



HAL
open science

Carte de sensibilité à l'aléa ruissellement en Bourgogne-Franche-Comté

Cécile Choley

► **To cite this version:**

Cécile Choley. Carte de sensibilité à l'aléa ruissellement en Bourgogne-Franche-Comté. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-03550690

HAL Id: dumas-03550690

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03550690>

Submitted on 1 Feb 2022

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.

Carte de sensibilité à l'aléa ruissellement en Bourgogne- Franche-Comté



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

présenté en 2019 pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES

CHOLEY Cécile

Formation par apprentissage

Promotion Grand-Lyon (2016-2019)

Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de
l'Environnement de Strasbourg



DREAL Bourgogne-Franche-Comté



RÉSUMÉ

Carte de sensibilité de l'aléa ruissellement en région Bourgogne-Franche-Comté

La région Bourgogne-Franche-Comté est fréquemment touchée par des inondations par ruissellement lors de pluies intenses. Les côtes viticoles sont touchées de manière récurrente par du ruissellement et des coulées de boue comme le rappelle les événements du printemps 2016 à Chalon-sur-Saône. La Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) Bourgogne-Franche-Comté souhaite réaliser une carte de sensibilité au risque ruissellement à l'échelle de la région dans le but d'alimenter un porteur à connaissance pour les collectivités. Pour évaluer le risque, croisement entre aléa et enjeux, il faut au préalable connaître l'aléa. Constatant le manque de consensus sur une méthode à appliquer, la DREAL applique trois méthodes pour identifier les zones de production potentielles sur le bassin versant de la Dheune. Pour évaluer les résultats obtenus, des données de terrain et d'études historiques comblent le manque de base de données dédiée au ruissellement. Ce travail conduit à proposer une méthode simple, déclinable à large échelle sans recourir à une modélisation hydraulique. Elle permet néanmoins d'identifier les zones de production du ruissellement à l'échelle d'un bassin versant. Inspirée de la méthode MESALES développée par l'INRA, la démarche consiste à croiser les données d'occupation du sol, de pente, de perméabilité (la battance intervenant comme facteur aggravant) en associant une pondération de ces paramètres selon les spécificités du territoire étudié. Après cette étude, l'aléa est mieux connu. Pour continuer l'étude vers le risque, il est nécessaire de faire la connexion entre ces zones de production et les enjeux. Le travail sur les zones de transfert et d'accumulation sera poursuivi pendant l'été 2019.

ABSTRACT

Sensitivity map of the runoff hazard in the Bourgogne-Franche-Comté region

The Bourgogne-Franche-Comté region is frequently affected by flooding by runoff during heavy rainfall. The wine coasts are repeatedly affected by runoff and mudflows as recalled the events in Chalon-sur-Saône in the 2016 spring. The regional direction of the environment, development and housing of Bourgogne-Franche-Comté wants to elaborate a runoff risk map at the regional scale in order to inform local communities. To evaluate the risk, combination of hazard and people's vulnerability, it is essential to know better the hazard. Because of the lack of consensus to implement one method, the DREAL undertakes to try several methods to detect production areas on the Dheune watershed. To evaluate the results, field data are collected, as data from other studies. This work leads to the proposal of one simple method, repeatable at a large scale, without using any hydraulic model. Nevertheless, it allows identifying the production zones of runoff at the watershed scale. Inspired by the MESALES method which was developed by the INRA, the approach consists in crossing data from land use, slope, permeability (slacking is integrated as an aggravating factor) in associating a weight to each parameter according to the field observations. After this study, the hazard is better known. To go further, it is necessary to draw the connection between the production zones and the stakes downstream. The study on the transfer and the accumulation zones will continue in summer 2019.

ERRATA

Nom : CHOLEY Cécile

Titre : Carte de sensibilité à l'aléa ruissellement en Bourgogne-Franche-Comté

Date : Mai 2019

Page	Ligne	au lieu de	lire

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	13
1.1 Contexte général	13
1.2 Définition et particularités de l'aléa ruissellement.....	13
1.3 Etat des lieux en Bourgogne-Franche-Comté	14
1.4 Objectif de l'étude	15
2. MATERIEL ET METHODE	16
2.1 Description du bassin versant test	16
2.2 Données utilisées par la DREAL.....	21
2.2.1 Topographie.....	21
2.2.2 Occupation du sol	21
2.2.3 Pédologie.....	22
2.2.4 Climatologie	25
2.2.5 Système d'information géographique	25
2.3 Méthodes d'indicateurs utilisées	26
2.3.1 La méthode MESALES.....	26
2.3.1.1 Présentation.....	26
2.3.1.2 Choix de la DREAL	26
2.3.1.3 Application	27
2.3.2 La méthode IRIP.....	29
2.3.2.1 Présentation.....	29
2.3.2.2 Choix de la DREAL	29
2.3.2.3 Application	29
2.3.3 La méthode CRUS.....	31
2.3.3.1 Présentation.....	31
2.3.3.2 Choix de la DREAL	31
2.3.3.3 Application sur la carte de production.....	32
2.3.3.3.1 Première version de carte CRUS.....	32
2.3.3.3.2 Visite terrain et deuxième version de carte CRUS	32
2.3.3.3.3 Version finale de carte CRUS	36
2.3.4 Application sur la carte de transfert et d'accumulation.....	37
2.3.4.1 Etude de la topographie.....	37
2.3.4.2 Méthode IRIP.....	40

