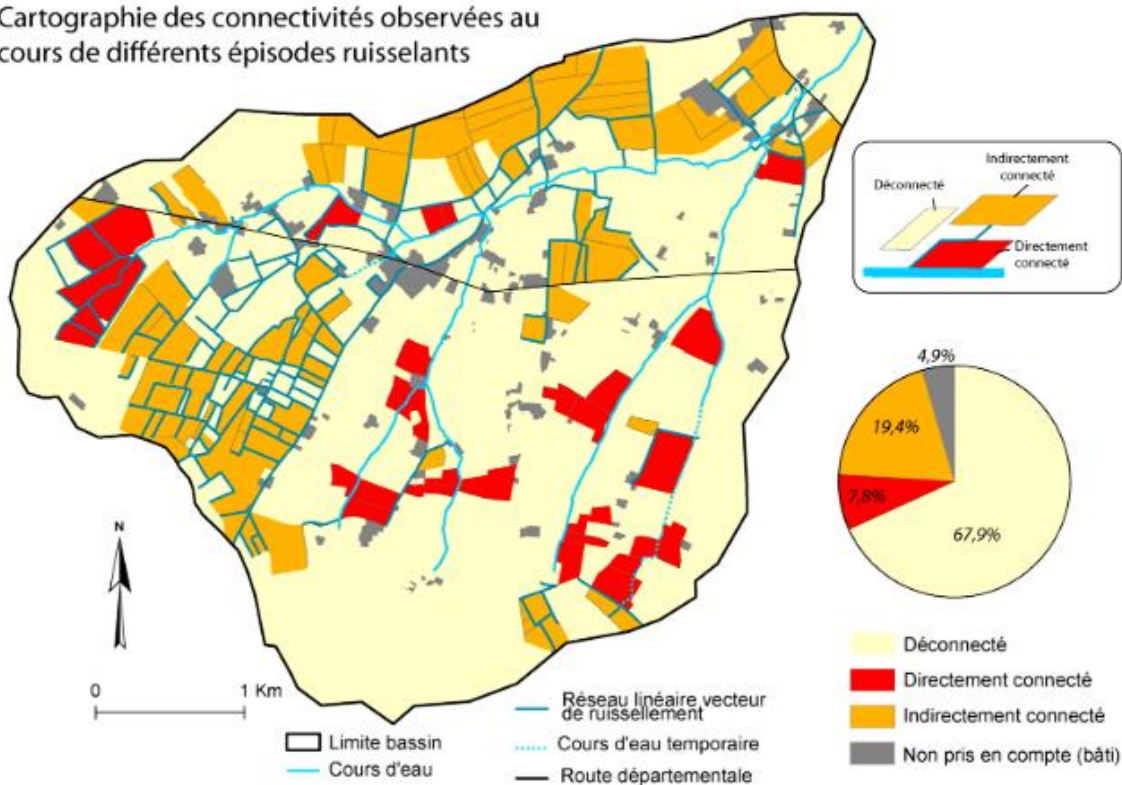


Figure 56 : Carte des connectivités observées au cours de différents épisodes ruisselants (R. REULIER, 2015 (page 98))

D'après une carte qui illustre la connectivité structurelle observée des parcelles agricoles avec le réseau hydrographique, de nombreuses parcelles qui ont un niveau d'aléa moyen érosion des sols « moyen » ou « fort » sont connectées directement ou indirectement au cours d'eau d'après R. REULIER. Parmi les parcelles qui sont connectées, 20 empruntent le réseau routier avant d'arriver au cours d'eau d'après les parcelles du RPG 2021. 6 d'entre elles ont un aléa moyen érosion des sols de niveau « fort » et les autres ont un niveau « moyen » (12 parcelles) « assez faible » (1 parcelle) ou « nul » (1 parcelle).

Le Sud-Ouest du bassin versant peut perdre localement jusqu'à 9,5 tonnes de sédiments par km² en 2013 lors de fortes précipitations atteignant un pic de 1,6 mm de pluie en 10 minutes (R. REULIER, 2015)⁵. Ainsi, dans le bassin versant du Lingèvres, les résultats de SCALES semblent cohérents avec la réalité du terrain. En effet, les nombreuses études hydro-sédimentaires réalisées sur ce bassin versant montrent une corrélation entre les résultats de la sensibilité des parcelles à l'érosion et les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires. Ainsi, plus l'aléa moyen érosion des sols est fort, notamment à l'Ouest du bassin versant, plus il y a de sédiments en suspension dans les cours d'eau, peut-être la manière dont ils arrivent dans le cours d'eau.

⁵ Voir annexe page 158.

1.3.4 La Petite Seuline

Quelques routes jouent un rôle dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires car la plupart sont des routes en creux. Cependant, que ce soit pour les routes communales ou départementales, les gestionnaires n'ont pas besoin d'intervenir régulièrement car le transfert de sédiments est faible malgré la forte présence de parcelles ayant un aléa moyen érosion des sols « moyen ». Le bassin versant de la Petite Seuline est celui dont le réseau routier est le plus long (36,4 km) mais aussi celui où il y a le plus de tronçons routiers qui forment la plus longue extension au réseau hydrographique (11 tronçons pour 4,7 km de routes qui font le lien entre les impluviums et le cours d'eau).

Rapport entre l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles et le ruissellement vers le réseau routier dans le bassin versant de la Petite Seuline, au Sud-Ouest de Villers-Bocage

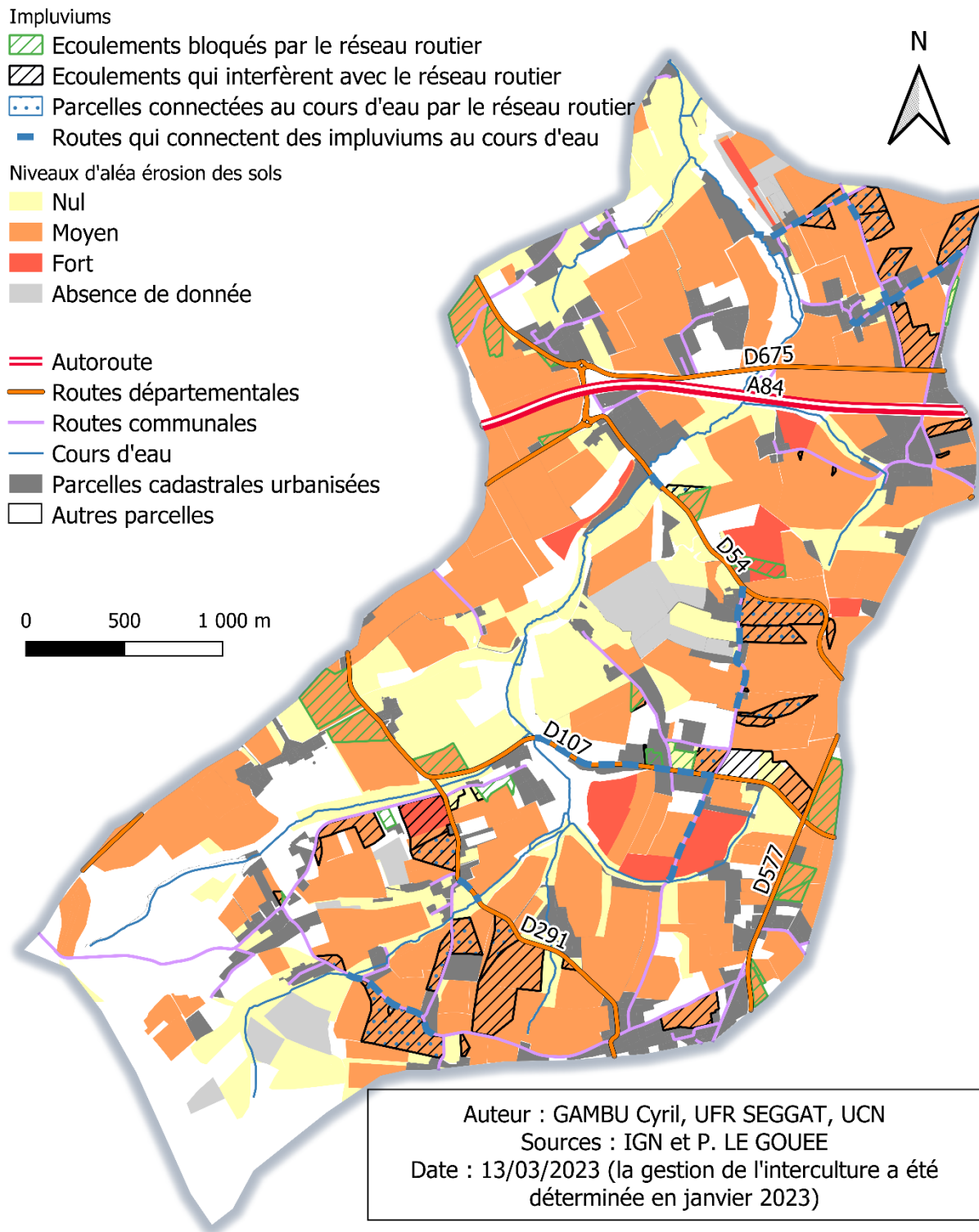


Figure 57 : carte illustrant le rapport entre érosion des sols et le potentiel d'écoulement confronté au réseau routier dans le bassin versant de la Petite Seuline

1.3.5 La Vire amont

Ce dernier bassin versant le plus au Sud du département est semblable aux bassins versants précédents. Il est vrai que les prairies permanentes sont dans les fonds de talwegs tandis que les terres arables sont sur les versants. Cependant, certaines prairies permanentes se situent également sur les versants, notamment au Nord. Les routes départementales font partie de celles qui posent le moins problème pour l'entretien par les gestionnaires du fait des nombreuses haies de bords de routes. Les impluviums sont très petits et peu nombreux. Néanmoins, le réseau routier est aussi une extension au réseau hydrographique à quelques endroits sur des distances qui atteignent par endroit 500 mètres.

Rapport entre l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles et le ruissellement vers le réseau routier dans le bassin versant de la Vire amont, au Sud de Vire Normandie

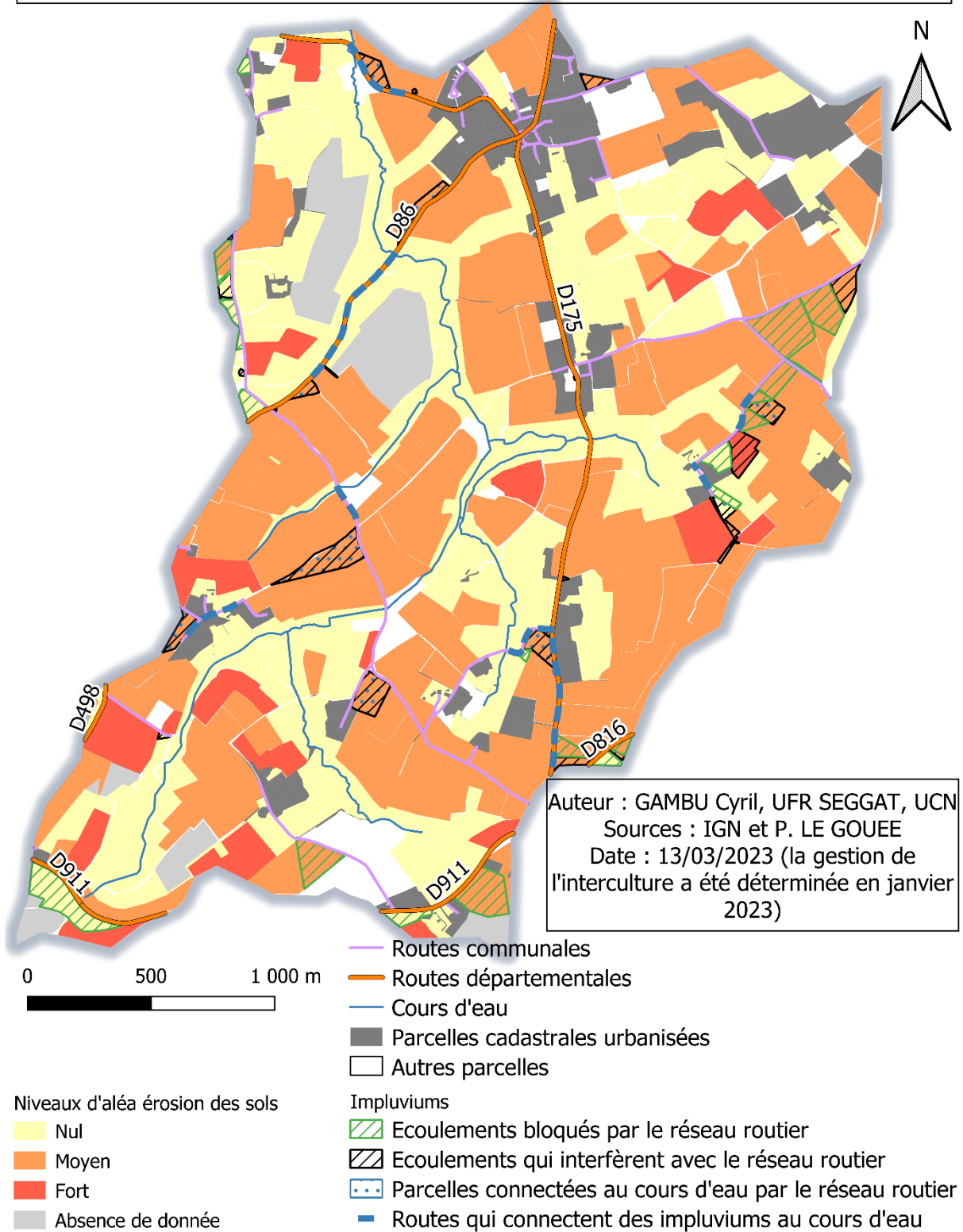


Figure 58 : carte illustrant le rapport entre érosion des sols et le potentiel d'écoulement confronté au réseau routier dans le bassin versant de la Vire amont

Chapitre 2 : Prise en compte des routes et bords de route dans la connectivité structurelle

Les impluviums sont de tailles différentes, mais ils sont évidemment beaucoup plus petits dans les bassins versants bocagers. Il s'agit maintenant de savoir comment sont pris en charge les sédiments en fonction du type de route.

2.1 L'influence du réseau routier sur les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires

Les impluviums étant déterminés, il faut ensuite savoir ce que devient l'eau ruisselée et les sédiments érodés.

Certains impluviums le long du réseau routier recouvrent de grandes surfaces, parfois même plusieurs parcelles. D'autres impluviums sont beaucoup plus petits, ils recouvrent une partie d'une parcelle agricole voir même beaucoup moins, à peine un hectare près d'une entrée de champ. Parfois, l'impluvium est connecté au réseau routier par un chemin. Enfin, lorsqu'un chemin est empierré, ou même tassé par le passage des engins agricoles, le ruissellement se forme rapidement et forme un impluvium. Des cailloux ou de la boue se retrouvent facilement en bas du chemin, à l'intersection avec la route, voire plus loin si la route prend en charge ces matériaux.

Excepté le bassin versant du Tortillon, ce sont 320 impluviums qui ont été identifiés, ce qui représente 1 086 hectares. En moyenne, les impluviums ont une superficie de 3 hectares. Cependant, certains peuvent être très petits, de l'ordre d'une trentaine de mètres carrés tandis que d'autres peuvent atteindre 89 hectares.

Parmi les bassins versants, celui qui compte le plus d'impluviums qui entrent en contact avec le réseau routier est le bassin versant du Lingèvres avec 92 impluviums mais les bassins versants de la Martinière et de la Petite Seuline en ont presque autant. Seuls les bassins versants de la Vire amont et du Bû en n'ont beaucoup moins car, soit le réseau hydrographique est très dense avec une multitude de fossés qui drainent les parcelles agricoles, soit que les impluviums sont vastes (jusqu'à 89 hectares).

Concernant les surfaces, tous les bassins versants aux paysages bocagers, montueux ou mixtes selon la cartographie de R. BRUNET (2001) ont entre 37 et 148 hectares d'impluviums tandis que le paysage de campagne découverts, à savoir le bassin versant du Bû compte plus de 700 hectares d'impluviums. Cela se traduit en comparant la surface moyenne des impluviums. Les bassins versants aux paysages bocagers, mixtes ou montueux (le Lingèvres, la Martinière, la Petite Seuline et la Vire amont) ont des impluviums dont la surface moyenne est comprise entre 0,8 et 1,8 hectares alors que cette surface moyenne est de 15 hectares pour le bassin versant du Bû. Cependant, les bassins versants du Lingèvres et de la Petite Seuline ont des impluviums pouvant atteindre plus de 10 hectares étant donné que les haies bocagères disparaissent et laissent place à de grandes parcelles cultivées où la pente est inclinée vers le réseau routier.

Grâce à ce travail de terrain et de SIG, il en est déduit que le réseau routier oriente et transporte en partie les écoulements des parcelles du RPG 2021 au réseau hydrographique (que ce soit dans un fossé qui alimente une rivière ou dans la rivière elle-même). Parmi ces 5 bassins versants étudiés (Tortillon exclu), sur les 4 738 hectares de parcelles agricoles, ce sont les écoulements de 234 hectares qui sont directement dirigés au cours d'eau via le réseau routier (figure 59). Cela représente 5 % de la surface érodée dans toutes les parcelles agricoles des 5 bassins versants (points bleus sur les cartes). Sur les 1 086 hectares d'impluviums, ce sont 234 hectares, soit 22 % de la surface des impluviums qui sont connectés au cours d'eau par le réseau routier (hachures noires sur les cartes).

Quant au réseau routier, au moins 15 km servent d'extension au réseau hydrographique. Cela représente 12,7 % de toutes les routes parmi ces 5 bassins versants (pointillés bleus sur les cartes).

Bassins versants	Martinière	Bû	Lingèvres	Petite Seuline	Vire amont	Total des 5 bassins versants
Surfaces totales des parcelles agricoles (en hectares)	649	1 153	1 366	889	677	4 737
Nombre d'impluviums qui ont un lien avec le réseau routier et qui sont connectés indirectement au réseau hydrographique par une route (et surfaces (en hectares))	17 (14 ha)	9 (127 ha)	23 (42 ha)	22 (40 ha)	15 (11 ha)	86 (234 ha)
Longueur des tronçons de routes caractérisés comme extensions du réseau hydrographique (en mètres)	3 187 soit 8 tronçons	2 058 soit 2 tronçon	3 537 soit 10 tronçons	4 729 soit 11 tronçons	2 726 soit 8 tronçons	16 237 soit 39 tronçons

Figure 59 : connexion entre les impluviums et le cours d'eau via le réseau routier

Le réseau routier dans le bassin versant du Bû permet de transférer les dynamiques hydro-sédimentaires de 11 % de la surface totale des parcelles agricoles, soit 127 hectares qui sont directement au fossé qui se jette dans le Laizon. Dans les bassins versants les plus bocagers, à savoir la Martinière et la Vire amont, le réseau routier permet de transférer les dynamiques hydro-sédimentaires d'environ 10 hectares au réseau hydrographique (respectivement 2 % et 1,6 % de la surface totale des parcelles agricoles). Quant aux bassins versants de la Petite Seuline et du Lingèvres, le réseau routier permet de transférer les dynamiques hydro-sédimentaires de 40 hectares chacun vers les cours d'eau (respectivement 5 % et 3 % de la surface totale des parcelles agricoles).

844 entrées de champs ou de chemins accédant au réseau routier ont été recensées sur les bassins versants, Tortillon exclu. Sur toutes ces entrées, 173 servent d'exutoire de manière partielle ou totale aux 198 impluviums où l'eau accède à la chaussée. Il est vrai que dans les paysages bocagers ou montueux (la Martinière, la Petite Seuline et la Vire amont), les entrées de champs servent souvent d'unique exutoire, notamment lorsque l'entrée est en bas de pente et qu'elle forme une faille dans une haie ou un talus. Cependant, parfois, que ce soit dans les paysages de campagne découverts (le Bû) ou les paysages mixtes (le Lingèvres), l'exutoire de l'impluvium ne se situe pas seulement au niveau de l'entrée de champ mais il est parfois très étendu, notamment lorsqu'il traverse une bande enherbée pour accéder à la chaussée. Dans ce cas, l'entrée de champ peut accompagner la sortie de sédiments sur le réseau routier mais elle n'en est pas l'unique coupable.

2.2 Différentes influences du réseau routier

Après avoir identifié les parcelles qui ont un aléa moyen érosion des sols assez faible à fort et les impluviums, il faut ensuite chercher à savoir quel est le lien, en termes de transferts hydro-sédimentaires, de ces parcelles avec le réseau routier. Pour cela, il faut identifier le type de route et le type de bord de route afin de connaître si le ruissellement qui se produit sur ces parcelles peut arriver sur le réseau routier. En effet, lorsqu'une parcelle est en aval du réseau routier, le ruissellement qui se produit sur celle-ci ne peut jamais pénétrer sur le réseau routier. Seules les parcelles qui sont en amont du réseau routier sont prises en compte. Lorsque la route est en creux ou qu'elle est insérée dans la topographie, ces deux types de route permettent au ruissellement de continuer sa trajectoire. (E. BOCHER, 2005 ; V. VIEL, 2012 ; R. REULIER, 2015).

Bassins versants	Nombre total d'impluviums (et surfaces (en hectares))	Surfaces moyennes des impluviums (en hectares)	Nombre d'impluviums bloqué par une route surélevée (et surfaces (en hectares))	Nombre d'impluvium bloqué par une haie ou un talus (ou les deux) (et surfaces (en hectares))	Nombre d'impluviums dont l'écoulement suit la trajectoire de la route (et surfaces (en hectares))	Nombre d'impluviums dont l'écoulement traverse la route (et surfaces (en hectares))
Martinière	72 (77 ha)	1,1	0 (0 ha)	31 (37 ha)	32 (29 ha)	9 (10 ha)
Bû	46 (715 ha)	15	7 (185 ha)	2 (1,2 ha)	21 (270 ha)	16 (258 ha)
Lingèvres	92 (148 ha)	1,6	2 (0,4 ha)	37 (56 ha)	48 (71 ha)	5 (20 ha)
Petite Seuline	62 (109 ha)	1,8	3 (7 ha)	19 (26 ha)	29 (38 ha)	11 (39 ha)
Vire amont	48 (37 ha)	0,8	1 (3,4 ha)	20 (19 ha)	25 (13 ha)	2 (1,5 ha)
Total des 5 bassins versants	320 (1 086 ha)	3,4	13 (196ha)	109 (140 ha)	155 (422 ha)	43 (329 ha)

Figure 60 : caractéristiques des impluviums dans chacun des bassins versants

Dans le tableau ci-dessus, par type d'impluvium, les valeurs les plus importantes sont en rouge et les plus faibles en bleu. Le bassin versant du Bû compte le plus de surfaces d'impluviums qui sont en contact avec le réseau routier. A l'inverse, dans le bassin versant de la Vire amont, les impluviums sont en moyenne très petits (moins d'un hectare) et peu nombreux.

2.2.1 Le réseau routier : une faible influence sur les dynamiques hydro-sédimentaires

En général, pour les routes insérées dans la topographie, que l'on retrouve en majorité dans les paysages de plaine, le ruissellement traverse la route.

Sur les 320 impluviums recensés dans 5 des 6 bassins versants, l'eau et les sédiments qui sortent de 43 d'entre eux traversent le réseau routier de manière perpendiculaire. Soit ces sédiments traversent les dépendances vertes et la chaussée, soit il y a la présence d'une buse sous le réseau routier. Cela représente 329 hectares. Le plus souvent, l'eau qui traverse la route va directement dans le cours d'eau. D'autre fois, il y a des saignées, notamment en amont du bassin versant du Bû, afin que l'eau traverse la route pour aller dans la parcelle d'en face. Cela évite à l'eau de ruisseler ou de stagner sur la chaussée. Le bassin versant du Bû est celui dont ce cas de figure est le plus présent, en termes de surface (258 hectares) et en termes de nombre d'impluviums (16 impluviums).

Mais ce n'est pas toujours le cas. Il est vrai, lorsque la pente du versant est assez forte, la route incise le versant avec un bord de route qui est en remblai et l'autre qui est en déblai. S'il y a un fossé entre la parcelle amont et la chaussée, le ruissellement est pris en charge par le fossé et celui-ci déterminera la trajectoire du ruissellement. Quand il n'y a pas de fossé, le ruissellement arrive sur la chaussée mais en fonction de la pente de la chaussée, elle peut dévier le ruissellement. Enfin, si le dérasement au bord de la chaussée n'a pas été fait depuis plusieurs années ou qu'il n'y a pas de saignée qui permet à l'eau de s'évacuer de la chaussée, le ruissellement reste sur la chaussée et peut parfois inonder la route quand la pente de la chaussée est nulle. Cela favorise la dégradation de la chaussée, notamment en hiver avec le gel, tout ceci au détriment de la sécurité des usagers.



Figure 61 : différentes prises en charge du ruissellement par le réseau routier dans le cas des routes insérées (C. GAMBU, 2023)

2.2.2 Le réseau routier : une contrainte face aux dynamiques hydro-sédimentaires

Quant aux routes en creux, ce sont d'excellents vecteurs de ruissellement. Ces routes concentrent le ruissellement des parcelles agricoles et le destinent dans de nombreux cas directement non loin du cours d'eau via un fossé, ou directement dans le cours d'eau. Les routes en creux drainent plus de 40 % des impluviums.

En effet, 155 des 320 impluviums fournissent de l'eau qui emprunte le réseau routier. La chaussée ou le fossé, ou parfois les deux lorsque le fossé est bouché ou saturé en eau, drainent plus de 400 hectares de parcelles agricoles. Dans les bassins versants bocagers ou montueux (Martinière, Petite Seuline et Vire amont), le ruissellement d'une trentaine d'impluviums par bassin versant suit la route jusqu'à un fossé, une autre parcelle ou une rivière. Le bassin versant du Lingèvres en compte un peu plus mais la surface drainée par le réseau routier est de plus de 70 hectares. Enfin, le bassin versant du Bû se distingue toujours. Il a peu d'impluviums mais les surfaces drainées par le réseau routier sont de 270 hectares.

Lorsqu'il pleut dans les parcelles agricoles érodées, il pleut aussi sur la route. La pluie permet de nettoyer la route quand il y a de la terre déposée par les agriculteurs avec les engins agricoles. La pluie permet aussi d'évacuer les multiples polluants amenés par les véhicules (hydrocarbures, microparticules, ...). Tout cela se mélange avec l'eau qui sort des champs et peut parfois générer des quantités d'eau importantes, au point de recouvrir toute la surface de la route sur plusieurs centimètres de haut.

L'eau peut provenir de parcelles qui se situent près du cours d'eau et dont la distance est de moins de 10 mètres entre l'entrée de champ qui forme l'exutoire de l'impluvium et le caniveau qui se jette dans la rivière. Le plus souvent, le ruissellement sur le réseau routier parcourt au moins quelques centaines de mètres et peut atteindre près de 2 kilomètres. Ce cas le plus extrême se déroule dans le bassin versant du Bû, entre des parcelles qui ont d'ailleurs un niveau d'aléa moyen érosion des sols « moyen » et « fort » dû aux fortes pentes, et une route puis un fossé qui dirigent le ruissellement jusqu'au Laizon.

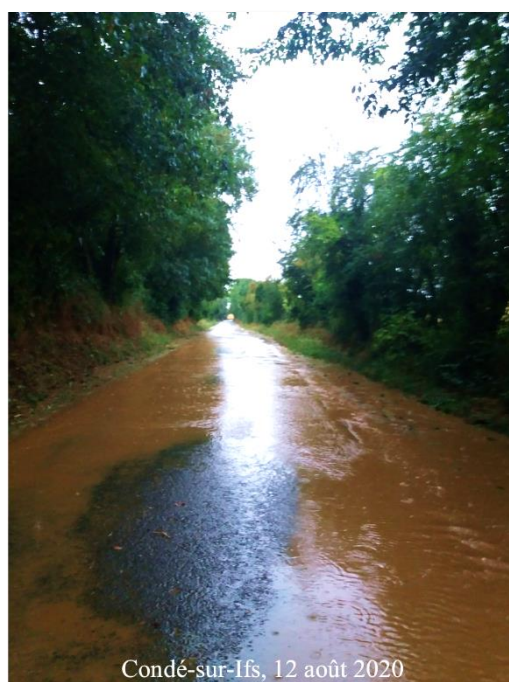


Figure 62 : la D239 est inondée suite à un orage (J.-P. QUILLET, 2020)

Cette eau est donc chargée de terre, de polluants et d'intrants agricoles. Dans la majeure partie des cas, notamment dans les bassins versants bocagers, toute cette eau se jette directement dans les rivières, posant de nombreux problèmes pour la faune et la flore aquatique. Dans d'autres cas, l'eau qui ruisselle sur la route va dans une parcelle agricole ou un fossé mais qui débouchent aussi dans un cours d'eau.

Dans les bassins versants du Bû, du Lingèvres et de la Vire amont, des routes en creux ou des routes insérées non loin de la périphérie du bassin versant accueillent l'impluvium, mais le ruissellement sort du bassin versant car la pente de la chaussée évacue l'eau dans un sens différent du sens de la topographie générale du bassin versant.

2.2.3 Le réseau routier : un obstacle aux dynamiques hydro-sédimentaires

Les routes surélevées déconnectent l'impluvium du reste du bassin versant, notamment dans le cas où il n'y a pas de buse sous la route. Certaines routes sont difficilement submersibles car la route est surélevée de plus de 2 mètres par rapport aux parcelles agricoles. D'autres sont surélevées d'environ 50 centimètres, donc, en fonction de la taille de l'impluvium et des précipitations, il y aura certes une zone d'accumulation et de dépôt de sédiments, mais une partie de l'eau poursuivra son parcours. Il est donc difficile de savoir à quel moment l'eau peut submerger la route, en fonction de la surface de l'impluvium, de la pente, de la nature du sol mais aussi de la quantité de précipitations.

Dans les bassins versants étudiés, le ruissellement peut aussi être stoppé par un talus en bordure de champ ou un fossé qui stocke l'eau. Les haies permettent aussi de retenir le ruissellement, notamment lorsqu'elles sont supplantées d'un talus.

Toujours parmi ces 320 impluviums, le réseau routier sert de barrage pour 122 d'entre eux, ce qui représente 336 hectares sur les 1 086 hectares d'impluviums à l'échelle des bassins versants étudiés, Tortillon exclu. C'est notamment dans le bassin versant du Bû que ce cas de figure est le plus présent car les D131 et D91 sont surélevées par rapport aux parcelles agricoles. Ces surfaces sont sous estimées car les routes communales qui sont topographiquement en amont de ces départementales sont insérées donc ce sont des impluviums de grande taille qui sont bloqués par ces deux routes départementales. Par ailleurs, sous ces deux routes, il n'y a pas de buses qui permettent à l'eau de traverser sous la chaussée. La moitié du bassin versant n'est donc pas connectée au réseau hydrographique du fait de la présence du réseau routier.

Dans les autres bassins versants, et surtout dans les bassins versants du Lingèvres et de la Martinière, le type de route ne forme peu voire pas de barrage aux dynamiques hydro-sédimentaires. D'une part, c'est parce que la majorité des routes sont insérées ou en creux. D'autre part, c'est dû aux haies sur talus qui se situent à la limite entre le réseau routier et les parcelles agricoles, et qui retiennent tous les sédiments érodés. Pour le bassin versant du Lingèvres, ce sont 56 hectares qui ne sont pas drainés par le réseau routier à cause d'une haie sur talus.



Figure 63 : malgré l'entrée de champ, présence de talus au bord d'une route qui empêchent le ruissellement d'aller sur le réseau routier (C. GAMBU, 2023)

Cependant, les haies qui ne sont pas densément plantées peuvent laisser passer le ruissellement. Les haies, les talus et les fossés qui sont généralement les solutions pour lutter contre l'érosion et le ruissellement peuvent devenir inefficaces lorsqu'il y a une entrée de champ. Ceci est encore plus vrai lorsque l'entrée de champ se situe en bas de pente. Elle est utile pour laisser sortir les engins agricoles durant les récoltes, notamment en période d'ensilage quand le sol est très humide. En revanche, lorsqu'il pleut, l'eau collectée dans l'impluvium, qui représente parfois toute la surface de la parcelle, peut se déverser sur la voirie.



Figure 64 : entrée de champ en bas de pente (C. GAMBU, 2023)

Résumé

Ce n'est pas nécessairement dans les bassins versants où l'aléa moyen érosion des sols est le plus élevé que des problèmes de ruissellement sur le réseau routier ont lieu. En effet, d'après les gestionnaires des routes rencontrés, les coulées de boue et le remplissage des fossés par des sédiments ont lieu dans les bassins versants de la Martinière et du Bû. Dans les autres bassins versants, même si le nombre de personnes rencontrées est plus faible (gestionnaires et usagers), les niveaux d'aléa moyen érosion des sols « moyen » et « fort » représentent de nombreux hectares. Cependant, les transferts hydro-sédimentaires provenant des parcelles fortement érodées vers le réseau routier semble peu présent. Cela est dû en majorité par la position de la parcelle par rapport à la route dans la topographie. L'autre facteur est lié à la présence de haies, et surtout de haies sur talus qui maintiennent les sédiments dans les parcelles en bloquant l'accès à la route. Dans quelques cas, la route est surélevée par rapport aux parcelles alentour donc le ruissellement ne poursuit pas son chemin.

Dans le bassin versant du Bû caractérisé par des parcelles agricoles découvertes, la longueur et la surface des impluviums sont importantes et couvrent une grande partie de ce bassin versant. Chaque impluvium s'étend sur plusieurs parcelles. A l'inverse, dans les autres bassins versants où les parcelles encloses de haies dominant, les impluviums sont petits et peu nombreux. Chaque impluvium s'étend le plus souvent sur une seule parcelle, voire même une seule partie. La connexion avec le réseau routier se fait le plus souvent via une entrée de champ ou le long d'une route, où une haie ou un talus ont disparu. Pour mieux comprendre le rôle du réseau routier dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires, il faut tenir compte à la fois de la sensibilité des sols à l'érosion, de la longueur et de la surface des impluviums, des contraintes que peuvent rencontrer les écoulements avant d'atteindre le réseau routier, et enfin de la manière dont est organisé le réseau hydrographique et comment le réseau routier interfère avec celui-ci, en rappelant que dans le bassin versant du Lingèvres, il y a le plus grand nombre de route qui croise le réseau hydrographique.

Pour en arriver à ces conclusions et connaître la réalité du terrain, la rencontre des gestionnaires et des usagers du réseau routier est donc primordiale.

Partie 4 : Méthodes, résultats et analyses des rencontres avec les gestionnaires et les usagers du réseau routier

Introduction

L'objectif de réaliser des entretiens auprès des gestionnaires du réseau routier est de savoir si une parcelle avec un aléa moyen érosion des sols « moyen » voire « fort » génère beaucoup de ruissellement sur le réseau routier, donc avec beaucoup de sédiments qui seraient déplacés via le réseau routier. L'autre objectif est de connaître leurs pratiques d'entretien du réseau routier. Les gestionnaires sont les personnes chargées d'entretenir le réseau routier.

Chapitre 1 : Les gestionnaires

1.1 Les entretiens avec les gestionnaires

Les entretiens avec les différents gestionnaires des routes permettent de savoir comment le réseau routier est entretenu, que ce soit la chaussée ou ses dépendances (bermes, bandes enherbées, fossés, buses, talus, haies). Les gestionnaires donnent des informations sur les problèmes rencontrés par le ruissellement, mais aussi comment ils font pour éviter des inondations sur le réseau routier et la dégradation de la chaussée. Il est vrai que l'eau cause des dégâts parfois importants sur la chaussée, les bermes et les talus donc des investissements sont régulièrement réalisés pour éloigner de la route l'eau qui coule. Des aménagements sont réalisés le long de ces routes, tels que la création de fossés, le recalibrage des buses, la réalisation de tranchées drainantes ou de saignées, l'aménagement ou la consolidation de talus à l'aide de gabions ou d'enrochements, la plantation de haies. Parfois, le profil de la route est modifié afin que l'eau s'évacue et ne stagne pas sur la route.



Figure 65 : réalisation de saignées pour évacuer l'eau de la route vers le fossé (F. MORIN et V. BIZET, 2020 (page 16))

Les entretiens sont construits sur la base de quelques questions semi-directives. L'interviewé est libre de répondre par une réponse courte ou longue en fonction de ce qu'il sait par son travail et ses observations. Les questionnaires ont tous été coopératifs afin de répondre au mieux aux questions. Concernant la gestion des routes communales, les entretiens se sont déroulés avec le maire du village quand cela était possible. C'est à la fois celui qui connaît bien la commune en termes de ruissellement et d'aménagements pour lutter contre les risques de coulées de boue et d'inondations. C'est aussi celui qui connaît la manière dont opèrent les prestataires privés et les intercommunalités lorsqu'ils agissent sur le réseau routier communal. L'avantage de rencontrer ces élus locaux est que ces élus résident dans la commune depuis de nombreuses années et qu'ils sont élus de leur commune depuis au moins deux mandats.

Sur la trentaine d'acteurs qui gèrent le réseau routier des six bassins versants, une dizaine de gestionnaires ont été interrogés.

Pour les routes départementales du bassin versant du Bû et de la Martinière, j'ai rencontré la cheffe de l'agence routière départementale de Saint-Pierre-sur-Dives Fabienne VANDESTIENNE, le responsable d'exploitation Philippe LECOMTE et le chef du centre d'exploitation de Lisieux Jérôme TRECHE. Pour les routes départementales des bassins versants du Lingèvres, de la Petite Seuline, du Tortillon et de la Vire amont, j'ai rencontré le responsable d'exploitation Pascal BAYLE et le chef du centre d'exploitation de Maisoncelles-Pelvey David DEMONFREVILLE.