2.3.4.3 Exzeco.....	41
2.4 Méthodes qui n'ont pas été retenues	41
2.5 Evaluation des cartes	43
2.5.1 Base de données événements	43
2.5.1.1 Absence de base de données existante	43
2.5.1.2 Données issues des études disponibles	43
2.5.1.3 Données issues des demandes d'indemnisations CATNAT.....	44
2.5.1.4 Observations terrain	45
2.5.1.5 Journaux.....	46
2.5.2 Test de la méthode sur un autre bassin versant.....	46
2.5.3 Evaluation en temps réel.....	46
2.5.4 Comparaison des méthodes entre elles	47
2.5.5 Critères d'utilisation des méthodes.....	47
2.5.6 Carte d'aléa issue d'IRIP	47
2.6.2 Carte d'aléa à partir des aires drainées.....	48
3. RÉSULTATS.....	49
3.1 Evaluation des cartes de production	49
3.1.1 Comparaison des résultats des trois méthodes	49
3.1.1.1 MESALES	49
3.1.1.2 IRIP	51
3.1.1.3 CRUS	53
3.1.1.4 Comparaison des résultats	54
3.1.2 Comparaison avec la base de données	55
3.1.3 Critères de la DREAL.....	57
3.2 Evaluation des cartes d'aléa.....	60
3.2.1 Evaluation quantitative de la méthode IRIP seule et combinée à la carte CRUS	60
3.2.2 Carte de production CRUS et transfert via les aires drainées.....	60
4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	63
4.1 Etablir une base de données spécifique au ruissellement.....	65
4.2 Identifier les axes de transfert et les zones d'accumulation	65
4.3 Mettre en place une charte des zones sensibles au ruissellement.....	66
BIBLIOGRAPHIE	68
ANNEXES.....	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Combinaisons des classes de pentes et des aires drainées	27
Tableau 2 : Tableau des percentiles par saison et par cumul supérieur à 15mm/j.....	28
Tableau 3 : Tableau des valeurs du facteur climatique pour le mois d'hiver	28
Tableau 4 : Paramètres de la méthode IRIP	30
Tableau 5 : Paramètres de la méthode CRUS	32
Tableau 6 : Paramètres de la seconde version de carte CRUS.....	35
Tableau 7 : Classes d'occupation du sol	36
Tableau 8 : Proportion de chacune des classes d'aléa sur les cartes saisonnières et sur la carte annuelle	50
Tableau 9 : Proportion de chacune des classes d'aléa sur la carte d'aptitude à la production de ruissellement via la méthode IRIP	52
Tableau 10 : Proportion de chacune des classes d'aléa sur la carte d'aptitude à la production de ruissellement via la méthode CRUS.....	54
Tableau 11 : Notes selon les critères de la DREAL sur l'utilisation des méthodes.....	57

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de l'évolution de l'urbanisation à Beaune	16
Figure 2 : Représentation des cultures sur le bassin versant de la Dheune	17
Figure 3 : Carte géologique de la Bourgogne-Franche-Comté	18
Figure 4 : Carte de situation du bassin versant de la Dheune	18
Figure 5 : Carte d'occupation du sol, de pente, de battance et d'érodibilité	20
Figure 6 : Diagrammes ternaires de battance et d'érodibilité en fonction des textures.....	24
Figure 7 : Diagramme ternaire de perméabilité en fonction de la texture	24
Figure 8 : Arbre de décision de la proposition une d'amélioration de la méthode CRUS	35
Figure 9 : Tableau des paramètres de la version CRUS améliorée	38
Figure 10 : Carte CRUS améliorée du bassin versant de la Dheune avec battance	39
Figure 11 : Choix des aires drainées en zoomant sur le secteur de Nuits-Saint-Georges avec un filtre à 1200 pixels (à gauche) et 1600 pixels (à droite)	40
Figure 12 : Mise en évidence des mailles de pluie dans le résultat MESALES.....	49
Figure 13 : Zoom sur les parcelles à l'Est de la carte MESALES.....	50
Figure 14 : Zoom sur Puligny-Montrachet (à gauche), indices de battance (milieu) et d'érodibilité (à droite)	51
Figure 15 : Zoom sur les résultats pixélisés de la carte IRIP sur le secteur de Beaune	52
Figure 16 : Zoom sur les zones encaissées à l'Ouest de la carte CRUS	53
Figure 17 : Zoom sur les zones rouges à l'est de la carte CRUS à Corgencoux.....	53
Figure 18 : Zoom sur le champ vigne de l'INAO comparé à la combinaison RPG et CLC	55
Figure 19 : Comparaison des trois méthodes à Sampigny-lès-Maranges	56
Figure 20 : Comparaison des trois méthodes à Beaune et Pommard.....	56
Figure 21 : Comparaison des trois méthodes à Nuits-Saint-Georges.....	56
Figure 22 : Comparaison des trois méthodes à Allerey-sur-Saône.....	56
Figure 23 : Etude des impacts avec la carte de production issue de CRUS à Dennevay (en haut), Nuits-Saint-Georges (milieu) et Pommard (en bas).....	61

SIGLES ET ACRONYMES

CATNAT : régime d'indemnisation Catastrophe naturelle

CCR : Caisse centrale de réassurance

CEREMA : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

CLC : Corine Land Cover

CRUS : Cartographie de ruissellement de surface

DDT(M) : Direction départementale des territoires (et de la mer)

DGPR : Direction générale de la prévention des risques

DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

EPTB : Établissement public territorial de bassin

INAO : Institut national de l'origine et de la qualité

INRA : Institut national pour la recherche agronomique

IRIP : Indicateur du ruissellement pluvial

IRSTEA : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture

MESALES : Modèle d'évaluation spatiale de l'aléa érosion des sols

MNT : Modèle numérique de terrain

RPG : Registre parcellaire graphique

RRP : Référentiel régional pédologique

SIG : Système d'information géographique

UCS : Unité cartographique de sol

UTS : Unité typologique de sol

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail de fin d'études et celles qui ont fait de ma formation, tout au long de ses trois ans, une expérience riche, à la fois pour la continuité de ma vie professionnelle et personnelle.

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements les plus sincères à mon maître d'apprentissage, Mr Olivier Boujard, anciennement Chef de Pôle Risques Naturels et plus récemment animateur régional des polices de l'eau et de la nature à la DREAL Bourgogne-Franche-Comté. Depuis ma candidature spontanée en août 2016 jusqu'à la fin de mon travail de fin d'étude en mai 2019, Olivier a beaucoup cru en moi, en mes capacités de travail et en ma détermination. Il m'a laissée autonome et m'a donnée les clefs pour approfondir ma réflexion chaque fois que c'était nécessaire. Olivier a été très présent pendant toute la durée de ma formation pour m'orienter mais également pour suivre avec intérêt toutes mes démarches personnelles et professionnelles au-delà de la DREAL. Sa confiance et sa curiosité m'ont permis de me lancer dans le programme des Jeunes Délégués pour le Climat. Son écoute et ses conseils m'ont encouragée à postuler pour une thèse pour la suite. Je lui suis très reconnaissante.

Je tiens à remercier également toute l'équipe dynamique des Risques Naturels qui s'est transformée tout au long de ses trois années. Bien que chaque collègue travaille sur un territoire ou domaine précis, le fait d'être en perpétuel échange permet d'acquérir une vision toujours plus large et transversale des problématiques, essentielle sur la question du ruissellement. Je remercie spécialement Mme Christelle Gentit pour sa disponibilité vis-à-vis de l'utilisation de QGIS, et pour son soutien. Je remercie également Julie Vereecke, ancienne élève de l'ENGEES, pour son accompagnement à ma prise de poste et sa disponibilité jusqu'à son congé maternité.

Je remercie toutes les personnes qui m'ont aidée dans la mise en application des méthodes de cartographie de l'aléa ruissellement et érosion. Je remercie spécifiquement Mr Eric Matagne du Syndicat mixte du bassin versant de l'Armançon pour son accompagnement dans la mise en œuvre de la méthode MESALES et son accessibilité tout au long de mon travail. Je remercie également Mr Manuel Collongues et Mr Vincent Rémy du CEREMA de Nancy pour leur expertise et leur accompagnement dans la mise en œuvre et l'amélioration de la méthode CRUS. Je remercie Mr Breil d'avoir pris le temps de tester la méthode IRIP sur le secteur d'étude et de me l'avoir expliqué.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont conseillée et relue lors de la rédaction de ce rapport de stage.

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte général

Les inondations constituent un risque majeur sur le territoire national, menaçant les biens et les personnes, comme le rappellent les événements d'octobre 2018 dans l'Aude où onze morts ont été recensés. De 1982 à 2012, les indemnités à charge de la Caisse centrale de réassurance (CCR) s'élevaient à 7,2 milliards d'euros, faisant du risque inondation le premier poste de sinistres à charge du régime des catastrophes naturelles (CATNAT). De plus, dans un contexte de changement climatique, l'augmentation de la fréquence des inondations est à prévoir (CEPRI 2014). Les inondations font traditionnellement référence au débordement des cours d'eau mais englobent également le phénomène de ruissellement. 45% des dommages relevés par la Caisse centrale d'épargne sont causés par des inondations en dehors des zones inondables telles qu'elles ont été définies dans la Directive inondation (Techni.Cités 2015). Tandis que le risque de débordement est un phénomène bien connu, le ruissellement est plus difficilement qualifiable, quantifiable et identifiable.

1.2 Définition et particularités de l'aléa ruissellement

La définition du ruissellement est complexe. Il est souvent identifié en comparaison avec les débordements de cours d'eau et exclusion d'autres phénomènes du type saturation du réseau des eaux pluviales. Le ruissellement est un phénomène causé par un événement pluvieux intense, lorsque les eaux de pluie ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol. On distingue le ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration du sol (hortonien) et sur surface saturée. Bien que le phénomène soit naturel, il est accentué par l'activité de l'homme. Tout le territoire français est exposé à ce phénomène, les villes (artificialisation des sols, débordement des collecteurs d'eaux pluviales) et le milieu rural où de fortes précipitations rencontrent des sols plus ou moins couverts de végétation et travaillés par l'homme, impactant les zones situées à l'aval des parcelles. La présente étude se restreint au ruissellement rural. Le ruissellement entraîne le départ de matière solide, phénomène d'érosion, à l'origine de dégâts pour les habitants et exploitants agricoles, d'une dégradation de la qualité des eaux et de la formation de coulées boueuses.

En France, il n'existe pas de carte identifiant le risque ruissellement comme il existe en Belgique (carte de risque de ruissellement concentré - Géoportail Wallonie) ou en Suisse (carte de l'aléa ruissellement en Suisse - Office fédéral de l'environnement). Dans la littérature (CETE Normandie Centre 2009, Dehotin et Breil 2011...), la topographie, l'occupation et la nature du sol sont les principaux acteurs dans la genèse du ruissellement. Le phénomène peut survenir loin des cours d'eau, ce qui rend sa prévision difficile, mais également au même endroit et simultanément à des débordements (Nîmes 1988, Vaison-la-Romaine 1992, département du Var 2010...) rendant la catégorisation des événements et l'évaluation de la part de chacun des phénomènes dans les dommages subis compliqués. De plus, le risque ruissellement a jusqu'ici peu été pris en compte dans les dispositifs de prévention des risques développés au niveau national (intégré tout récemment au cahier des charges PAPI 3).

Pour caractériser l'aptitude au ruissellement, deux méthodes existent : les indicateurs et les modèles (Regazzoni et Payraudeau 2010). L'existence d'une multitude de méthodes qui n'ont pas été testées sur un même territoire, l'hétérogénéité des données disponibles et le manque de précision des données ont été mis en évidence par un groupe de travail national sur le ruissellement qui s'est réuni début 2019, auquel la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) Bourgogne-Franche-Comté a participé. Aucun guide n'accompagne le choix à adopter en fonction de son territoire. Enfin, la base de données Gaspar disponible sur Géorisques, recensant les indemnités sous le régime CATNAT ne permet pas de différencier les inondations par débordement de cours d'eau et par ruissellement et coulées de boue. Aucune base de données spécifique au ruissellement n'existe, ce qui rend difficile la comparaison entre les résultats issus de l'application des méthodes et la réalité.