Il faut savoir que la majorité de ces personnes ont effectué une reconversion professionnelle. Leurs diplômes sont donc assez éloignés de leur travail actuel. Cependant, ils ont tous passé les concours de la fonction publique.

Certains bassins versants ont quelques kilomètres de routes départementales en dehors des agences routières départementales de Villers-Bocage et de Saint-Pierre-sur-Dives. La gestion de ces tronçons ne sera pas connue.

Concernant les routes communales dans les bassins versants, les maires dont les communes qui ont le plus long réseau routier ont été interrogés. Pour le bassin versant de la Martinière, j'ai rencontré le maire de Le Mesnil-Eudes Christian DECOURTY. Pour le bassin versant du Bû, j'ai rencontré Yves LEDENT qui est le maire de Le Bû-sur-Rouvres et Jean-Pierre QUILLET qui est 1^{er} adjoint au maire de la commune de Condé-sur-Ifs. Pour le réseau routier communal dans le bassin versant de la Petite Seuline, j'ai rencontré le responsable du service technique de la communauté de communes Pré-Bocage-Intercom Allan MARIE en ce qui concerne l'entretien de la chaussée et des fossés. Cet entretien a été complété par celui de Jean-Yves BREPIN qui est le maire de Dialan-sur-Chaîne, ainsi que son employé municipal Jean-Paul ROUSSEL, pour la gestion du fauchage des bords de routes et de l'entretien des buses.

Dans le but de montrer à chaque gestionnaire le bassin versant en question et le réseau routier correspondant, une carte dont le fond était une image aérienne sur laquelle était superposé le réseau routier et le réseau hydrographique était à leur disposition afin de se repérer facilement et de localiser des lieux dont ils ont fait référence. Ces entretiens ont aussi été accompagnés de la carte de l'aléa moyen érosion des sols à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant en question pour faire le lien entre un aléa érosion « moyen » à « fort » et des dynamiques de transferts hydro-sédimentaires potentielles en fonction des problèmes que les gestionnaires rencontrent sur le terrain, à l'instar de buses régulièrement bouchées ou de bermes constamment abîmées par le ruissellement. Lors des entretiens avec les agences routières départementales, une cartographie du réseau routier départemental dont ils ont la charge⁶ et la position des bassins versants accompagnait les deux autres cartes, afin de pouvoir désigner d'autres zones où le ruissellement, mais aussi où des aménagements colossaux ont été réalisés.

Le principal objectif de ces entretiens était d'avoir des connaissances sur les fréquences de curages des fossés et sur les quantités de sédiments prélevés dans les fossés. Cela aurait permis de quantifier ce que permet de transporter le réseau routier en termes de matières en suspension dans l'eau. Que ce soit dans les mairies, les intercommunalités ou les agences routières départementales, aucun gestionnaire ne possède de bases de données concernant le volume de terre prélevé.

Avec ces entretiens, en plus des pratiques de gestion du réseau, il y avait aussi la volonté de savoir si les problèmes de ruissellement à certains endroits ont toujours été très réguliers ou non, mais aussi si les problèmes sont récents ou pas en fonction des endroits, avec par exemple une haie qui a été arrachée ou une prairie qui a été cultivée.

⁶ Voir annexes pages 159 et 160.

1.2 L'entretien du réseau routier

1.2.1 L'entretien du réseau d'assainissement

Concernant les pratiques en termes d'entretien des bords de routes par les gestionnaires à propos de l'écoulement de l'eau, il y a l'entretien des fossés. Tous les fossés des six bassins versants sont curés de manière mécanique avec une pelle mécanique et un godet trapézoïdal. Les gestionnaires font appel à des entreprises privées pour ce travail. Seules les agences routières départementales réalisent une partie de ces travaux eux-mêmes. Lors du curage, ils gardent le profil du fossé et ils ne curent pas plus profondément pour éviter que l'eau stagne auprès de la buse suivante. Le curage des fossés est réalisé à la fois de manière ponctuelle à certains endroits, notamment s'il y a une accumulation de feuilles. Il y a aussi des curages qui sont réalisés de manière linéaire sur des tronçons de route de plusieurs kilomètres.



Figure 66 : curage d'un fossé réalisé avec un godet trapézoïdal (C. GAMBU, 2023)

Le curage a lieu en hiver ou au printemps après la première fauche pour ramasser l'herbe dans le fond du fossé mais aussi pour voir la profondeur à laquelle le fossé est creusé.

Le curage des fossés est réalisé tous les 2 à 10 ans en fonction des besoins, mais le curage est toujours réalisé avant que le fossé ne soit trop rempli de sédiments et que les buses se bouchent. Cette durée varie en fonction des fossés. Le seul fossé de Le Bû-sur-Rouvres a été curé au bout de 10 ans car il ne se remplit que de peu de sédiments. A l'inverse, dans les bassins versants bocagers, il y a à la fois une accumulation de feuilles mortes, d'herbes fauchées, de branches et aussi de sédiments qui obligent les gestionnaires à entretenir plus régulièrement certains fossés.

Une épaisseur allant de 0 à 10 voire 15 cm est retirée, mais personne ne prête attention aux volumes prélevés pour une distance donnée étant donné que ce sont des entreprises privées qui effectuent le plus souvent ces travaux.

Concernant la granulométrie, d'après tous les gestionnaires, il n'y a jamais d'éléments grossiers, ce sont toujours des sédiments de petite taille malgré la présence de quelques cailloux. Il y a aussi des branches, des feuilles, de l'herbe et de nombreux déchets jetés par les usagers du réseau routier.

La terre prélevée par les entreprises privées est proposée aux agriculteurs les plus proches du chantier de curage pour limiter les coûts et les temps de transport. La terre prélevée par les agences routières départementales est stockée dans des dépôts. La bonne terre est mise de côté en cas de besoin. Cette terre est entreposée en tas et n'intéresse personne car elle contient des déchets, mais aussi des polluants des parcelles agricoles (pesticides, nitrates, ...) et issus des véhicules empruntant le réseau routier (particules de pneumatiques, hydrocarbures, gaz d'échappement, ...). Les agriculteurs qui acceptent la terre la laissent en tas quelques années avant de s'en servir. Quant aux communes de Le Bû-sur-Rouvres et de Le Mesnil-Eudes qui n'ont presque pas de fossés, mais qui doivent ramasser la terre qui est sur la route, soit lorsque les agriculteurs mettent de la boue sur la route ou après un ruissellement chargé en sédiments sur le réseau routier, l'employé municipal ou les élus évacuent la terre et la déposent dans la parcelle la plus proche.

Parmi les différents gestionnaires du réseau routier, aucun de ceux interrogés ne cherchent à ralentir le débit de l'eau dans les fossés comme ce qui est fait dans le département des Côtes d'Armor. Il est vrai que dans ce département breton, plusieurs méthodes de curage sont employées (MORIN F., BIZET V., 2020) :

- La méthode du tiers inférieur consiste à curer le fossé jusqu'à la profondeur originale. Contrairement au curage traditionnel avec un godet trapézoïdal qui cure le fond et les côtés du fossé, la méthode du tiers inférieur cure uniquement le fond du fossé grâce à un godet droit. Cette méthode permet à la végétation de repousser plus rapidement et ainsi filtrer l'eau et ralentir sa vitesse d'écoulement ;
- Le curage superficiel léger est effectué de manière régulière grâce à une autocureuse qui projette au loin les feuilles et les sédiments déposés. Cette méthode a été mise en place dans le cadre d'une démonstration dans le département du Calvados et est parfois utilisée en Seine-Maritime. Cette méthode est possible en plaine ou le long des forêts, mais près des habitations, ce n'est pas possible. Cette méthode évite le transport des matières évacuées ;
- La méthode du curage en alternance alterne entre des tronçons de fossés qui sont curés et d'autres qui seront curés plus tard. Les tronçons mesurent quelques dizaines de mètres afin que la vitesse d'écoulement soit ralentie et que l'eau se décharge de ses sédiments, mais aussi maintenir la biodiversité dans les parties où le fossé n'a pas été curé. Cette méthode est très efficace lorsque les pentes sont supérieures à 3 % ;

- Dissocier les chantiers de curage des fossés et de dérasement (qui permet à l'eau de ne pas être retenue sur le bord de la route) laisse la végétation jouer le rôle de filtre sur les eaux chargées de sédiments, soit sur l'accotement, soit dans le fossé.

Ces deux dernières méthodes permettent à la faune de se déplacer d'un espace curé où le sol est nu à un espace non-curé où la végétation est présente. Ainsi, les répercussions de ces chantiers d'entretien du bord de route sur la biodiversité sont moins fortes que ce qui était fait autrefois (MORIN F., BIZET V., 2020).



Figure 67 : curage par la méthode du tiers inférieur (à gauche) et curage en alternance (à droite) (MORIN F., BIZET V., 2020 (pages 8 et 9))



Figure 68 : curage par autocureuse (à gauche) et illustration d'un dérasement dissocié du curage (à droite) (MORIN F., BIZET V., 2020 (pages 19 et 21))

Pour ce qui concerne les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires, les routes du Calvados, qu'elles soient communales et surtout départementales, l'eau et les matières en suspension dans l'eau (sédiments et polluants) qui coulent dans le fossé de bord de route s'écoulent directement vers un autre fossé ou un cours d'eau. A la différence du réseau autoroutier qui possède de nombreux bassins de rétention, le réseau routier départemental et communal n'en ont pas. Pour les routes départementales, il est prévu de construire des bassins de rétention où le fond du bassin serait imperméable et où les parois seraient poreuses afin que l'eau s'infilte doucement et éviter que cette eau, potentiellement polluée, arrive directement dans les nappes phréatiques d'après P. BAYLE de l'agence routière départementale de Villers-Bocage. En effet, ces bassins de rétention ne peuvent pas être installés partout car ils peuvent polluer « *des nappes phréatiques en milieu fissuré* » (D. DELAHAYE, 1992, (page 25)).

Il est aussi possible de créer des zones tampons qui serviront de zones d'épandage des sédiments, avant que l'eau ne rejoigne le réseau hydrographique. Lorsque ces aménagements coûteux financièrement et gourmands en espace ne peuvent pas être aménagés, les gestionnaires des routes départementales des Côtes d'Armor ne curent plus les fossés sur une distance de quelques dizaines de mètres avant les cours d'eau pour obtenir des résultats équivalents aux zones tampons, à savoir une diminution des débits, une diminution des matières en suspension mais aussi le maintien de la biodiversité aquatique et éviter une turbidité trop importante du cours d'eau. Tous les gestionnaires des routes rencontrés ont conscience que l'eau chargée de sédiments et de polluants qui va dans les cours d'eau a un impact sur la biodiversité. Cependant, ils considèrent que l'eau doit s'évacuer le plus rapidement possible du bord de route pour ne pas l'abîmer. A cela s'ajoute le fait que les talus, les mares et les haies au bord des champs ont disparu et que les seuls fossés encore présents sont ceux qui sont au bord des routes. A l'origine, les fossés servaient uniquement pour drainer l'eau de la route et maintenant, ils servent aussi à drainer les eaux pluviales venant des parcelles agricoles.

Quant aux buses ou canalisations qui permettent le passage des véhicules au-dessus du fossé, elles posent problème lors de l'écoulement de l'eau dans les fossés d'après 4 des 7 gestionnaires rencontrés. En effet, après le fauchage, l'herbe peut tomber dans le fossé et boucher la grille de sécurité. Dans les buses qui se situent près des haies ou des forêts, les feuilles forment un bouchon devant et dans les buses. Suite au curage du fossé ou après une coulée de boue dans le fossé, de la terre peut se déposer dans la buse et s'accumuler si l'entretien est peu fréquent.

L'entretien est réalisé avec une ratisse quand la buse est assez propre. Mais lorsque la buse est bouchée, il est nécessaire d'effectuer un hydrocurage dans la buse pour la nettoyer. C'est aux riverains d'entretenir les buses (SETRA, 1998) mais quand elles ne sont pas entretenues, ce sont les gestionnaires des routes qui doivent les nettoyer.

Parfois, des buses sont installées dans les fossés pour aménager une nouvelle entrée. Les buses sont parfois de diamètre insuffisant pour le volume d'eau qui transite pendant les pluies d'orages ; ou ces buses ne suivent pas le fil d'eau du fossé, notamment quand il n'y a pas eu de demande d'autorisation de permission de voirie (SETRA, 1998). A cela s'ajoute le fait que les engins agricoles étant de plus en plus lourds et larges, les buses sont cassées et ne sont pas toujours réparées par l'utilisateur de l'entrée. Cela forme un bouchon ce qui ne permet plus à l'eau du fossé de s'écouler convenablement.

1.2.2 L'entretien des dépendances vertes

Outre l'entretien du réseau de drainage du réseau routier, les gestionnaires des routes doivent tous entretenir la végétation qui se trouve de part et d'autre de la chaussée.

Les agences routières départementales effectuent elles-mêmes le fauchage sur les routes départementales. Quant aux routes communales, des entreprises privées effectuent le fauchage par l'intermédiaire des communes ou des intercommunalités. Ainsi, les communes de Dialan sur Chaîne, Le Bû-sur-Rouvres et jusqu'à 2022 la commune de Condé-sur-Ifs font appel à un prestataire privé pour faucher les talus. Cependant, la mairie de Condé-sur-Ifs réalise toujours elle-même l'élagage des haies et des arbres au bord des routes. Quant à la commune de Le Mesnil-Eudes, c'est l'intercommunalité qui a cette compétence mais elle fait faucher les talus et élaguer les haies par une entreprise.

Des outils sont développés par certaines entreprises pour ramasser l'herbe dans le but de la valoriser grâce à la méthanisation. Sur certaines routes du Sud-Ouest du Calvados, l'herbe sera collectée à partir du printemps 2023. La communauté d'agglomération Lisieux Normandie où se situe le bassin versant de la Martinière a mis en place cette pratique il y a déjà quelques années.

Dans tous les cas, le fauchage est réalisé deux fois par an. Vers le 15 mai, il y a un passage d'environ 1,20 mètre pour dégager à proximité immédiate de la route, les virages et les carrefours. A partir du mois d'août, tout le bord de route est fauché. L'herbe est coupée à une hauteur allant de 12 à 14 cm. D'après le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA) en 2018 qui suggère les possibilités d'entretien du réseau routier en France : « *il est particulièrement important de pouvoir proposer une hauteur de coupe comprise en 8 et 10 cm, afin de permettre aux dépendances vertes de jouer un rôle en matière de réservoir et de corridor biologique* » (page 12).

Le fauchage raisonné ou tardif a de nombreux effets :

- Il permet de filtrer l'eau dans les bandes enherbées et les fossés, mais aussi de retenir les feuilles avant qu'elles n'aillent dans les buses ;
- Il permet de faire des économies de temps et de carburant ;
- Il permet aux plantes qui ont une croissance plus lente de fleurir et de produire des graines qui aboutiront à une diversité d'espèces végétales ;
- Il permet à des insectes et des mammifères de se réfugier dans cette unique zone qui n'est pas cultivée, notamment lorsqu'il n'y a que des terres arables aux alentours.

En bref, il y a une biodiversité qui s'est développée à partir de la 3^{ème} ou 4^{ème} année de fauchage raisonné sur les bords des routes départementales du Sud-Ouest du Calvados d'après D. DEMONFREVILLE de l'agence routière départementale de Villers-Bocage.

Cette manière de faucher a eu du mal à rentrer dans les mœurs. Les usagers, les agriculteurs et les gestionnaires considéraient que le fauchage était mal fait ou n'était pas terminé, mais depuis près de 10 ans maintenant, cette méthode de fauchage s'intègre peu à peu dans le paysage.

D'autres départements vont encore plus loin dans la démarche de préservation de la biodiversité. En effet, le département des Côtes d'Armor a mis en place sur certains bords de route le fauchage différencié qui est une méthode qui semble préserver encore plus la biodiversité. La différence réside dans le fait que le fauchage alterne sur une période de deux années entre une longueur de 100 mètres qui est fauchée puis 100 mètres qui ne sont pas fauchés, sur le même principe que pour le curage en alternance. Cette méthode n'est pas pratiquée à proximité immédiate de la chaussée mais sur les parties les plus éloignées de celle-ci. D'après le site internet du département des Côtes-d'Armor : « *cela permet de maintenir le rôle de corridors écologiques, d'accroître la réserve de nourriture pour les insectes pollinisateurs et de permettre aux animaux et aux plantes qui ont un cycle sur deux années, d'aller au bout de celui-ci* ».

Chapitre 2 : Les usagers du réseau routier

2.1 Les questionnaires avec les usagers

Une dizaine d'usagers du réseau routier ont été interrogés dans le cadre d'un questionnaire. Les individus interrogés sont des personnes croisées lors de sorties de terrain, qui étaient le plus souvent devant chez eux. Ils utilisent donc les routes d'un des bassins versant de manière régulière. La plupart des personnes rencontrées habitent au même endroit depuis plusieurs dizaines d'années, ce qui permet de savoir sur un pas de temps long comment est gérée la voirie. Cela permet aussi de savoir si de l'eau ruisselle régulièrement ou pas dans une parcelle agricole, dans un fossé ou sur la route, et surtout si c'est à la suite d'orages, de fortes pluies ou s'il y a du ruissellement à chaque fois qu'il pleut. Ainsi, il est possible de déterminer d'une manière plus précise quel est l'effet de la route et de ses dépendances sur les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires grâce aux personnes qui « surveillent » constamment une zone.

Ce questionnaire⁷ a consisté à poser plusieurs questions concernant la manière dont l'eau ruisselle sur le tronçon de route où nous nous trouvions. Afin de nous repérer plus facilement, une image aérienne était à leur disposition en cas de besoin.

Dans ces bassins versants où le nombre d'habitants est assez faible, où peu de personnes ont été croisées, le nombre d'individus interrogé est de 10 pour tous les bassins versants sauf le Tortillon où les questionnaires n'ont pas été réalisés et la Vire amont où là, personne n'a été croisé. Cependant, le choix a été fait d'interroger plusieurs élus locaux pour compenser ce manque d'information.

2.2 Les résultats

Concernant les résultats du questionnaire à destination des usagers du réseau routier, le moyen de transport utilisé par 90 % des personnes rencontrées est la voiture.

Dans un cas sur deux, des écoulements ont lieu sur le réseau routier, soit à la suite de « pluies d'orage », soit à la suite de pluies qui durent « deux ou trois jours », ou même « très souvent » au Sud du bassin versant du Lingèvres. En amont du bassin versant de la Martinière, l'eau qui coule est liée à la présence de nombreuses petites sources qui libèrent de l'eau de manière continue. Dans bon nombre de situations, le ruissellement sort d'une entrée de champ puis s'écoule le long de la route (dans un fossé ou directement sur la route avant de rejoindre le réseau hydrographique). Parfois le ruissellement arrive sur le réseau routier sans passer par une entrée de champ, mais en traversant directement la bande enherbée qui sépare la chaussée de la parcelle agricole.