1.3 Etat des lieux en Bourgogne-Franche-Comté

La région Bourgogne-Franche-Comté est fréquemment touchée par des inondations par ruissellement en dehors du réseau hydrographique en milieu rural. Pour exemple, de 1990 à 2015, la Côte d'Or a subi quatre événements orageux à l'origine de ruissellements qui ont été indemnisés sous le régime CATNAT. Les événements pluvieux majeurs sont plus anciens, ils ont eu lieu le siècle dernier (LEQUEU). Les côtes viticoles (coteaux Chalonnais, Beaune, Nuits-Saint-Georges,...) sont régulièrement touchées comme lors des épisodes de mai 2016.

La première étude relative au ruissellement en ex-Bourgogne a été réalisée en juillet 1991 par la Direction générale des services départementaux et la Direction du développement des communes suite aux dégâts causés par des pluies violentes dans le vignoble (Direction générale des services départementaux et la Direction du développement des communes 1991). Ce travail s'appuie sur une étude hydrologique, hydraulique et du transport solide du bassin versant de la Vouge, jugé comme représentatif, puis extrapolé à l'ensemble du territoire. Elle met en évidence l'importance de travailler sur une politique globale d'aménagement ainsi que sur des préconisations à l'intention des agriculteurs.

En 2002, le bureau d'étude IPSEAU se voit confier une étude de localisation et de hiérarchisation des risques naturels d'inondation de Chenôve à Santenay, sur la côte viticole de Côte d'Or (IPSEAU 2002). Elle réalise une étude des données historiques, une approche géomorphologique, hydrologique, hydraulique aboutissant à une carte d'aléa inondation, une fiche synthétique par commune ainsi qu'une proposition de programmation des Plan de prévention des risques (PPR). A ce jour, sur les 12 communes identifiées à risque ruissellement très fort, seules Chenôve et Marsannay-la-Côte ont un PPR ruissellement approuvé et ce sont les seules qui ont entamé des démarches.

Début des années 2000, des cartes de risques sur les côtes viticoles en Bourgogne ont été élaborées par la DIREN Bourgogne dans le but d'alimenter l'Atlas des zones inondables (AZI) sur les côtes viticoles. Sur les secteurs chalonnais et mâconnais, l'étude s'appuie sur l'étude des événements historiques et sur une visite terrain. Ces AZI sont rarement utilisés par la DDT (Direction départementale des territoires) car les résultats ont peu été confrontés au terrain, ils n'ont pas été présentés aux collectivités, l'échelle des cartes et le caractère qualitatif des résultats ne sont pas adaptés pour répondre à ce type de demande et des flous persistent sur leur réalisation.

Un audit en 2010 réalisé par les ingénieurs du conseil général de l'environnement, met en avant l'importance du risque ruissellement en Bourgogne Franche-Comté et demande d'approfondir cette thématique, notamment sur les côtes viticoles. La DREAL s'est vue confier le pilotage de cette étude et engage un recensement des événements historiques de ruissellement en Côte d'Or et Saône-et-Loire de 1900 à 2014, avant d'initier un travail d'identification de l'aléa ruissellement qui ne sera pas abouti (DREAL BFC, 2014)

Bien que des études se soient succédé sur la problématique du ruissellement sur le secteur viticole, l'aléa n'a pas encore été cartographié de manière opérationnelle pour les différents gestionnaires du territoire. Depuis l'étude historique de 2014, les DDT sont en attente d'une production de la DREAL. Des collectivités très vulnérables face au risque ruissellement ce sont saisies du sujet et ont qualifié la sensibilité de leur territoire, comme l'agglomération du Grand Chalon. Chaque événement pluvieux intense montre que tous les départements sont impactés par le risque d'inondation par ruissellement et intensifie l'attente. En 2019, la DREAL propose de reprendre l'étude dans le cadre d'un travail de fin d'étude, encouragée par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) qui souhaite elle aussi approfondir ses connaissances sur les méthodologies relatives à la problématique du ruissellement.

1.4 Objectif de l'étude

La DREAL souhaite cartographier le risque ruissellement sur la région Bourgogne-Franche-Comté. Le risque résulte du croisement entre un aléa et des enjeux. La connaissance de l'aléa est donc un préalable à la connaissance du risque. La cartographie de l'aléa vise à fournir un outil pour la prise de décision sans avoir recours à des mesures quantitatives sur le terrain ou à des modélisations hydrologiques complexes. Les paramètres régissant les phénomènes de ruissellement varient d'un territoire à l'autre (pente, battance ...), les données requises sont hétérogènes et de nombreuses méthodes existent dans la littérature. Face au manque de directives sur le choix et l'utilisation de celles-ci, la DREAL souhaite confronter plusieurs méthodes sur un même territoire pour identifier leurs points forts, leurs points faibles et éventuellement les combiner pour représenter les phénomènes réels en appliquant une méthodologie simple. Ces méthodes sont des méthodes qualitatives basées sur des indicateurs et que la méthode doit être simple, rapide et facilement reproductible. Il s'agit donc dans ce travail, d'établir une méthode unique d'identification de l'aléa ruissellement sur un bassin versant test en confrontant plusieurs méthodes, de telle sorte qu'elle soit aisément reproductible sur d'autres territoires et permettent d'aboutir à une carte régionale. Le recours à une méthode homogène sur l'ensemble d'un territoire permet de comparer et de hiérarchiser les différentes zones face à l'aléa ruissellement. Une fois les secteurs prioritaires identifiés, les acteurs locaux pourront conduire des analyses approfondies afin de gérer au mieux le risque.

Les inondations menacent tout le territoire français. Tandis que le risque de débordement de cours d'eau est un phénomène bien connu, le ruissellement pose des problèmes de définition, d'outils de gestion et de cartographie. Les études existantes en Bourgogne-Franche-Comté ne suffisent pas pour répondre aux besoins des services déconcentrés de l'Etat. Après avoir réalisé un travail sur les événements historiques, la DREAL souhaite proposer une méthode simple pour cartographier l'aléa ruissellement sur un bassin versant test avant de la reproduire à l'échelle de la région.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1 Description du bassin versant test

La DDT de la Côte d'Or est sollicitée par la préfecture lors des projets d'urbanisme (construction, aménagement, extension) pour sa connaissance sur les risques, notamment sur les communes de Beaune, Pommard et Nuits-Saint-Georges (**Figure 1**). Pour autant, en raison du manque d'études disponibles pour identifier et qualifier l'aléa ruissellement à proximité des côtes viticoles, elle peine à répondre. Etant donné que l'échelle à considérer pour une étude ruissellement est celle du bassin versant, la DREAL retient le bassin versant de la Dheune en tant que bassin versant test, puisqu'il contient les trois communes problématiques pour la DDT et que le rôle de la DREAL est, en partie, d'apporter un soutien aux DDT. Une autre raison est que peu d'études ont été réalisées sur des secteurs viticoles.

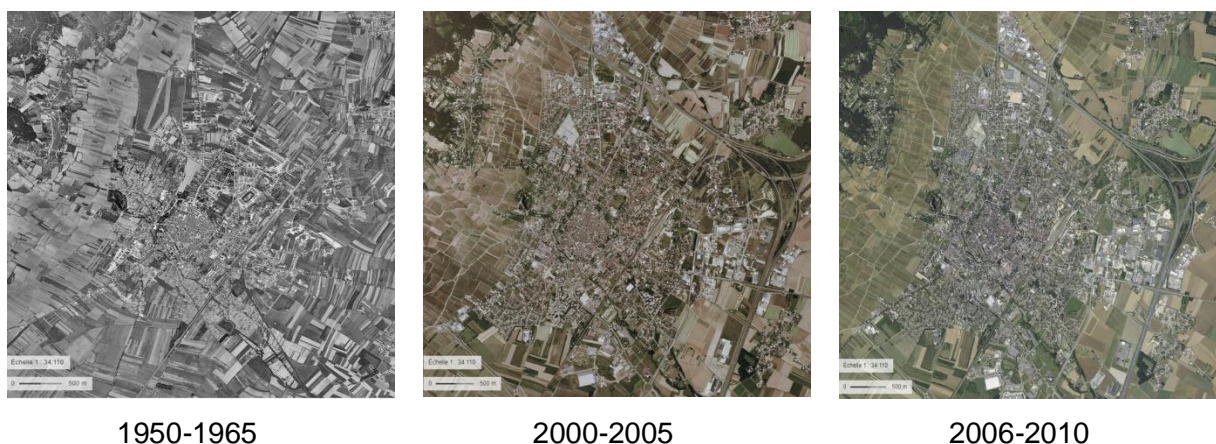


Figure 1 : Carte de l'évolution de l'urbanisation à Beaune

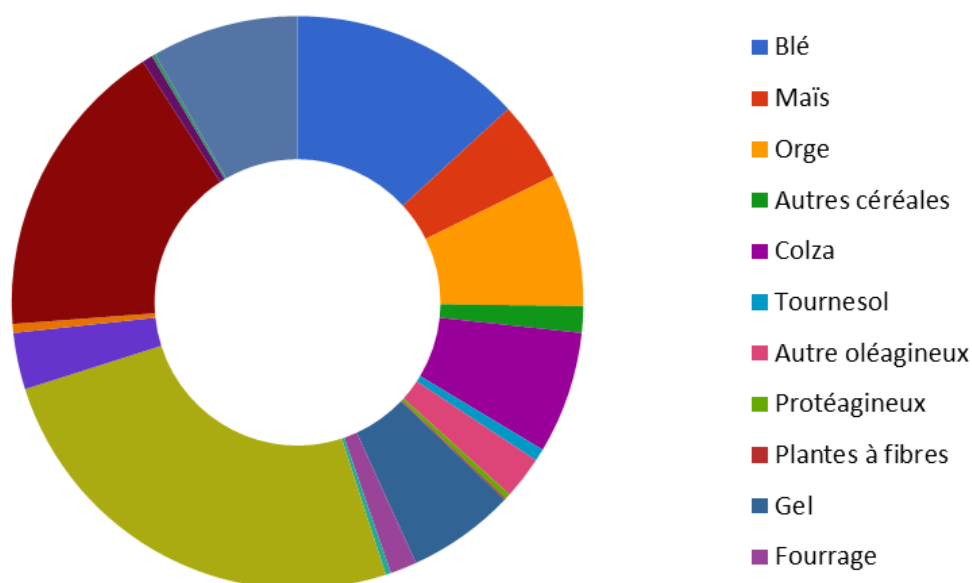
L'histoire du bassin versant de la Dheune est fortement liée à l'eau et au vin. Territoire situé au cœur de la Bourgogne, il bénéficie de paysages riches et variés dominés par les activités agricoles et vignobles prestigieux. Il totalise une surface de 1039 km². Le bassin versant de la Dheune concerne 100 000 habitants répartis dans 124 communes et s'étend du sud du département de la Côte d'Or au nord de la Saône-et-Loire. La densité moyenne du bassin est relativement élevée puisqu'elle atteint 86 habitants par km². La population se concentre essentiellement sur les côtes viticoles et la ville de Beaune (26%). La population est citadine pour 40% de la population totale (GESTEAU, 2008). Une carte de situation générale est disponible **Figure 4**.