⁷ Voir annexe page 157.

A travers les questions posées aux usagers du réseau routier, il est déjà possible de conclure que le réseau routier joue un rôle non négligeable dans le transfert de sédiments entre les parcelles agricoles qui sont parfois très éloignées du réseau hydrographique et le cours d'eau.

Enfin, à part les élus qui ont été confrontés à des problèmes de ruissellement et d'inondation, aucun usager rencontré n'est marqué par un épisode de ruissellement sur le réseau routier. Cela s'explique par les précédents hivers peu pluvieux qui n'ont pas ravivé de vieux souvenirs. Il est aussi possible qu'à l'endroit où ces personnes ont été interrogées, il y ait peu de ruissellement. Enfin, il semblerait que si les habitants ne sont pas directement concernés par des inondations chez eux, ils ne prêtent pas d'attention particulière au ruissellement qui a lieu sur le réseau routier.

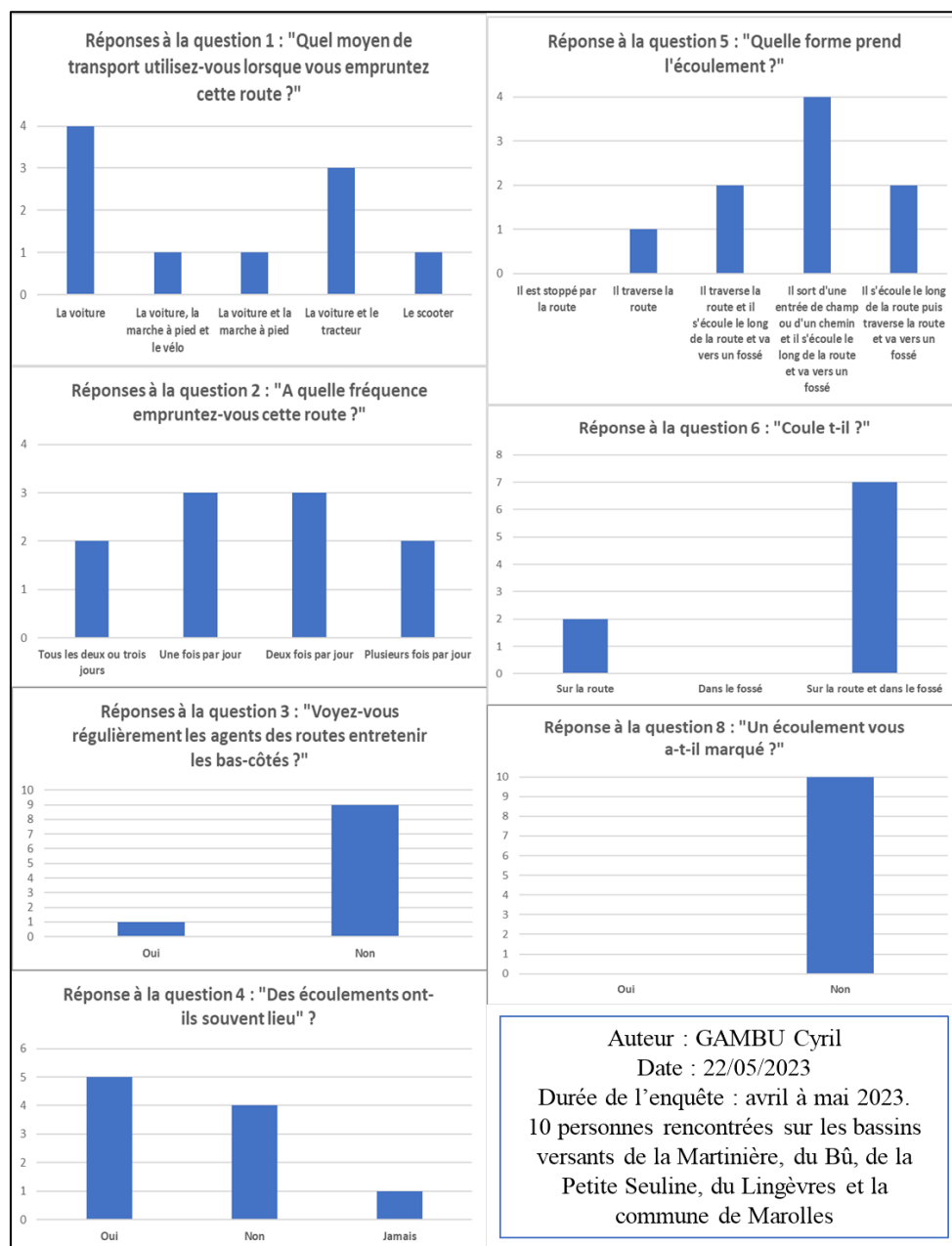


Figure 69 : histogrammes des résultats du questionnaire à destination des usagers du réseau routier

2.3 Les tensions et conflits entre les agriculteurs, les usagers et les gestionnaires du réseau routier

Ces entretiens mettent au jour de nombreuses critiques concernant l'entretien du réseau routier par les gestionnaires. 9 personnes sur 10 considèrent que les gestionnaires des routes interviennent rarement, sauf pour le fauchage. La perception qu'ont les usagers à l'égard des gestionnaires est assez mauvaise. En effet, pour eux, le curage des fossés est très rarement fait, l'entretien des buses et de ses entrées n'est jamais fait, ce sont les habitants eux-mêmes qui le font. Lorsque des aménagements sont réalisés au bord des routes par les gestionnaires, les usagers estiment que « *ce n'est ni fait, ni à faire* ». Quant au fauchage des bords de routes, l'herbe est coupée quand elle est très haute et que cela devient dangereux selon les personnes rencontrées. Ils considèrent que l'herbe qui est sur les talus tombe dans le fond des fossés et bouchent les fossés et les buses. Les habitants aimeraient que les bords de routes soient fauchés un peu plus tôt, ou que cette herbe broyée soit ramassée pour éviter ces problèmes. Cependant, les gestionnaires des agences routières départementales aimeraient ramasser cette herbe broyée car ils connaissent les conséquences que cela a dans les buses et les fossés mais cela impose un investissement en matériel important mais surtout, pour que l'herbe puisse aller dans un méthaniseur, il ne faut aucun déchet en plastique ou en aluminium. Une première expérimentation sera mise en place au printemps 2023 sur la D512, entre Vire Normandie et Valdallière, dans l'agence routière départementale de Villers-Bocage.

La vision des usagers rencontrée semble la même que celle des agriculteurs rencontrés dans la publication de F. DI PIETRO et C. CHAUDRON (2017). En effet, les mots qui ressortent le plus souvent sont bien sûr « sécurité » mais il y a beaucoup de termes appartenant au champ lexical de la saleté comme « mauvaises herbes », « déchet », « salissement », « sale », « chardon » ou bien « friche ».

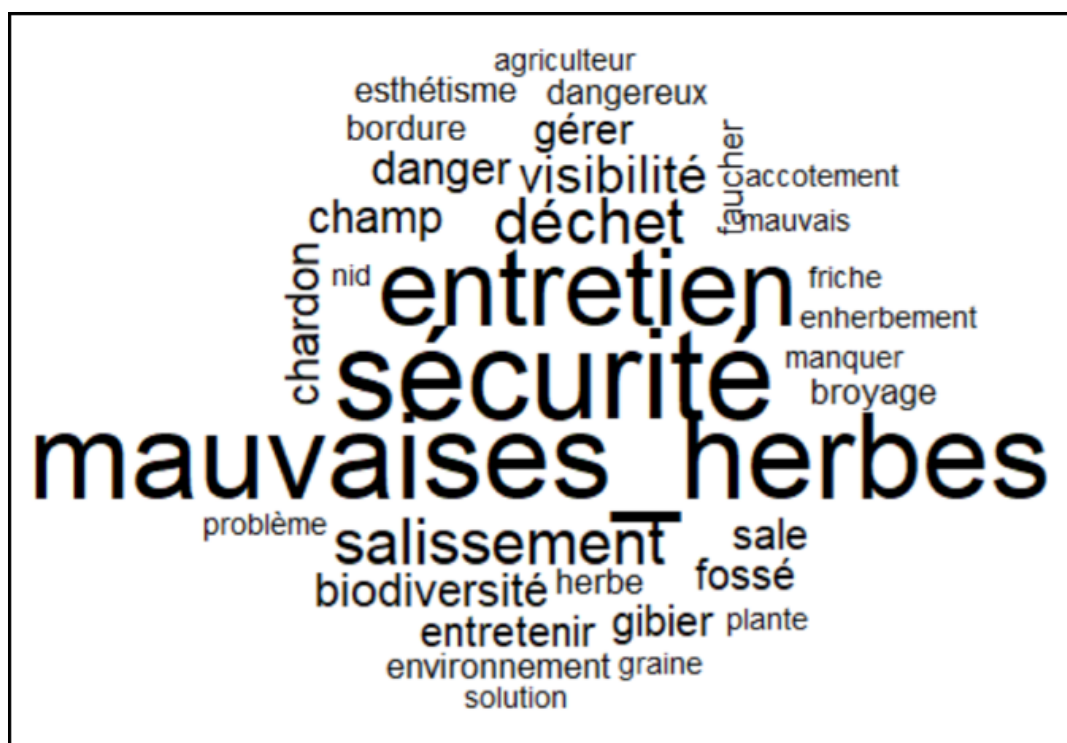


Figure 70 : fréquence des mots utilisés par les agriculteurs pour décrire le bord de route. La taille des mots est proportionnelle à leur fréquence (F. DI PIETRO et C. CHAUDRON, 2017, (figure 2))

Il existe aussi d'autres problèmes soulevés par les gestionnaires comme par exemple des haies qui ne sont pas taillées, ou bien des branches de haies mises par les habitants eux-mêmes dans le fossé pour éviter de les évacuer. Les gestionnaires considèrent que ce n'est pas à eux de ramasser les branches. L'entretien dans ces fossés n'est donc pas fait et l'eau a du mal à s'écouler dans le fond du fossé.

Les gestionnaires et les usagers du réseau routier critiquent aussi les agriculteurs. En effet, pour avoir des rendements un peu plus importants et éviter que les plantes envahissantes telles que les orties ou les chardons propagent leurs graines dans le cadre du fauchage différencié ou tardif, les agriculteurs cultivent ou désherbent de plus en plus près du bord de la route, et encore plus lorsque la route est insérée et qu'une simple bande enherbée sépare la chaussée de la parcelle cultivée. Cela pose un problème de sécurité pour les automobilistes qui ne peuvent plus se croiser facilement, et encore plus dans les virages. Cette diminution de la largeur de la bande enherbée favorise les coulées de boue et le ruissellement venant des parcelles agricoles sur le réseau routier et vers les habitations. Dans le cas de Marolles, lorsque les précipitations sont abondantes, l'eau déstabilise le talus qui s'éboule ensuite et remplit le fossé de terre. Ainsi, le fossé ne joue plus son rôle d'évacuation de l'eau, l'eau traverse la route et cause des dégâts dans les propriétés en contrebas.



Figure 71 : branches laissées dans un fossé (à gauche) et bord de route de faible largeur et désherbée par l'agriculteur (à droite) (C. GAMBU, 2023)



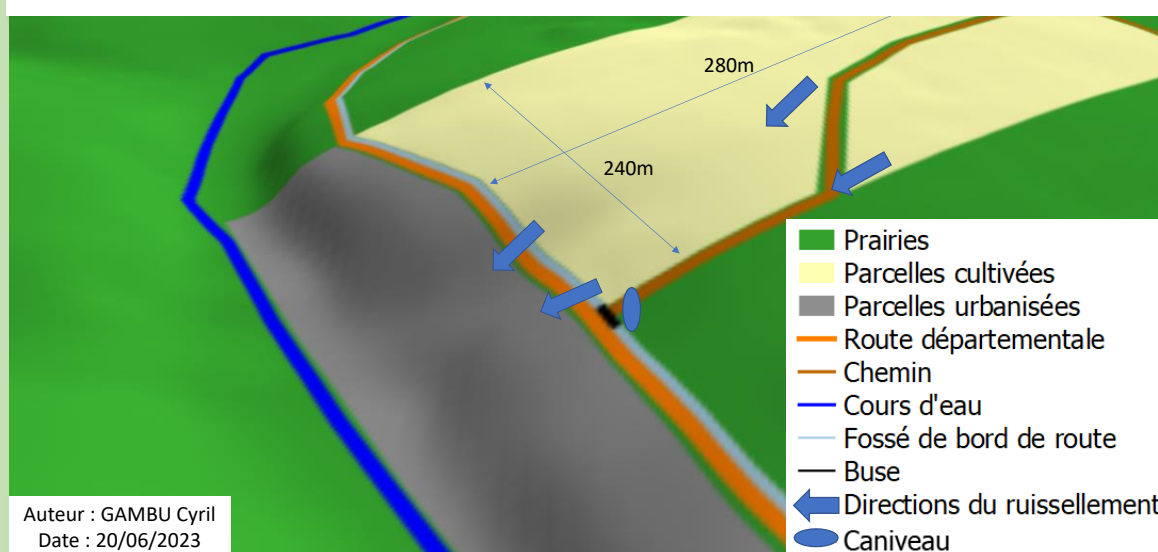
Figure 72 : buse bouchée par des feuilles (à gauche) et saignée réalisée par l'agriculteur pour drainer l'eau de sa parcelle inondée (à droite) (C. GAMBU, 2023)

Ces tensions amènent à une double gestion du bord de route. Les gestionnaires l'entretiennent mais lorsque les usagers considèrent que le fossé ou la buse est bouchée, ou que des chardons perdent leurs graines, les agriculteurs ou les riverains font le nécessaire à leur manière.

Etude de cas sur la commune de Marolles

Dans la commune de Marolles, près de Lisieux, même si cette commune ne fait pas partie des bassins versants initiaux, il a été possible de rencontrer trois acteurs protagonistes sur une zone en question, à savoir un riverain qui subit des inondations, l'agriculteur propriétaire des parcelles pentues et érodées et les agents des routes départementales. Cette zone d'étude fait partie des endroits où l'agence routière départementale doit intervenir régulièrement en cas de précipitations.

Illustration d'une zone générant un conflit entre les différents acteurs



D'après le riverain qui subit des écoulements boueux chez lui, l'eau qui vient des parcelles agricoles (en jaune) doit être retenue dans les parcelles. Auparavant, il y avait plusieurs petites parcelles et une haie au bord de la route, aujourd'hui, il n'y a plus que de grandes parcelles. L'agriculteur est accusé de cultiver de plus en plus près de la route ce qui fragilise le talus et favorise des éboulements qui emplissent le fossé de sédiments. De plus, toujours d'après ce riverain, les agents des routes ne curent pas la terre qui tombe dans le fossé ce qui oblige l'eau de traverser la route.

Le discours des gestionnaires de l'agence routière départementale est le même, sauf qu'ils n'ont pas de solutions pérennes à proposer car il faut intervenir dans les parcelles agricoles, à la source du problème. Un caniveau en béton a été réalisé pour amener les écoulements du chemin dans le fossé mais il ne suffit pas à drainer toute l'eau lorsque les précipitations sont trop importantes.

Quant à l'agriculteur, il n'a pas de solution. Il sait qu'il y a des problèmes lors de fortes pluies mais il considère que ce n'est pas à lui de payer pour planter une haie ou réaliser un talus pour retenir le ruissellement. Il m'a fait part que ce caniveau ne sert à rien et il explique l'éboulement du talus qui a eu lieu depuis que le fossé a été curé très profondément, ce qui a fragilisé le pied du talus.

Ces trois acteurs protagonistes se rejettent la faute et considèrent qu'ils ne sont pas responsables de la situation.

Enfin, un problème qui n'est évoqué par personne mais dont le travail sur le terrain a pu aider à faire ce constat est le fait que les eaux de drainages et les eaux des gouttières sont amenés régulièrement dans les fossés par des tuyaux. Cela amène un écoulement plus important dans les fossés en cas de précipitations mais pose aussi des problèmes de qualité de l'eau qui va ensuite dans le cours d'eau. Quant aux parcelles agricoles, lorsque l'eau ne s'évacue pas de la parcelle, des saignées sont creusées par les agriculteurs pour que l'eau s'évacue sur la route, ce qui dégrade encore plus les chaussées.

Chapitre 3 : Discussions et limites du mémoire de recherche

3.1 Diversité des gestionnaires des routes

Dans le département du Calvados, comme dans tous les départements français, en fonction de l'importance et de la dénomination de la route, plusieurs acteurs sont impliqués dans la gestion des routes et de leurs dépendances.

Sur les six bassins versants étudiés, il y a tous les types de route, c'est-à-dire des autoroutes, des routes départementales et des routes communales. Il y a même des chemins ruraux qui ont également un rôle dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires. Cela implique donc un nombre d'acteurs important. Il y a les communes, les intercommunalités, les agences routières départementales qui sont découpées en centres d'exploitation et qui sont un service du département, et la Direction Interdépartementale des Routes Nord-Ouest. Pour les bassins versants du Tortillon et de la Vire Amont, il y a également les gestionnaires des routes départementales de l'Orne et de la Manche.

Tous ces acteurs font appel à des entreprises privées soit pour le curage des fossés, soit pour le fauchage ou pour réaliser le revêtement de la chaussée. La multiplicité des acteurs chargés de gérer le réseau routier permet une répartition des coûts entre tous mais les subventions de l'Etat étant de plus en plus faible pour les collectivités territoriales, l'entretien est parfois négligé.

De plus, les gestionnaires n'ont pas de suivi rigoureux en ce qui concerne l'entretien du réseau routier. Ils réalisent des travaux uniquement en cas de nécessité. Etant donné que le fauchage des bords de routes est une pratique qui se déroule au minimum deux fois par an sur tout le réseau, les gestionnaires savent en parler plus facilement que l'entretien des fossés qui a lieu une fois de temps en temps, sur une période de retour allant de 2 à 8 ans, voire 10 ans.

Aucun des acteurs rencontrés n'a su donner une quantité précise de sédiments évacués sur une longueur donnée. Cela est d'autant plus difficile sachant que ce sont bien souvent des entreprises privées qui réalisent les curages des fossés donc les sédiments évacués sont pris en charge par l'entreprise elle-même. Pour les agences routières départementales, et notamment celle de Villers-Bocage, le curage est effectué par 3 acteurs différents. Une partie est réalisée par les centres d'exploitation de l'agence routière départementale, une partie est réalisée par la Section d'Entretien Spécialisé du département et une partie est réalisée par des entreprises privées.

Dans les six bassins versants, pour entretenir les plus de 150 km de route, il n'y a pas moins de 30 acteurs publics qui gèrent le réseau routier. Il est donc difficile de tous les rencontrer. Face à cette multitude de gestionnaires qui entretiennent le réseau routier, d'après Y. LEDENT, maire de Le Bû-sur-Rouvres : « *il faudrait un seul système d'entretien de la voirie, ce serait beaucoup plus simple* ».

Etude de cas sur la diversité des gestionnaires dans le bassin versant du Bû

Dans le bassin versant du Bû dans la plaine de Caen, pour un réseau routier de 21 km au total, il y a 11,8 km de routes départementales qui sont gérées par les agences routières départementales de Saint-Pierre-sur-Dives, pour les routes qui se situent sur la commune de Condé-sur-Ifs (D88, D91 et D183, D239), et l'agence routière départementale de Falaise pour les D131 et D239. Le fauchage des bords de routes ou l'entretien des trottoirs le long des routes départementales dans les centres-bourg sont réalisés par les communes.

En ce qui concerne les 9,2 km de route communales, la commune de Le Bû-sur-Rouvres fait faucher les bords de routes par une entreprise privée. En ce qui concerne la chaussée, c'est la communauté de communes Cingal-Suisse Normande qui finance et fait l'entretien nécessaire. Pour les communes de Maizières et de Rouvres, la communauté de commune Pays de Falaise ne prend pas en charge la gestion du réseau routier. Chaque commune est donc libre de choisir les entreprises qui réaliseront les travaux si elle ne les réalise pas elle-même en fonction de ses moyens. Quant à la commune de Condé-sur-Ifs, l'entretien de la chaussée est réalisé par la communauté de communes Val ès Dunes et depuis 2023, le fauchage devient une compétence de la communauté de communes également. Cependant, l'égouttage des arbres le long des routes est toujours réalisé par la commune ou les riverains. Dans ce bassin versant, il y a donc 9 gestionnaires qui entretiennent le réseau routier.

Cette multiplicité de gestionnaires qui entretiennent le réseau routier n'a pas permis de tous les rencontrer. 7 acteurs ont été rencontrés. Les bassins versants du Bû, de la Martinière et de la Petite Seuline ont été assez bien couverts, à la fois par la rencontre d'usagers du réseau routier, d'élus locaux et des agents des routes intercommunales ou départementales. Cependant, les autres bassins versants (Tortillon, Vire amont et Lingèvres) demeurent un mystère en termes d'entretien du réseau routier communal mais aussi en termes de transferts hydro-sédimentaires. Il est vrai qu'aucun usager du réseau routier n'a été croisé pour témoigner d'éventuels zones d'érosion, sauf pour le Lingèvres.

Néanmoins, dans la commune de Marolles, près de Lisieux, même si cette commune ne fait pas partie des bassins versants initiaux, il a été possible de rencontrer trois acteurs protagonistes sur une zone en question, à savoir un riverain qui subit des inondations, l'agriculteur propriétaire des parcelles érodées et les agents des routes départementales.

3.2 Les limites concernant la connectivité structurelle des parcelles au cours d'eau en passant par le réseau routier

Il aurait été intéressant d'utiliser un modèle de simulation de ruissellement pour indiquer de manière plus précise le rôle du réseau routier dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaire entre les parcelles érodées et le réseau hydrographique. De plus, il aurait été possible de connaître quelles quantités de précipitation sont nécessaires pour annuler le rôle de barrage des petits talus et des routes légèrement surélevées.

Par ailleurs, SCALES a été utilisé tel qu'il a été élaboré en 2008 et non par la réflexion critique de la méthode proposée par le mémoire de G. JOUAN en 2008. Dans cet écrit, il est proposé de prendre en compte la proximité des parcelles agricoles avec le réseau hydrographique ou avec le réseau routier dans l'évaluation de l'aléa moyen érosion des sols. Cependant, prendre en compte la proximité des parcelles au réseau routier semble parfois totalement incohérent car de nombreuses parcelles, même très proches de la route, n'apportent aucun sédiment sur le réseau routier, notamment dans le cas des routes surélevées ou de la présence de haies sur talus. Ces parcelles obtiendront un niveau d'aléa plus élevé alors que la probabilité que des sédiments de cette parcelle se retrouvent dans le cours d'eau via une route est faible, voire impossible.

Enfin, la limite la plus importante dans ce mémoire est l'absence de précipitations abondantes durant l'hiver 2022-2023. Il est donc impossible de statuer sur le rôle de chaque route dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires. Les impluviums ont donc été déterminés de manière théorique, uniquement à l'aide des éléments paysagers. Les exutoires des impluviums qui débouchent sur le réseau routier ont été classés au mieux, sans jamais pouvoir vérifier si des sédiments arrivaient sur le réseau routier ou s'ils étaient bloqués par celui-ci. Cela dépend de l'intensité des précipitations. Plus les précipitations sont fortes, plus il y aura de ruissellement qui sortira des impluviums et plus le volume hydro-sédimentaire qui transite des parcelles au cours d'eau et pris en charge par le réseau routier sera important.

Néanmoins, les gestionnaires et les usagers du réseau routier ont pu aider à contrer une partie de ces difficultés. Il a donc été indispensable d'associer les sorties de terrain avec la rencontre des acteurs afin de répondre aux questions posées.

Résumé

Les usagers et les gestionnaires du réseau routier ont permis de comprendre plus aisément le rôle du réseau routier dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires. Cela a permis de mettre en lien le risque d'érosion des sols avec les problèmes rencontrés sur les routes et ses dépendances.

Les gestionnaires sont très nombreux et chacun gère une partie du réseau. Ils peuvent parfois entretenir un tronçon de manière intégrale, notamment concernant les routes départementales. Mais le plus souvent, surtout pour les routes communales, l'entretien est réparti entre les communes et les intercommunalités.

Il existe des tensions entre les gestionnaires et les usagers du réseau routier. Tous se rejettent la faute sur des choses facilement remarquables sur le terrain, à savoir des bords de routes qui se réduisent et qui sont cultivés par les agriculteurs, des branches qui sont déversées dans les fossés et des buses et des fossés bouchés.

Conclusion générale

Pour conclure ce mémoire mettant en lien le réseau routier dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires, ce travail montre l'importance de l'érosion des sols et les défis auxquels sont confrontés les gestionnaires des routes. Il existe plusieurs types de route qui ont un rôle différent dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires. La plupart des haies et des talus au bord des routes ainsi que les routes surélevées retiennent le ruissellement dans les parcelles agricoles. Les routes en creux concentrent et dirigent le ruissellement et les routes insérées n'ont peu voire pas d'impact sur les écoulements hydro-sédimentaires.

Pour comprendre d'où viennent les écoulements chargés en sédiments qui arrivent sur le réseau routier et savoir si les parcelles sont sensibles à l'érosion, une étude hydrologique et sédimentaire a été menée à l'échelle des six bassins versants. Ainsi, le modèle SCALES a été utilisé pour déterminer l'aléa moyen érosion des sols à l'échelle de chaque parcelle. Puis, la connectivité structurelle a été déterminée en représentant les impluviums dont l'exutoire se dirige vers le réseau routier. La plupart des impluviums présentés reposent sur des terres arables, ce qui laisse à penser que de nombreuses quantités de sédiments arrivent sur le réseau routier. Cependant, en fonction de la position de la parcelle par rapport à la route, certaines parcelles très sensibles à l'érosion n'amènent pas de sédiments sur le réseau routier. Dans le bassin versant du Bû caractérisé par des parcelles agricoles découvertes, la longueur et la surface des impluviums sont importantes et couvrent une grande partie de ce bassin versant. Chaque impluvium s'étend sur plusieurs parcelles. A l'inverse, dans les autres bassins versants où les parcelles encloses de haies dominant, les impluviums sont petits et peu nombreux. Chaque impluvium s'étend le plus souvent sur une seule parcelle, voire même sur une seule partie de la parcelle.

Pour mieux comprendre le rôle du réseau routier dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires, il faut tenir compte à la fois de la sensibilité des sols à l'érosion, de la longueur et de la surface des impluviums, des contraintes que peuvent rencontrer les écoulements avant d'atteindre le réseau routier, et enfin de la manière dont est organisé le réseau hydrographique et comment le réseau routier interfère avec celui-ci. Dans le bassin versant du Lingèvres, il y a le plus grand nombre d'intersection où des routes croisent le réseau hydrographique.

Cartographier l'aléa moyen érosion des sols et indiquer la probabilité que les sédiments transitent jusqu'au cours d'eau est donc une tâche difficile à réaliser tant il y a d'éléments à prendre en compte, à savoir la pente, la surface et la longueur de l'impluvium, la nature du sol et son couvert végétal, mais aussi les précipitations.

Malgré les limites liées à l'utilisation du modèle SCALES, ce modèle offre de nombreux atouts pour cartographier l'aléa moyen érosion des sols à l'échelle des parcelles des six bassins versants.

Les routes, en tant qu'infrastructures linéaires de transport, agissent comme des voies de drainage et de concentration des écoulements, entraînant le transport de sédiments. Le réseau routier est donc une extension du réseau hydrographique. Parmi ces 5 bassins versants étudiés (Tortillon exclu), ce sont les écoulements de 233 hectares qui sont directement dirigés au cours d'eau via le réseau routier. Il semble que les sédiments de 5 % de la surface érodée dans toutes les parcelles agricoles des 5 bassins versants rejoignent directement le cours d'eau via le réseau routier. Cette valeur peut paraître faible à cause des nombreuses haies et talus au bord des routes mais le rôle du réseau routier est loin d'être négligeable. D'ailleurs, sur les 1 086 hectares d'impluviums, 234 hectares, soit 22 % de la surface totale des impluviums, sont connectés au cours d'eau par le réseau routier.

Les entrées de champs jouent un rôle dans le transfert des sédiments. Cependant, le ruissellement qui sort des parcelles agricoles sensibles ou non à l'érosion traversent aussi le bord de route, que ce soit une haie ou une bande enherbée.

Quant au réseau routier, au moins 15 km servent d'extension au réseau hydrographique. Cela représente 12,7 % de la longueur totale des routes parmi ces 5 bassins versants.

Les gestionnaires des routes se retrouvent souvent dans une position où ils subissent les conséquences du ruissellement. De plus, ils estiment que les épisodes pluvieux sont de plus en plus intenses. Les contraintes budgétaires et les limites de responsabilités peuvent rendre difficile l'aménagement de mesures efficaces pour contrôler les transferts hydro-sédimentaires avant qu'ils n'arrivent sur le réseau routier. Les aménagements pour retenir l'eau dans les parcelles relèvent des agriculteurs et des syndicats mixtes. Ce n'est pas nécessairement dans les bassins versants où l'aléa moyen érosion des sols est le plus élevé que des problèmes de ruissellement ont lieu. En effet, d'après les gestionnaires des routes rencontrés, les coulées de boue et le remplissage des fossés par des sédiments ont déjà eu lieu dans les bassins versants de la Martinière et du Bû. Ces phénomènes n'ont pas été mentionnés dans les bassins versants bocagers.

Les gestionnaires sont très nombreux et chacun gère une partie du réseau. Ils peuvent parfois entretenir un tronçon de manière intégrale, notamment concernant les routes départementales. Mais le plus souvent, surtout pour les routes communales, l'entretien est réparti entre les communes et les intercommunalités.

Il existe des tensions entre les gestionnaires et les usagers du réseau routier. Tous se rejettent la faute sur des choses facilement visibles sur le terrain, à savoir des bords de routes qui se réduisent et qui sont cultivés par les agriculteurs, des branches qui sont déversées dans les fossés par certains riverains ou la présence de déchets en tous genres jetés par les usagers dans les dépendances routières. Des buses et des fossés semblent aussi bouchés depuis un certain temps.

Les entretiens très enrichissants avec les différents gestionnaires mais aussi avec les usagers du réseau routier m'ont apporté des connaissances que je n'avais pas sur leur profession, mais également dans d'autres domaines car tous sont sensibles aux problèmes d'érosion et de ruissellement qui ont des conséquences de plus en plus importantes. J'ai pu voir leurs différentes pratiques de gestion, mais aussi leur point de vue sur ce qu'il faudrait faire ou améliorer. Quant au travail sur le terrain, c'était l'une des meilleures étapes de ce mémoire, qui alliait observation et compréhension des potentiels transferts de sédiments. Etudier 6 bassins versants qui se situent parfois à plusieurs dizaines de kilomètres les uns des autres m'a permis de découvrir un département que je connaissais peu et de voir la diversité des paysages, même si cela a nécessité de parcourir de nombreuses centaines de kilomètres.

Ce mémoire étant réalisé, il reste encore beaucoup de questions en suspens.

Une étude historique permettrait de connaître comment ont évolué les routes et bords de route, pour savoir si l'aménagement des fossés a été fait en même temps que la route ou s'ils ont été fait après, pour éviter que l'eau des parcelles agricoles aille sur la route par exemple. De plus, cela permettra d'expliquer pourquoi certaines routes du Sud du département sont toutes droites alors que d'autres sont sinueuses. Deux hypothèses ont été émises par les gestionnaires, soit, c'est pour relier très vite deux villes, soit, c'est pour améliorer la sécurité routière.

Il serait intéressant de savoir si les déchets plastiques ramassés par les gestionnaires sont ensuite triés ou non pour les recycler.

Le ramassage de l'herbe après le fauchage pour l'emmenner dans un méthaniseur pose des questions de coût économique et environnemental. En effet, il faut une machine qui ramasse l'herbe puis il faut ensuite la transporter jusqu'au méthaniseur. Le coût financier est estimé entre 286 € et 577 € par hectare et par coupe d'après l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Il faudrait approfondir cette étude, notamment à l'échelle de plusieurs années et sur différents types de territoire (openfield, bocage, littoral et montagne).

Quant au ruissellement qui s'effectue sur le réseau routier, un modèle pourrait être mis en place. Ce modèle prendra en compte la structure paysagère de la zone d'étude, mais aussi l'insertion de la route et de ces dépendances dans le paysage, l'organisation dans l'espace du réseau routier, la largeur et la pente de la route, la présence de fossés ou de talus au bord des routes. La principale variable serait évidemment le volume de précipitation. Plus les précipitations sont importantes, plus le réseau routier joue un rôle dans le transfert de sédiments jusqu'au cours d'eau. Ainsi, il sera facile de modéliser le risque d'inondation dans les zones urbaines pour le ruissellement provenant du réseau routier.

En plus de quantifier les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires qui transitent sur le réseau routier, il est possible de faire des analyses de l'eau pour savoir quels polluants et surtout, quels volumes vont dans les cours d'eau.

Il reste beaucoup à faire en ce qui concerne le rôle du réseau routier comme objet d'étude.

Références bibliographiques

Articles de revues scientifiques

- AUZET, V. (1987). L'érosion des sols cultivés en France sous l'action du ruissellement. *Annales de géographie*, vol 96 (n°537), pages 529-556. <https://doi.org/10.3406/geo.1987.20627>
- CADOR, J-M. (1996). Les eaux et leur gestion en Basse-Normandie : La Basse-Normandie. *Noroi*, vol 43 (n°169), pages 35-43. <https://doi.org/10.3406/noroi.1996.6680>
- DELAHAYE, D. (1996). Processus de ruissellement et d'érosion des sols en Basse-Normandie : La Basse-Normandie. *Noroi*, vol 43 (n°169), pages 45-59. <https://doi.org/10.3406/noroi.1996.6681>
- DUKE, G.D., KIENZLE, S.W., JOHNSON, D.L. et BYRNE, J.M. (2003) – Improving overland flow routing by incorporating ancillary road data into Digital Elevation Models. *Journal of Spatial Hydrology*, vol 3, (n° 2), pages 1-27. https://www.researchgate.net/publication/228581992_Improving_Overland_Flow_Routing_by_Incorporating_Ancillary_Road_Data_Into_Digital_Elevation_Models
- DI PIETRO, F. et CHAUDRON, C. (2017). Les paysages de grande culture et les bords de route. *Projets de paysage*, vol 17. <https://doi.org/10.4000/paysage.4389>
- GRUSZOWSKI, K. E., FOSTER, I. D. L., LEES, J. A. et CHARLESWORTH, S. M. (2003). Sediment sources and transport pathways in a rural catchment, Herefordshire, UK. *Hydrological processes*, vol 17 (n°13), pages 2665-2681. <https://doi.org/10.1002/hyp.1296>
- JONES, J.A., SWANSON, F.J., WEMPLE, B.B. et SNYDER, K.U. (2000). Effects of Roads on Hydrology, Geomorphology, and Disturbance Patches in Stream Networks. *Conservation biology*, vol 14 (n°1), pages 76-85. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99083.x>
- MEROT, P., GASCUEL-ODOUX, C., WALTER, C., ZHANG, X. et MOLENAT, J. (1999). Influence du réseau de haies des paysages bocagers sur le cheminement de l'eau de surface. *Revue des sciences de l'eau*, vol 12 (n°1), pages 23-44. <https://doi.org/10.7202/705342ar>
- PAPY, F. (1992). Effets des structures agraires sur le ruissellement et l'érosion hydrique. *Bulletin de l'Association de géographes français*, vol 69 (n°2), pages 115-125. <https://doi.org/10.3406/bagf.1992.1619>
- REULIER, R., DELAHAYE, D., VIEL, V. et DAVIDSON R. (2018). Connectivité hydro-sédimentaire dans un petit bassin versant agricole du nord-ouest de la France : de l'expertise de terrain à la modélisation par Système Multi-Agent. *Géomorphologie : revue du Groupe français de géomorphologie*, vol 23 (n°4), pages 327-340. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11857>
- REULIER, R., DELAHAYE, D., VIEL, V., PREUX, T. (2015) *L'érosion des sols sévit aussi dans le bocage !*. Faune Sauvage, n°308, Pages 43-47. <https://hal.science/hal-01485837>
- VIEL, V., DELAHAYE, D. et REULIER, R. (2014). Impact de l'organisation des structures paysagères sur les dynamiques de ruissellement de surface en domaine bocager. Etude comparée de 3 petits bassins versants bas-normands. *Géomorphologie*, vol 20 (n°2), pages 175-188. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.10619>

WEMPLE, B.C., SWANSON, F.J. et JONES, J.A. (2001). Forest roads and geomorphic process interactions, Cascade Range, Oregon. *Earth surface processes and landforms*, vol 26 (n°2), pages 191-204. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200102\)26:2<191::AID-ESPI175>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200102)26:2<191::AID-ESPI175>3.0.CO;2-U)

Livres et rapports d'étude

AFAC Agroforesterie, (2019). *Référentiel national sur la typologie des haies, modalités pour une gestion durable*. 122 pages.

AUZET, A.-V. (1990). *L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : Aspect aménagements*. Centre d'Études et de Recherches Eco-Géographiques, ministère de l'Environnement / ministère de l'Agriculture, 36 pages.

BRUNET, P. (2001). *Inventaire régional des paysages en Basse- Normandie*, Direction régionale de l'environnement de Basse-Normandie, 2 Tomes, Caen, 871 pages.

CEREMA (2018). *La gestion différenciée des dépendances vertes. Phase 1 : état des lieux et mise en évidence de perspectives relatives à la gestion différenciée des dépendances vertes des infrastructures de transport*, 67 pages.