Donnant son nom au bassin versant, la Dheune s'écoule sur près de 67 kilomètres avant de se jeter dans la Saône. La surface de collecte des eaux de la rivière Dheune est de 435 km². La pente moyenne est de 1,76 ‰. La vallée de la Dheune est plus encaissée dans sa partie amont et le canal du Centre qui longe la Dheune à cet endroit influence son hydrologie avec ses six ouvrages. Le Meuzin est l'affluent principal de la Dheune, qui draine à lui seul 418 km² soit près de la moitié du bassin versant. La connaissance de l'hydrologie est récente ; il n'existe que trois stations exploitables (Essertenne, Palleau, Villars-Fontaine).

Concernant l'occupation du sol de la **Figure 5**, un tiers du bassin versant est couvert par de la forêt sur la partie amont. L'agriculture tient une place prépondérante sur le territoire (environ 60% du territoire). On distingue les exploitations de type polyculture élevage au Sud, les grandes exploitations à dominante grandes cultures à l'Est et les exploitations viticoles de renommée internationale plus à l'Ouest : Côtes et Hautes-Côtes de Beaune et de Nuits en Côte d'Or, Maranges en Saône-et-Loire (**Figure 2**). L'activité industrielle est relativement peu développée. Le secteur vinicole (vinification, embouteillage, habillage, négoce, ...) constitue la principale activité et se concentre sur les communes les plus importantes : Beaune, Nuits-Saint-Georges et Chagny.

Figure 2 : Représentation des cultures sur le bassin versant de la Dheune

Types de cultures sur le bassin versant de la Dheune en 2017



L'amont se caractérise par des paysages accidentés dessinés par des vallées comme on le voit sur la **Figure 5**, des falaises, des prairies avec quelques forêts et des vignes. L'aval est plus homogène et présente des paysages plats où dominent les cultures et prairies, avec des secteurs de forêts. Seulement 10% de la surface du bassin versant se situe à plus de 500m et elle se situe vers l'Ouest. Le reste du territoire est caractérisé par un talus très sinueux et des plaines faiblement inclinées vers la Saône.

A propos de la géologie du territoire disponible **Figure 3**, le bassin s'étend sur un socle hercynien à l'Ouest et sur le fossé bressan à l'Est. Entre les deux se trouvent des terrains sédimentaires liasiques et jurassiques. A l'Ouest en Saône-et-Loire, la géologie est très variée à dominante imperméable. La haute vallée de la Dheune, très encaissée, emprunte un fossé d'effondrement affectant les terrains d'âge hercynien. A l'ouest en Côte d'Or, une zone surélevée de plateaux calcaires est découpée en vallées dans lesquelles les affluents s'écoulent. L'Est est caractérisé par une zone de vaste plaine.

Le bassin versant se situe à un carrefour de plusieurs influences climatiques entre les influences océaniques par l'Ouest, les avancées d'air froid continental par le Nord-Est et les influences méditerranéennes remontant par le sillon de la Saône. La pluviométrie augmente de l'Est vers l'Ouest du fait des reliefs. Les mois les plus arrosés sont en général mai, septembre et novembre tandis que les moins arrosés sont plutôt février, mars, avril et juillet. Les hauteurs de pluie varie selon si ce sont les orages d'été où les averses hivernales, plus longues et moins intenses. Par rapport à la région, le bassin versant de la Dheune est très peu arrosé comme on peut le voir dans les cartes de pluie par saison en **Annexe 1** pour la période 1981 – 2017. Le nombre de CATNAT inondation n'est d'ailleurs pas très élevé : le maximum atteint est 8 entre 1982 et 2018 aux abords de la Saône, mais la majorité des communes n'a connue aucun, qu'un ou deux événements sur cette période. Cependant, les forts orages n'ont pas épargnés la Côte d'Or au siècle dernier comme le décrit la rubrique Promenade dans l'histoire du journal Le Bien Public (LEQUEU). Par exemple, le 22 juin 1993, une pluie de période de retour centennale (47,1mm en 50 min) a été mesurée à Vosne-Romanée et le 1^{er} juillet 1993, une période de retour 75 ans a été mesurée à Nuits-Saint-Georges (34,9mm en 1h).

Figure 3 : Carte géologique de la Bourgogne-Franche-Comté

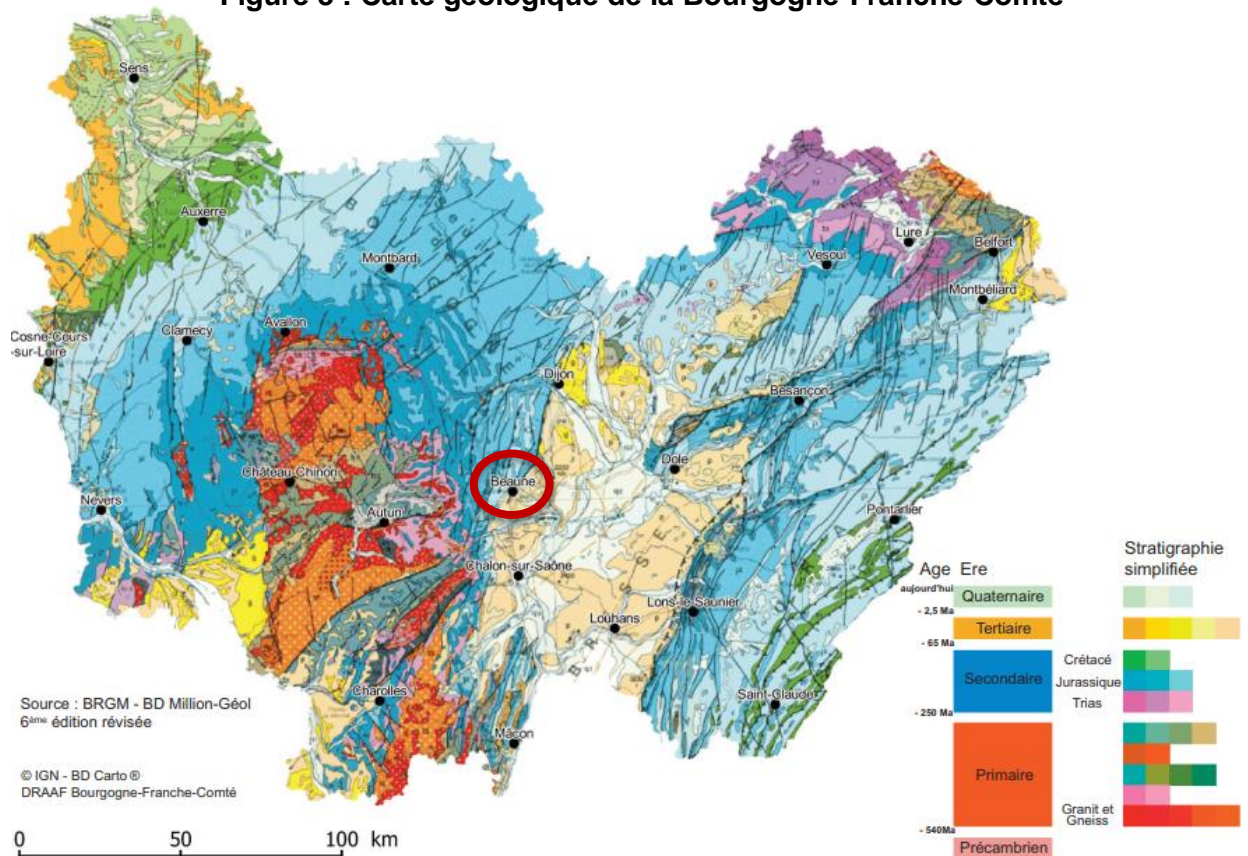





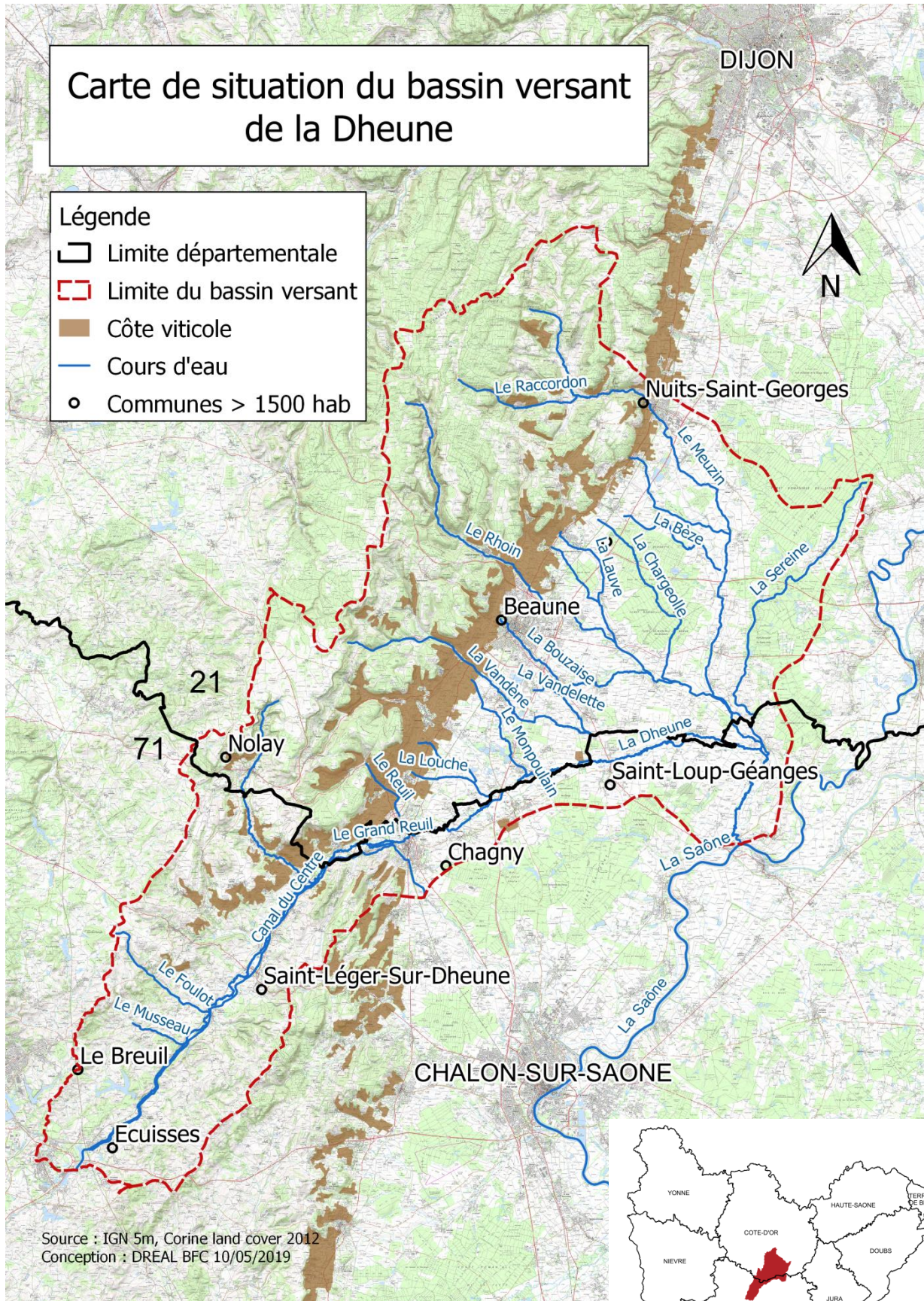


Figure 4 : Carte de situation du bassin versant de la Dheune

Carte de situation du bassin versant de la Dheune

- Légende**
-  Limite départementale
 -  Limite du bassin versant
 -  Côte viticole
 -  Cours d'eau
 -  Communes > 1500 hab