GOUINEAU, C. (2020). *Bon état des cours d'eau en Normandie occidentale - prise en compte des transferts par ruissellement érosif : protocole opérationnel de pré-identification des zones contributives*. Cellule d'Animation Technique pour l'Eau et les Rivières (CATER) Calvados Orne Manche. 45 pages. https://www.cater-com.fr/fichiers/mediatheque/documents/CATER-COM_ER_1_pr%C3%A9identification.pdf

GOUINEAU, C., VIEILLEDENT, C. et FOURNIALS, X. (2021). *La restauration du Bocage : concevoir et mettre en œuvre un programme d'action en faveur des milieux aquatiques - Fiche 9 - Aménager ou déplacer une entrée de champ*. Cellule d'Animation Technique pour l'Eau et les Rivières (CATER) Calvados Orne Manche. Pages 61-64.

LE BISSONNAIS, Y., TORETTE, J., BARDET, C. et DAROUSSIN, J. (2002) - *L'érosion hydrique des sols en France*, Rapport INRA - IFEN, 106 pages.

LE GOUEE, P. et DELAHAYE, D. (2008). *Modélisation et cartographie de l'aléa érosion des sols et des espaces de ruissellement dans le Calvados*. Rapport d'étude (non publié). 242 pages.

MORIN, F. et BIZET, V. (2020). *Entretien des fossés et des bas-côtés routiers*, Guide technique départemental. Conseil Départemental des Côtes-d'Armor. 48 pages.

SETRA (1998). *L'entretien courant de l'assainissement de la route*. Guide pratique. Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes. 139 pages.

ZDANEVITCH, I., LENCAUCHEZ, J., DUFFO, L., PINEAU, C., ANDRE, L. et RIBEIRO, T. (2018). *CARMEN - CARactérisation des HAP et des métaux dans les herbages fauchés en bord de routes pour la MEthanisation*. 138 pages. <https://bibliothèque.ademe.fr/cadic/2697/carmen-caracterisation-hap-métaux-herbages-methanisation-2018.pdf>

Thèses

- BOCHER, E. (2005). *Impacts des activités humaines sur le parcours des écoulements de surface dans un bassin versant bocager : essai de modélisation spatiale : Application au Bassin versant du Jaudy-Guindy-Bizien (22)*. [Thèse de doctorat, Université de Rennes 2 – Haute-Bretagne], 312 pages. <https://shs.hal.science/tel-01093074>
- DELAHAYE, D. (1992). *Approches spatialisées et analyses expérimentales des phénomènes de ruissellement et d'érosion des sols : Application aux systèmes de production agricole du Calvados* [Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie], 229 pages.
- REULIER, R. (2015). *Impact de la structure paysagère sur les dynamiques spatiales des transferts hydro-sédimentaires : approche par simulation multi-agents* [Thèse de doctorat, Université de Caen Normandie], 350 pages. <https://hal.science/tel-01264723>
- VIEL, V. (2012). *Analyse spatiale et temporelle des transferts sédimentaires dans les hydrosystèmes normands : Exemple du bassin versant de la Seulles* [Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie], 367 pages. <https://theses.hal.science/tel-00803223>

Mémoires

- GAIN, N. (2007). *Les rotations culturales et la gestion des intercultures dans le département du Calvados : de la production de données à leur intégration dans le modèle environnemental Scales* [Mémoire de Master 1, Université de Caen Basse-Normandie], 193 pages.
- HINFRAY, M. (2008). *Analyse des dynamiques des matières en suspension en tête de bassin bilan sédimentaire du bassin-versant du Tortillon* [Mémoire de Master 1, Université de Caen Basse-Normandie], 151 pages.
- JOUAN, G. (2008). *Réflexion critique de la méthode et des résultats du modèle géographique SCALES : Une méthodologie novatrice de cartographie d'évaluation de l'aléa érosion des sols appliquée au Calvados à l'échelle de l'îlot PAC* [Mémoire de Master 1, Université de Caen Basse-Normandie], 217 pages.
- PAITEL, J. (2007). *Les dynamiques spatiales du ruissellement en paysages bocager et d'openfield : Exemples des bassins versants du Tortillon et de Vendeuvre* [Mémoire de Master 1, Université de Caen Basse-Normandie], 117 pages.
- QUIGNEAUX, R. (2020). *La déconnexion hydrologique sur le bassin versant du Tortillon* [Mémoire de Master 1, Université de Caen Normandie], 71 pages.
- REULIER, R. (2010). *L'analyse des connexions hydrologiques pour mieux comprendre les dynamiques de transferts sédimentaires : le rôle des éléments linéaires. L'exemple du bassin-versant du Lingèvres* [Mémoire de Master 1, Université de Caen Basse-Normandie], 120 pages.
- RONGERE, F. (2014). *Analyse des pratiques de gestion des bords de route et perception des agriculteurs de ces espaces d'interface zones potentiellement réservoirs de biodiversité* [Mémoire de fin d'études, AGROCAMPUS OUEST] 72 pages. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01095674>

Sites internet

- Agencebio. (sans date) <https://www.agencebio.org> (consulté le 21 avril 2023).
- Département des Côtes d'Armor. (sans date) <https://cotesdarmor.fr/le-departement/competences/routes-et-mobilites/fauchage-differencie-votre-avis-nous-interesse> (consulté le 21 avril 2023)
- Définition - Unité urbaine / Agglomération / Agglomération multicomcommunale / Agglomération urbaine / Agglomération / Agglomération multicomcommunale / Agglomération urbaine INSEE. (2020). <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1501> (consulté le 23 décembre 2022)
- Dossier complet INSEE – Commune de Caen (14118) (2022). <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-14118> (consulté le 22 décembre 2022)
- Fiches techniques Cater Calvados Orne Manche. (sans date). <https://www.cater-com.fr/dossiers-thematiques/ruissellement-et-erosion/fiches-techniques.html> (consulté le 21 avril 2023)
- Géoportail. (sans date) <https://www.geoportail.gouv.fr/> (consulté le 17 janvier 2023)
- La préfecture et les services de l'État en région Normandie. (2015) <https://www.prefectures-regions.gouv.fr/normandie/Region-et-institutions/Portrait-de-la-region/Geographie/Geographie-de-la-Normandie> (consulté le 17 janvier 2023)
- Les caractéristiques du climat en Normandie. DREAL Normandie. (2022) <https://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/les-caracteristiques-du-climat-en-normandie-a3329.html> (consulté le 10 janvier 2023)
- Mémento de statistiques des transports 2019. (2020) <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/memento-de-statistiques-des-transports-2019> (consulté le 23 décembre 2022)
- Recensement agricole 2020. (2020) https://stats.agriculture.gouv.fr/cartostat/#bbox=534853,6942922,79000,44727&c=indicator&i=otex_2020_1.otefdd20&t=A02&view=map11 (consulté le 23 décembre 2022)
- Routes départementales. (sans date) <https://www.calvados.fr/cms/render/live/fr/sites/calvados/accueil/faq/routes-departementales.html> (consulté le 17 janvier 2023)
- Syndicat Mixte du Bassin Versant de la Touques (sans date) <http://www.smbvt.fr/le-bassin-versant-de-la-touques/la-touques/> (consulté le 17 mai 2023)

Données SIG

- Cadastre - Extraits du Plan Cadastral Informatisé du Calvados par EPCI. (2022) <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/cadastre-extraits-du-plan-cadastral-informatise-du-calvados-par-epci-2022/> (consulté le 10 mars 2023)
- Géoservices. (sans date) <https://geoservices.ign.fr> (consulté pour la dernière fois le 10 mars 2023)

Annexes

Table des annexes :

PAGE 156 : Principales questions posées lors des entretiens avec les gestionnaires des routes

PAGE 157 : Questions adressées aux usagers du réseau routier

PAGE 158 : Transferts sédimentaires dans le bassin versant du Lingèvres

PAGE 159 : Carte du réseau routier exploité par l'agence routière départementale de Saint-Pierre-sur-Dives

PAGE 160 : Carte du réseau routier exploité par l'agence routière départementale de Villers-Bocage

PAGE 161 : Carte des pressions érosives induites par la durée de l'interculture à l'échelle des parcelles agricoles dans les bassins versants

PAGE 162 : Carte des pressions érosives induites par la gestion de l'interculture à l'échelle des parcelles agricoles dans les bassins versants

PAGE 163 : Carte des pressions érosives générées par l'inclinaison des pentes à l'échelle des parcelles agricoles dans les bassins versants

PAGE 164 : Carte des pressions érosives générées par l'instabilité structurale des sols à l'échelle des parcelles agricoles dans les bassins versants

PAGE 165 : Carte des pressions érosives générées par l'érosivité pluviale à l'échelle des parcelles agricoles dans les bassins versants

Principales questions posées lors des entretiens avec les gestionnaires des routes

Les fossés sont-ils toujours curés de la même manière : y a-t-il un léger curage annuel et un curage plus important sur un pas de temps de plusieurs années ? Quelles sont les techniques de curages ?

A quelle saison faites-vous le curage ?

Est-ce que sur une route, vous curez d'un bout à l'autre ou est-ce que vous faites certains petits tronçons dans le but de ralentir l'écoulement de l'eau ?

Est-ce que les fossés se jettent directement dans le cours d'eau ou est-ce qu'ils vont vers une bande enherbée ou dans un bassin de rétention ?

Que retrouvez-vous dans les fossés ? Est-ce toujours de la terre où il y a des graviers ou des cailloux ?

Que devient la terre que vous prélevez ? Quels sont les quantités ?

Les buses posent-elles problème dans l'écoulement de l'eau ?

Avez-vous déjà consolidé des talus, après l'arrachage d'une haie par exemple ?

Connaissez-vous une zone du bassin versant, ou d'un bassin versant proche où vous devez vous rendre régulièrement pour nettoyer la chaussée, déboucher une buse ou curer un fossé après un épisode pluvieux ?

En ce qui concerne le fauchage des bords de route et la taille des haies et des arbres, que deviennent les déchets ?

Avez-vous déjà pensé à ramasser l'herbe pour la valoriser comme dans certains départements ou des machines sont achetées pour broyer et ramasser l'herbe ?

Y a-t-il un fauchage tardif ?

Ressentez-vous un impact grâce à cette manière de faucher ?

Dans les bassins versants où vous intervenez, où les parcelles ont un aléa érosion des sols moyen d'après le modèle SCALES, avez-vous déjà eu besoin d'intervenir régulièrement, le problème est-il récent ou ancien ?

Des aménagements ont-ils été réalisés où y a-t-il des projets pour limiter le ruissellement dans ces zones ?

Dans le cadre d'un mémoire de Master 1 Géographie parcours environnement, risques et diagnostics territoriaux, plusieurs questions sont adressées aux habitants et usagers réguliers des routes pour déterminer le rôle du réseau routier et de ses dépendances dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires.

Q1 : Quel(s) moyen(s) de transport utilisez-vous lorsque vous empruntez cette route ?

- La voiture Le vélo La marche à pied Autre :

Q2 : A quelle fréquence empruntez-vous cette route ?

- Une fois par jour Deux fois par jour Plusieurs fois par jour
 Tous les jours Tous les deux ou trois jours

Q3 : Voyez-vous régulièrement les agents des routes entretenir les bas-côtés ?

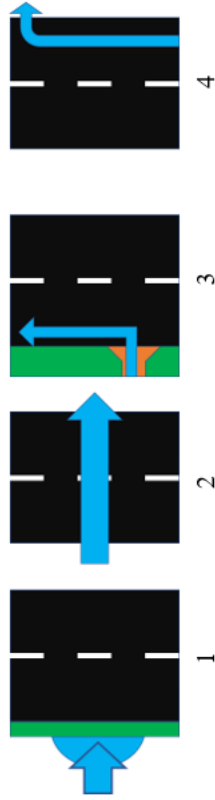
- Oui Non Si oui, à quelle fréquence ?

Q4 : Des écoulements ont-ils souvent lieu ?

- Oui Non Jamais Si oui, à quelle fréquence ?

Q5 : Quelle est la trajectoire l'écoulement ?

- 1) Il est stoppé par la route
 2) Il traverse la route
 3) Il sort d'une entrée de champ ou d'un chemin
 4) Il s'écoule le long de la route et va vers un fossé



Q6 : Coule-t-il :

- Sur la route Dans le fossé Sur la route et dans le fossé

Q7 : D'où vient l'eau ?

Montrer sur la carte.

Q8 : Un écoulement vous a-t-il marqué : après un orage d'été, après une tempête d'hiver, suite à un événement pluvieux rare ou pas forcément ? L'écoulement était-il important, quelle était son ampleur ? D'où venait l'eau ? Des aménagements comme une haie, une fascine, un talus, un fossé ont-ils été mis en place après pour éviter que ce phénomène se reproduise ? Était-ce dû à un mauvais entretien d'un fossé ou d'une canalisation, d'un champ sans couvert végétal ou bien d'une entrée de champ ?

8 mars 2013
 Lingèvres

Averse étudiée:
20,8 mm

Intensité max.
1,6 mm sur 10 min

Précipitations antérieures
 à 24h: **3,8 mm**
 à 48h: **3,8 mm**

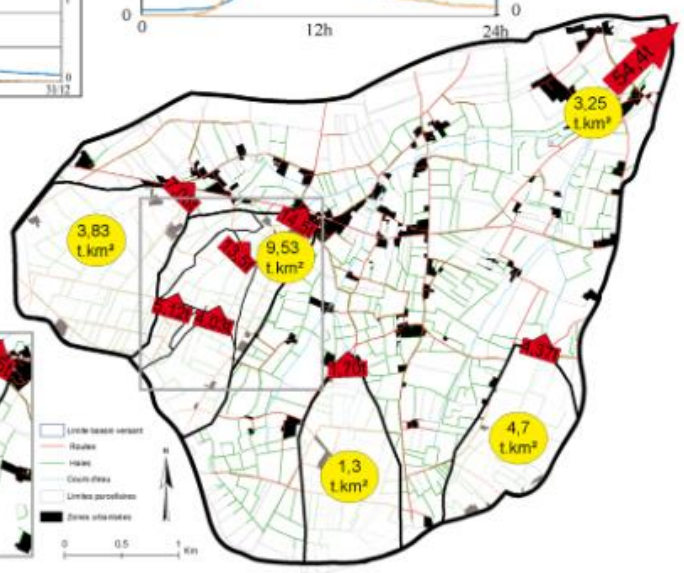
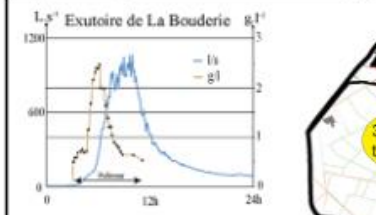
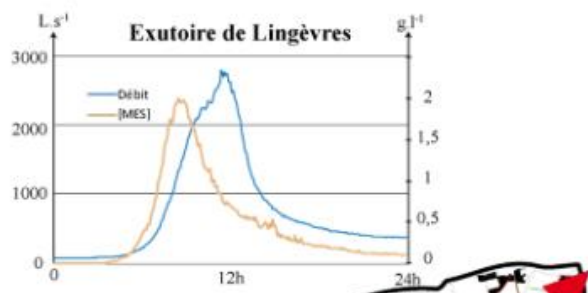
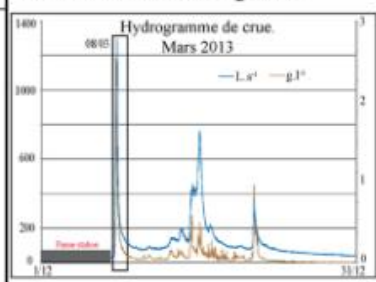
Exutoire
 Pic de crue:
2814 l/s à 11h18
 Pic de [c]:
1,96 g/l à 8h30

54,4T
 exportées du bassin

x 3
 Nbr de préleveurs

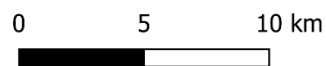
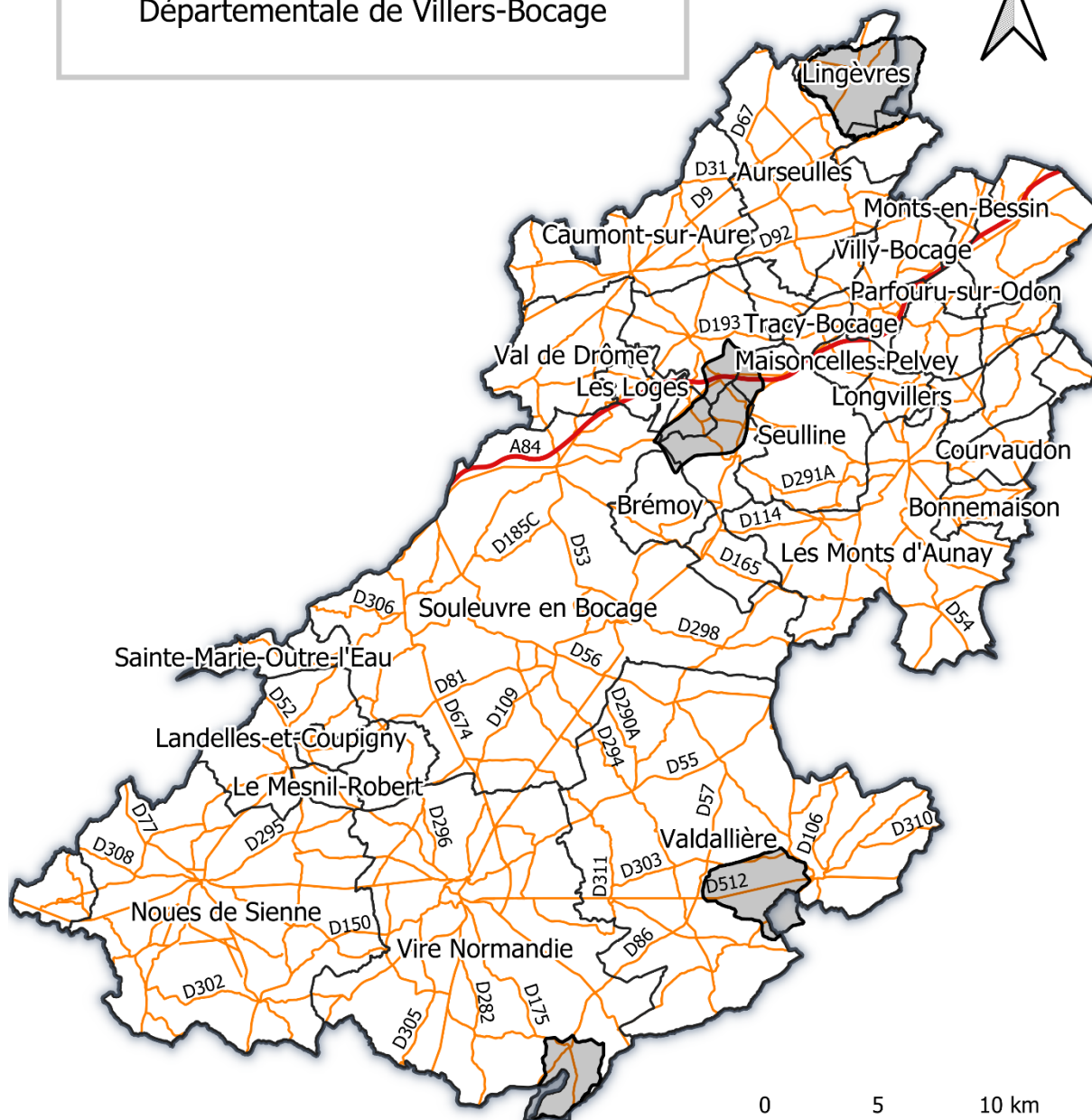
x 26
 Nbr de prélèvements





Transferts sédimentaires dans le bassin versant de Lingèvres



Carte des transferts sédimentaires dans le bassin versant du Lingèvres (R. REULIER, 2015 (page 143))

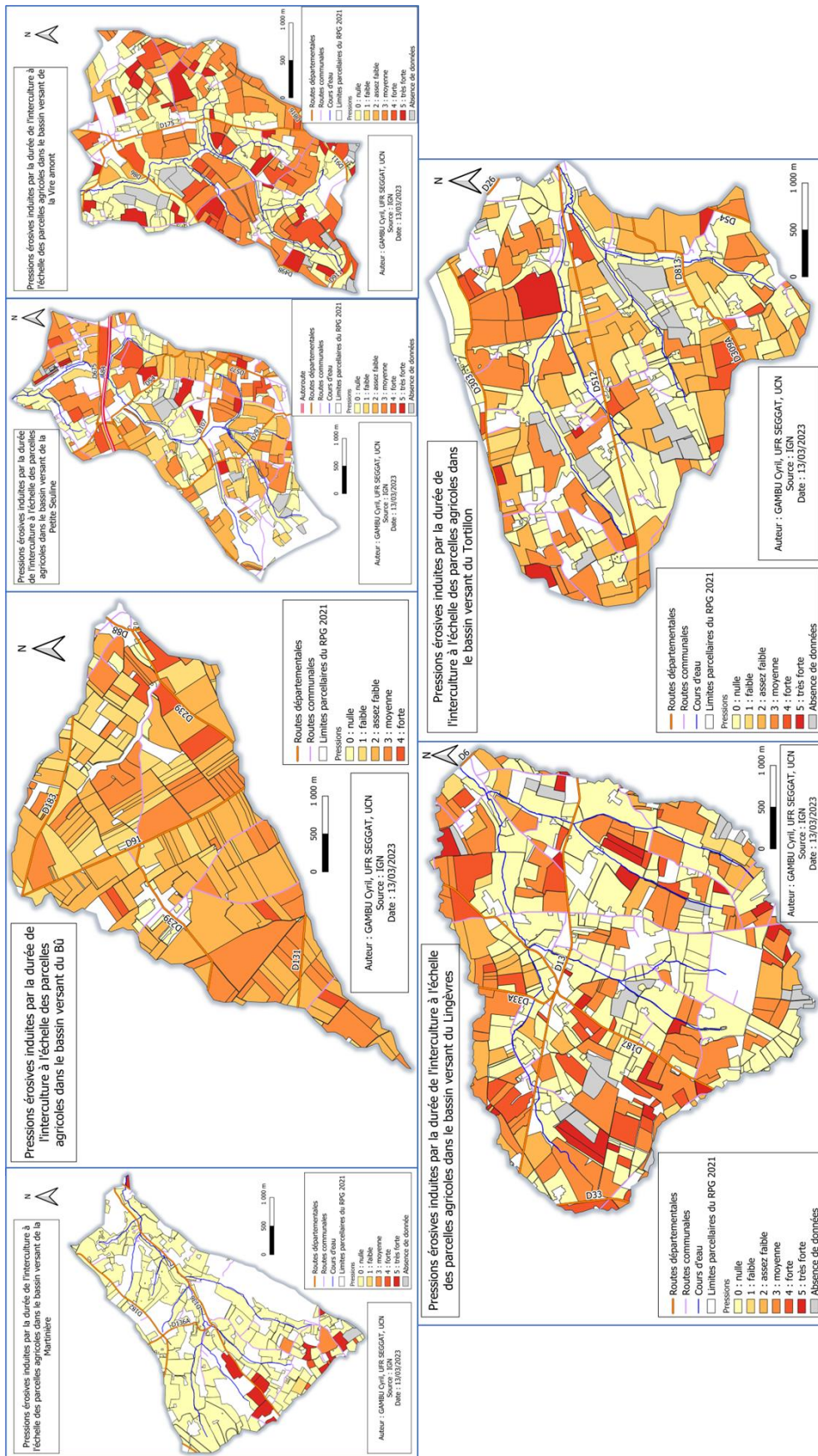
Territoire de l'Agence Routière
Départementale de Villers-Bocage



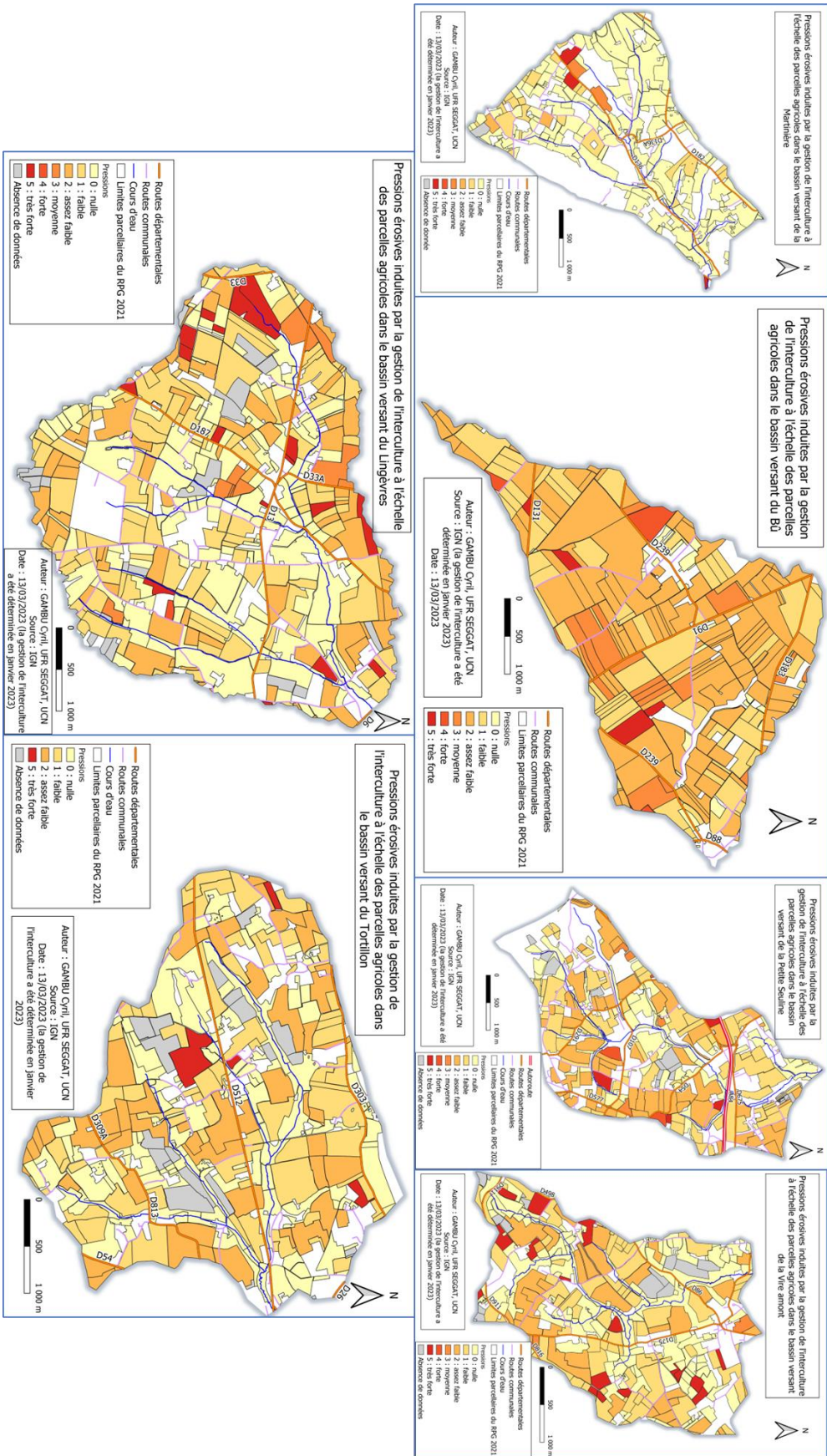
-  Limite des bassins versants
-  Limites communales
-  Autoroute
-  Routes départementales

Auteur : GAMBU Cyril
Source : IGN
Date : 06/02/2023

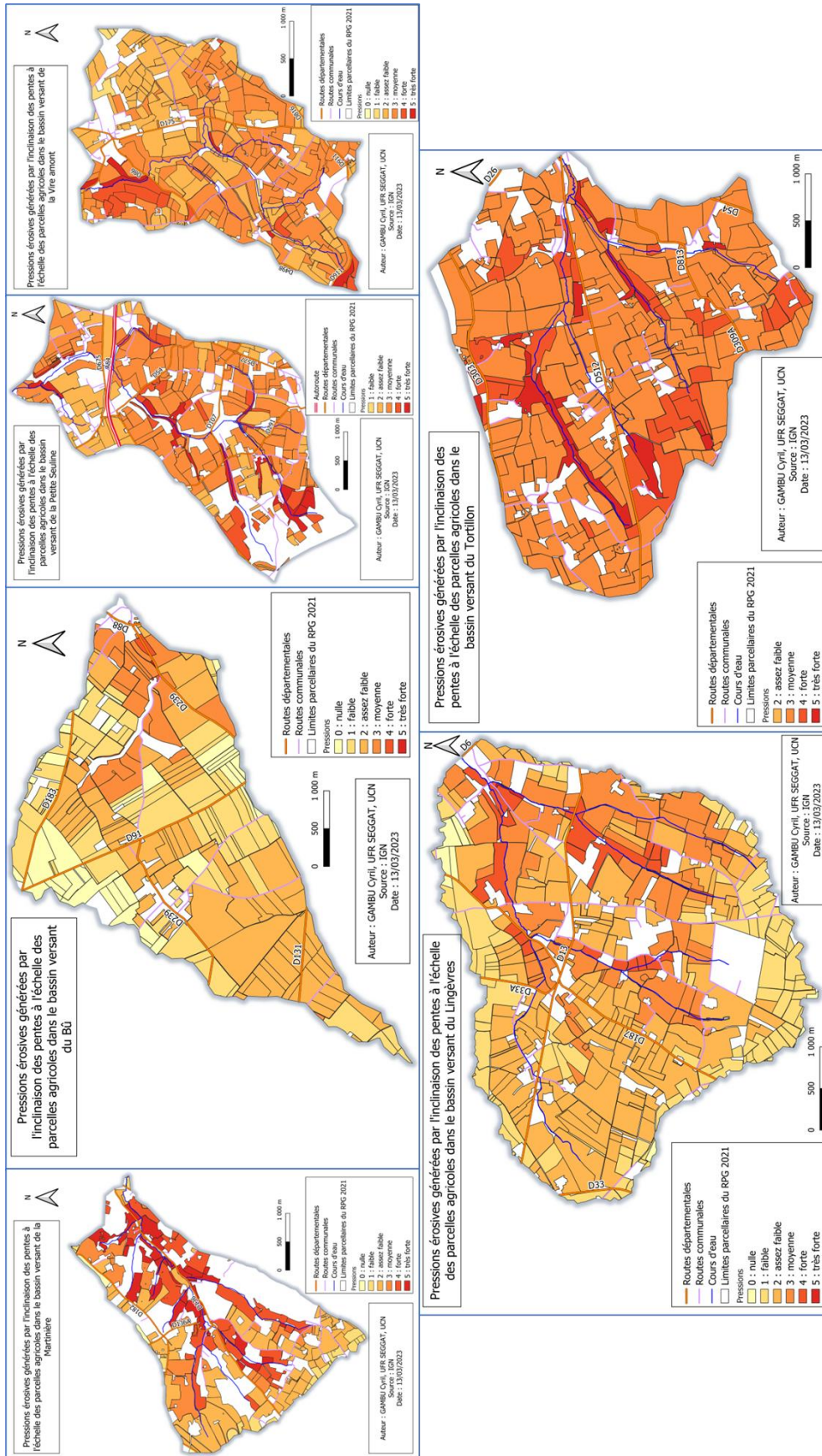
Carte du réseau routier exploité par l'agence routière départementale de Villers-Bocage



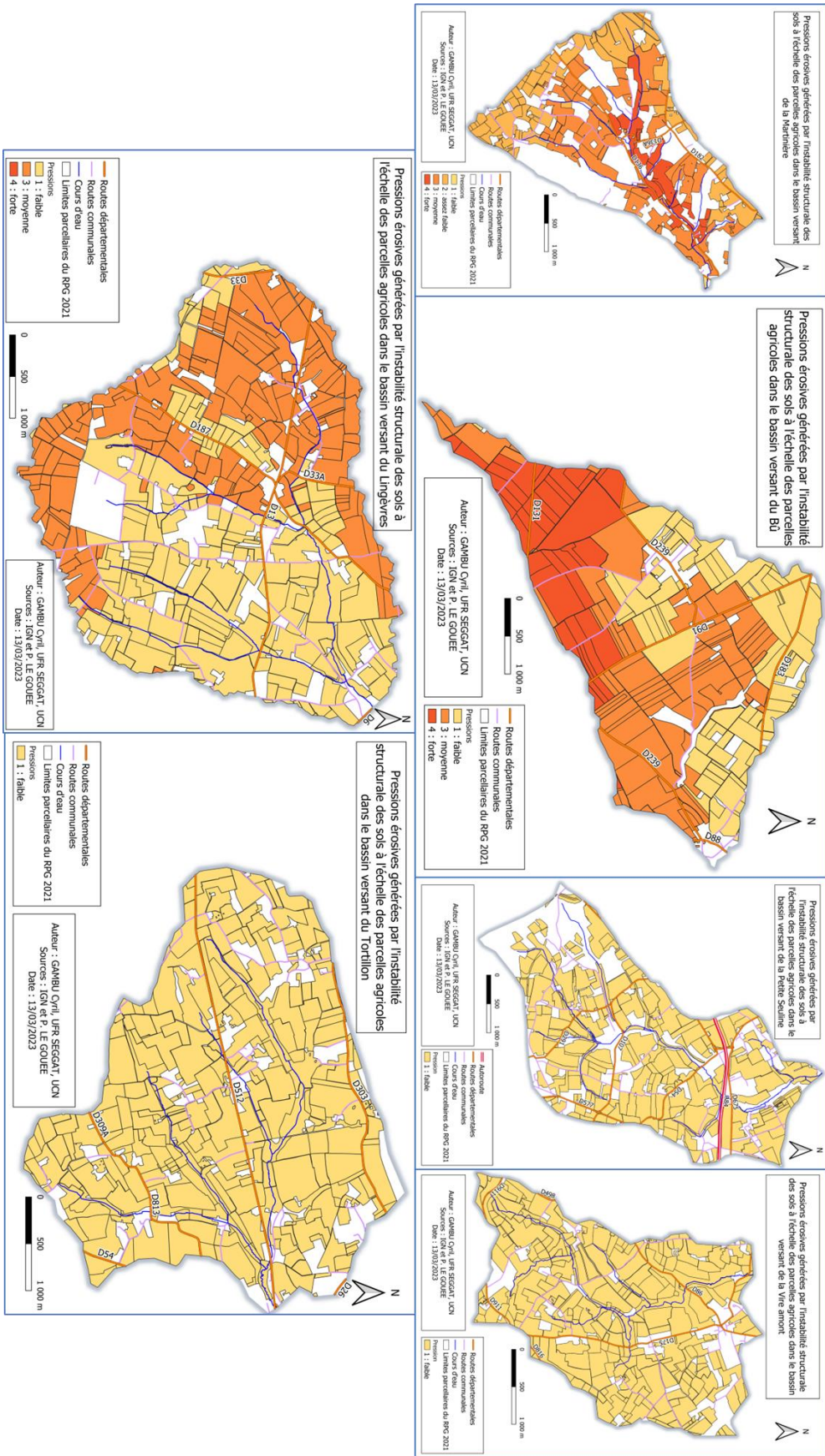
Carte des pressions érosives induites par la durée de l'interculture à l'échelle des parcelles agricoles dans les bassins versants



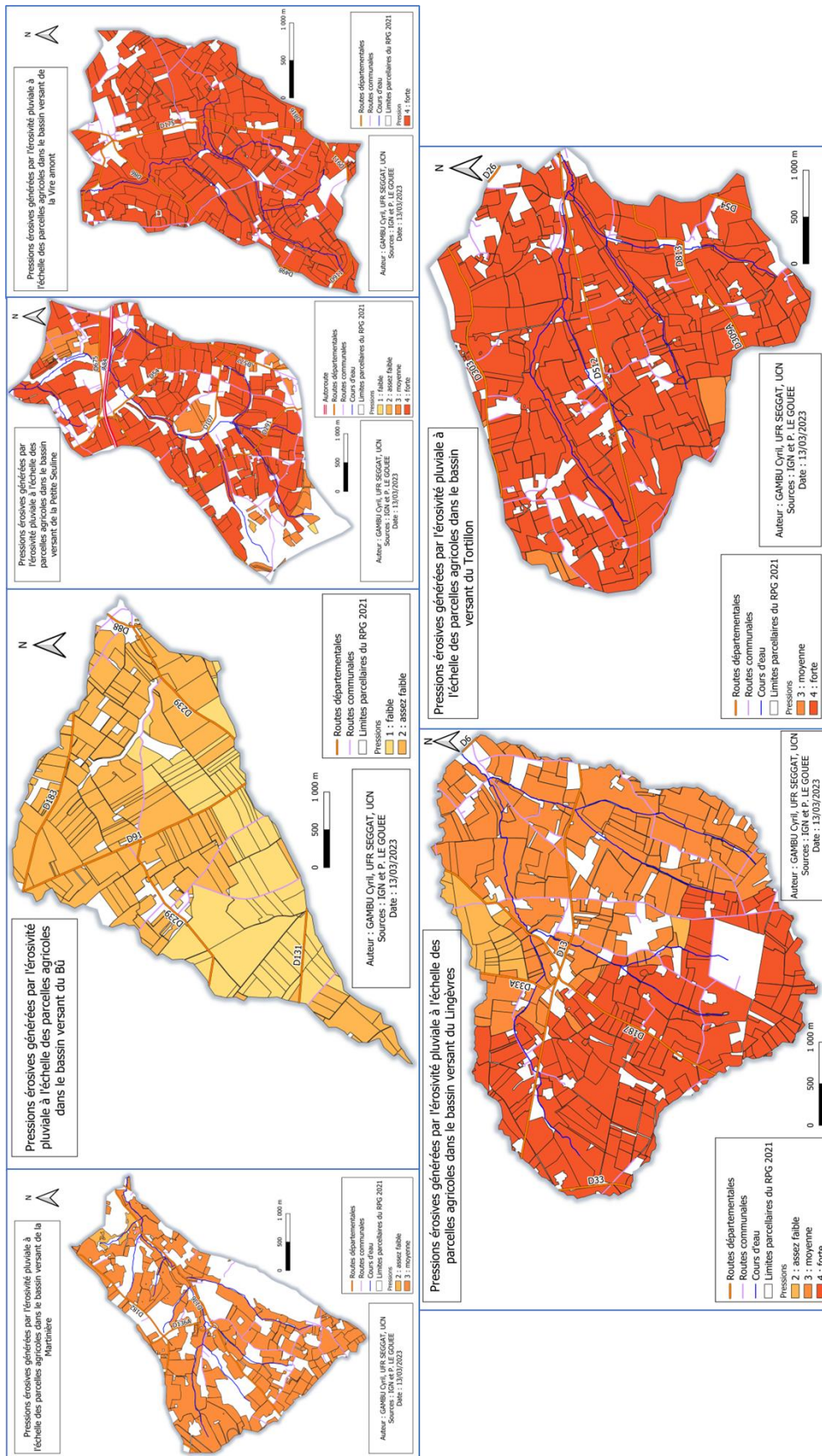
Carte des pressions érosives induites par la gestion de l'interculture à l'échelle des parcelles agricoles dans les bassins versants



Carte des pressions érosives générées par l'inclinaison des pentes à l'échelle des parcelles agricoles dans les bassins versants



Carte des pressions érosives générées par l'instabilité structurale des sols à l'échelle des parcelles agricoles dans les bassins versants



Carte des pressions érosives générées par l'érosivité pluviale à l'échelle des parcelles agricoles dans les bassins versants

Liste des figures

Figure 1 : exemples de routes surélevées par rapport à la topographie où se forme une zone de dépôt des sédiments (C. GAMBU, 2023 et R. REULIER, 2015 (page 40)).....	10
Figure 2 : exemples de routes insérées dans la topographie où le ruissellement traverse la route (C. GAMBU, 2023 et R. REULIER, 2015 (page 40)).....	10
Figure 3 : exemples de route en creux où le ruissellement s'écoule le long de la route (C. GAMBU, 2023 et R. REULIER, 2015 (page 40))	11
Figure 4 : profils transversaux de route, (d'après Keller et Sherar, 2003, adapté par E. BOCHER, 2005, (page 65))	11
Figure 5 : enjeux et services rendus par les dépendances vertes (CEREMA, 2018 (page 7)).	12
Figure 6 : différentes composantes de la route et du bord de route (C. GAMBU, 2023)	13
Figure 7 : localisation du Calvados, département du Nord-Ouest de la France.....	18
Figure 8 : carte de localisation des bassins versants étudiés	19
Figure 9 : quelques chiffres concernant les bassins versants	20
Figure 10 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant de la Martinière.....	22
Figure 11 : carte de la topographie du bassin versant de la Martinière	23
Figure 12 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant du Bû.....	26
Figure 13 : carte de la topographie du bassin versant du Bû.....	27
Figure 14 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant du Lingèvres	30
Figure 15 : carte de la topographie du bassin versant du Lingèvres	31
Figure 16 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant de la Petite Seuline.....	34
Figure 17 : carte de la topographie du bassin versant de la Petite Seuline	35
Figure 18 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant du Tortillon	38
Figure 19 : carte de la topographie du bassin versant du Tortillon	39
Figure 20 : carte d'occupation du sol dans le bassin versant de la Vire amont.....	42
Figure 21 : carte de la topographie du bassin versant de la Vire amont.....	43
Figure 22 : surface de chaque type d'occupation des sols dans les bassins versants.....	44
Figure 23 : part de chaque type d'occupation des sols dans les bassins versants.....	44
Figure 24 : les types d'occupation des sols dans les différents bassins versants	45
Figure 25 : tableau comparatif sur les bassins versants	46
Figure 26 : histogramme du nombre de « coulées de boue » (dossiers de demande d'indemnisation) par région de 1985 à 2001 (Y. LE BISSONNAIS et al., 2002 (page 24)) ...	55
Figure 27 : talus éboulé à Marolles qui bouche le fossé et gabions qui soutiennent un talus (C. GAMBU, 2023).....	58
Figure 28 : haie récemment plantée dans la commune de Condé-sur-Ifs (C. GAMBU, 2023)	59
Figure 29 : avaloir qui draine l'eau qui ruisselle sur la route (C. GAMBU, 2023)	60
Figure 30 : structure du modèle de la CATER (C. GOUINEAU, 2020 (page 36)).....	63
Figure 31 : structure du modèle SCALES (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 28))	65
Figure 32 : procédure de combinaison des données du modèle SCALES (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 28))	66
Figure 33 : données d'entrée du modèle SCALES (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 24))	67

Figure 34 : exemple de prairie permanente (à gauche) et de couvert végétal (à droite) (C. GAMBU, 2023).....	70
Figure 35 : exemple de couvert végétal peu dense (orge de printemps) (à gauche) et parcelle labourée (à droite) (C. GAMBU, 2023)	71
Figure 36 : exemple de parcelle déchaumée (à gauche) et sol nu (à droite) (C. GAMBU, 2023)	71
Figure 37 : histogramme de la répartition des niveaux d'aléa en fonction des méthodes d'intégration des données pour le bassin versant du Tortillon (G. JOUAN, 2008 (Annexe XXV)).....	74
Figure 38 : méthode d'intégration selon la valeur dominante (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 81)).....	75
Figure 39 : Les classes de stabilité structurale (P. LE GOUEE et D. DELAHAYE, 2008 (page 77))	76
Figure 40 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant de la Martinière.....	79
Figure 41 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant du Bû.....	81
Figure 42 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant du Lingèvres	83
Figure 43 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant de la Petite Seuline.....	85
Figure 44 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant du Tortillon	87
Figure 45 : carte de l'aléa moyen "érosion des sols" à l'échelle des parcelles agricoles dans le bassin versant de la Vire amont.....	89
Figure 46 : répartitions des surfaces en fonction des niveaux d'aléa	91
Figure 47 : rapport entre les surfaces agricoles et les niveaux d'aléa dans le bassin versant du Lingèvres (les valeurs ont été arrondies à l'unité après le traitement des données)	92
Figure 48 : rapport entre les surfaces agricoles et les niveaux d'aléa dans les bassins versants de la Vire amont, du Tortillon et de la Petite Seuline (les valeurs ont été arrondies à l'unité après le traitement des données).....	92
Figure 49 : rapport entre les surfaces agricoles et les niveaux d'aléa dans le bassin versant du Bû (les valeurs ont été arrondies à l'unité après le traitement des données).....	92
Figure 50 : rapport entre les surfaces agricoles et les niveaux d'aléa dans le bassin versant de la Martinière (les valeurs ont été arrondies à l'unité après le traitement des données).....	93
Figure 51 : Schéma illustrant deux types d'impluviums	100
Figure 52 : ruissellement qui sort d'un chemin et qui suit le réseau routier (C. GAMBU, 2023)	103
Figure 53 : carte illustrant le rapport entre érosion des sols et le potentiel d'écoulement confronté au réseau routier dans le bassin versant de la Martinière.....	105
Figure 54 : carte illustrant le rapport entre érosion des sols et le potentiel d'écoulement confronté au réseau routier dans le bassin versant du Bû	107
Figure 55 : carte illustrant le rapport entre érosion des sols et le potentiel d'écoulement confronté au réseau routier dans le bassin versant du Lingèvres	109
Figure 56 : Carte des connectivités observées au cours de différents épisodes ruisselants (R. REULIER, 2015 (page 98))	110

Figure 57 : carte illustrant le rapport entre érosion des sols et le potentiel d'écoulement confronté au réseau routier dans le bassin versant de la Petite Seuline	112
Figure 58 : carte illustrant le rapport entre érosion des sols et le potentiel d'écoulement confronté au réseau routier dans le bassin versant de la Vire amont.....	114
Figure 59 : connexion entre les impluviums et le cours d'eau via le réseau routier.....	116
Figure 60 : caractéristiques des impluviums dans chacun des bassins versants	117
Figure 61 : différentes prises en charge du ruissellement par le réseau routier dans le cas des routes insérées (C. GAMBU, 2023)	118
Figure 62 : la D239 est inondée suite à un orage (J.-P. QUILLET, 2020)	120
Figure 63 : malgré l'entrée de champ, présence de talus au bord d'une route qui empêchent le ruissellement d'aller sur le réseau routier (C. GAMBU, 2023).....	121
Figure 64 : entrée de champ en bas de pente (C. GAMBU, 2023)	122
Figure 65 : réalisation de saignées pour évacuer l'eau de la route vers le fossé (F. MORIN et V. BIZET, 2020 (page 16))	128
Figure 66 : curage d'un fossé réalisé avec un godet trapézoïdal (C. GAMBU, 2023)	130
Figure 67 : curage par la méthode du tiers inférieur (à gauche) et curage en alternance (à droite) (MORIN F., BIZET V., 2020 (pages 8 et 9))	132
Figure 68 : curage par autocureuse (à gauche) et illustration d'un dérasement dissocié du curage (à droite) (MORIN F., BIZET V., 2020 (pages 19 et 21))	132
Figure 69 : histogrammes des résultats du questionnaire à destination des usagers du réseau routier	137
Figure 70 : fréquence des mots utilisés par les agriculteurs pour décrire le bord de route. La taille des mots est proportionnelle à leur fréquence (F. DI PIETRO et C. CHAUDRON, 2017, (figure 2))	139
Figure 71 : branches laissées dans un fossé (à gauche) et bord de route de faible largeur et désherbée par l'agriculteur (à droite) (C. GAMBU, 2023).....	140
Figure 72 : buse bouchée par des feuilles (à gauche) et saignée réalisée par l'agriculteur pour drainer l'eau de sa parcelle inondée (à droite) (C. GAMBU, 2023)	140

Table des matières

Sommaire	1
Introduction générale.....	3
Partie 1 : Contexte scientifique et description des zones d'étude	7
Introduction.....	8
Chapitre 1 : Présentation de l'objet d'étude	9
1.1 Les routes	9
1.2 Les bords de route	12
1.3 Méconnaissance des entités « route » et « bord de route » dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires	14
Chapitre 2 : Le Calvados	15
2.1 Les paysages	15
2.2 La géologie variée.....	15
2.3 Les climats	16
2.4 Les réseaux routiers	17
Chapitre 3 : Les bassins versants	18
3.1 La Martinière	21
3.1.1 La localisation.....	21
3.1.2 Les paysages	21
3.1.3 Les sols	24
3.2 Le Bû.....	25
3.2.1 La localisation.....	25
3.2.2 Les paysages	25
3.2.3 Les sols	28
3.3 Le Lingèvres	28
3.3.1 La localisation.....	28
3.3.2 Les paysages	29
3.3.3 Les sols	32
3.4 La Petite Seuline	33
3.4.1 La localisation.....	33
3.4.2 Les paysages	33
3.4.3 Les sols	36

3.5	Le Tortillon.....	37
3.5.1	La localisation.....	37
3.5.2	Les paysages	37
3.5.3	Les sols	40
3.6	La Vire amont.....	41
3.6.1	La localisation.....	41
3.6.2	Les paysages	41
3.6.3	Les sols	44
3.7	Etude comparatives des différents bassins versants.....	44
	Résumé	47
	Partie 2 : Le processus d'érosion des sols et la cartographie de ce phénomène	49
	Introduction.....	51
	Chapitre 1 : Etat de l'art sur l'érosion des sols.....	51
1.1	La genèse de l'érosion.....	51
1.1.1	L'érosion favorisée par les types de sols	52
1.1.2	L'arrachement des particules et les processus d'érosion hydrique	53
1.1.3	Les conséquences de l'érosion hydrique et du ruissellement	54
1.2	Les aménagements pour limiter le ruissellement en amont du réseau routier	55
1.2.1	Les pratiques agricoles pour lutter contre le ruissellement	56
1.2.2	Les aménagements pour contenir le ruissellement dans les parcelles agricoles	57
1.3	Exemples de modèles d'érosion hydrique des sols.....	61
1.3.1	Le modèle d'érosion des sols selon l'Institut National de Recherche Agronomique et l'Institut Français de l'Environnement en 1998.....	61
1.3.2	Le modèle d'érosion des sols de la Cellule d'Animation Technique pour l'Eau et les Rivières (CATER) Calvados Orne Manche en 2020	62
1.3.3	Le modèle de Spatialisation d'échelle fine de l'Aléa Erosion des Sols (SCALES) de P. LE GOUEE et D. DELAHAYE (2008)	64

Chapitre 2 : La mise en application du modèle de Spatialisation d'échelle fine de l'Aléa Erosion des Sols (SCALES) de P. LE GOUEE et D. DELAHAYE (2008)	65
2.1 La méthodologie mise en place pour cartographier l'aléa moyen érosion des sols	66
2.2 Les données utilisées par le modèle SCALES	68
2.2.1 Pratiques agricoles	68
2.2.1.1 Gestion des intercultures	69
2.2.1.2 Durée des intercultures	72
2.2.2 Pentes	73
2.2.3 Instabilité structurale	76
2.2.4 Erosivité pluviale	77
Chapitre 3 : Les résultats du modèle SCALES.....	78
3.1 La Martinière	78
3.2 Le Bû.....	80
3.3 Le Lingèvres	82
3.4 La Petite Seuline	84
3.5 Le Tortillon.....	86
3.6 La Vire amont.....	88
3.7 Comparaison entre les résultats des différents bassins versants selon leur localisation dans le Calvados	90
3.8 Les atouts et faiblesses du modèle	93
Résumé	95
Partie 3 : Connectivité hydrologique et rôle du réseau routier dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires	97
Introduction.....	99
Chapitre 1 : Méthodologie mise en place en alliant SIG et observations sur le terrain pour déterminer les impluviums	101
1.1 Méthodes jugées non satisfaisantes pour déterminer les impluviums	101
1.2 La détermination des impluviums.....	102
1.3 Désignation des surfaces drainées et l'avis des gestionnaires et des usagers du réseau routier à propos des résultats du modèle SCALES.....	104
1.3.1 La Martinière	104
1.3.2 Le Bû	106
1.3.3 Le Lingèvres	108
1.3.4 La Petite Seuline	111
1.3.5 La Vire amont	113

Chapitre 2 : Prise en compte des routes et bords de route dans la connectivité structurelle	115
2.1 L'influence du réseau routier sur les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires	115
2.2 Différentes influences du réseau routier	117
2.2.1 Le réseau routier : une faible influence sur les dynamiques hydro-sédimentaires	118
2.2.2 Le réseau routier : une contrainte face aux dynamiques hydro-sédimentaires	119
2.2.3 Le réseau routier : un obstacle aux dynamiques hydro-sédimentaires	120
Résumé	123
Partie 4 : Méthodes, résultats et analyses des rencontres avec les gestionnaires et les usagers du réseau routier.....	125
Introduction.....	127
Chapitre 1 : Les gestionnaires	127
1.1 Les entretiens avec les gestionnaires	127
1.2 L'entretien du réseau routier	130
1.2.1 L'entretien du réseau d'assainissement.....	130
1.2.2 L'entretien des dépendances vertes.....	134
Chapitre 2 : Les usagers du réseau routier.....	136
2.1 Les questionnaires avec les usagers	136
2.2 Les résultats	136
2.3 Les tensions et conflits entre les agriculteurs, les usagers et les gestionnaires du réseau routier.....	138
Chapitre 3 : Discussions et limites du mémoire de recherche	142
3.1 Diversité des gestionnaires des routes	142
3.2 Les limites concernant la connectivité structurelle des parcelles au cours d'eau en passant par le réseau routier	144
Résumé	145
Conclusion générale	147
Références bibliographiques	151
Annexes	155
Liste des figures	167

Résumé

Ce mémoire s'insère dans un projet de recherche de l'Université de Caen Normandie. Il s'intitule « Dépendances routières et transferts hydro-sédimentaires » (DARTHYS) et montre l'influence des routes et bords de route dans les dynamiques de transferts hydro-sédimentaires. A partir de six bassins versants diversifiés en termes de géologie, de pédologie, de structures paysagères et de précipitations, le réseau routier connecte des parcelles éloignées du réseau hydrographique à celui-ci. Pour cinq des six bassins versants, les sédiments de 5% de la surface des parcelles agricoles sont acheminés au cours d'eau via le réseau routier. 12% de toutes les routes dans ces cinq bassins versants servent d'extension au réseau hydrographique. Ce mémoire met au jour une interface sociale avec une triple gestion du bord de route entre les gestionnaires du réseau routier, les agriculteurs et les usagers de la route.

Il y a beaucoup de facteurs à prendre en compte pour déterminer la connectivité hydrologique des parcelles au cours d'eau et cela passe obligatoirement par une longue phase de terrain. Il en est de même pour l'étude de la sensibilité des parcelles à l'érosion où il faut connaître les caractéristiques du sol et du sous-sol, mais aussi les caractéristiques climatiques.

La particularité de ce mémoire est qu'il a nécessité différentes méthodes de recherche, à savoir de nombreuses journées d'observations sur les zones d'étude, un travail géomatique pour rendre compte de la sensibilité des parcelles à l'érosion hydrique des sols, mais aussi une approche plus sociale en réalisant de multiples entretiens qualitatifs et quantitatifs auprès des usagers et des gestionnaires du réseau routier.

Mots clés : réseau routier, bassin versant, parcelles agricoles, Calvados, dynamiques hydro-sédimentaires, érosion, ruissellement

Abstract

This dissertation is a part of a research project by the University of Caen Normandy. It's entitled "Dépendances routières et transferts hydro-sédimentaires" (DARTHYS), shows the influence of roads and roadsides on the dynamics of hydro-sedimentary transfers. Based on six catchment areas that are diverse in terms of geology, soil types, landscape structures and rainfall, the road network connects plots that are far from the hydrographic network to the latter. In five of the six catchment areas, sediments from 5% of the surface area of agricultural plots are transported to the watercourse via the road network. 12% of all roads in these five catchment areas serve as an extension of the river network. This dissertation reveals a social interface with triple management of the roadside between road network managers, farmers and road users.

Many factors need to be taken into account to determine the hydrological connectivity of plots of land to watercourses, and this necessarily involves a long field phase. The same applies to the study of the susceptibility of plots to erosion, where we need to know the characteristics of the soil and subsoil, as well as the climate.

The specific nature of this dissertation required a variety of research methods, including many days of observation in the study areas, geomatic work to determine the susceptibility of plots to soil erosion by water, and a more social approach involving a large number of qualitative and quantitative interviews with users and managers of the road network.