Source : IGN 5m, Corine land cover 2012
 Conception : DREAL BFC 10/05/2019

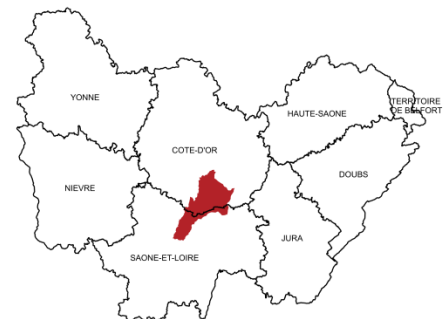
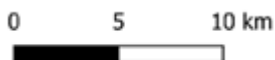
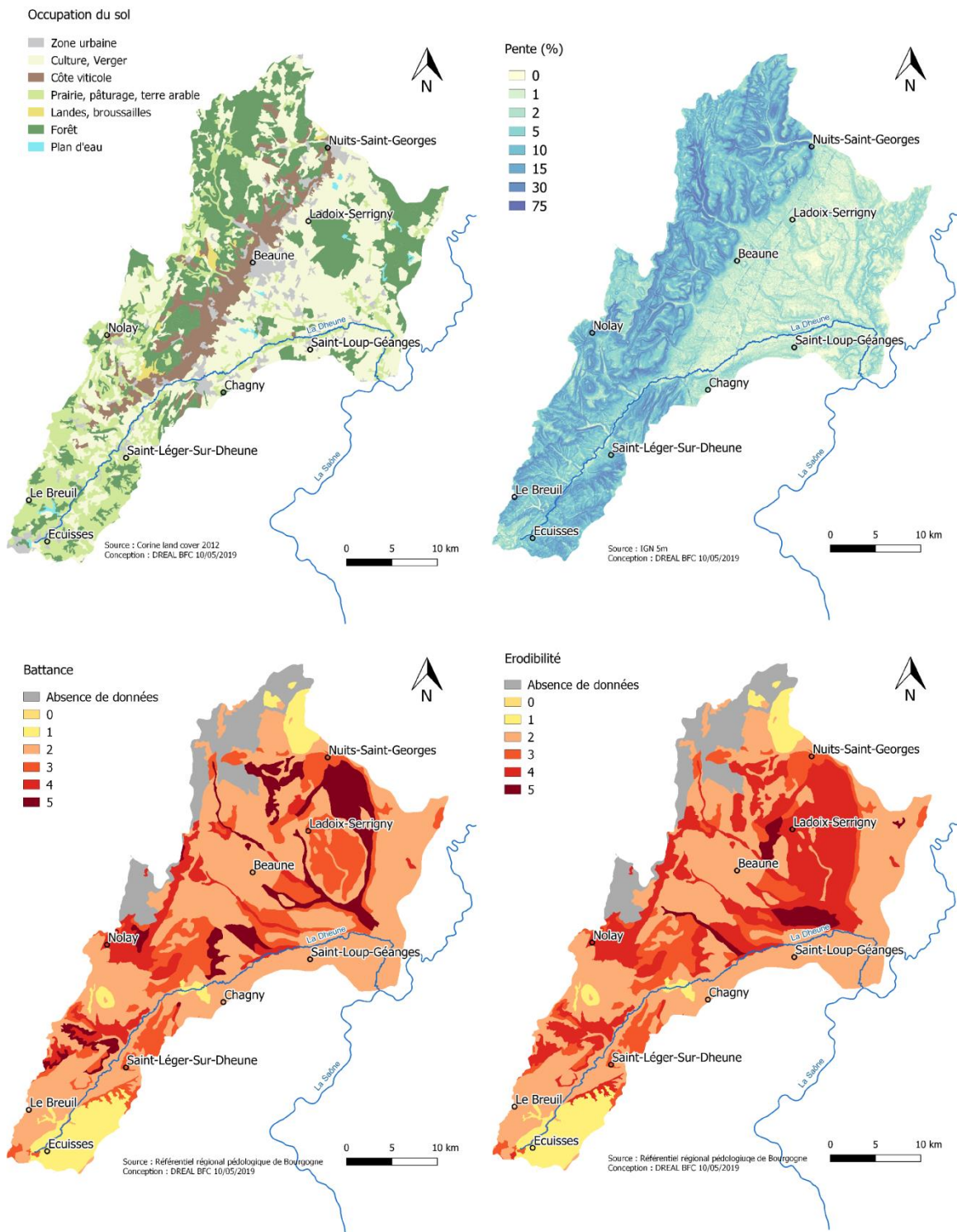


Figure 5 : Carte d'occupation du sol, de pente, de battance et d'érodibilité

Carte d'occupation du sol, de pente, de battance et d'érodibilité du bassin versant de la Dheune



Le bassin versant de la Dheune a une surface d'environ 1 000km², occupé par 100 000 habitants. Son paysage est dominé par les vignes et un tiers de sa surface est occupée par de la forêt. Les pentes sont très fortes à l'Ouest, fortes sur les versants viticoles ; le reste est dominé par de la plaine à l'Est. Situé au cœur de plusieurs influences climatiques, les microclimats de Bourgogne des pluviométries variées mais à tendance croissante en se rapprochant de l'Arrière Côte. Pour toutes ces raisons, les côtes viticoles de Bourgogne font parties des zones les plus sensibles au ruissellement et à l'érosion en France (Le Bissonnais et al. 2002)

2.2 Données utilisées par la DREAL

2.2.1 Topographie

La topographie est un facteur qui influence la genèse du ruissellement ainsi que sa dynamique et son intensité. La pente est la variable la plus citée dans la littérature (Le Bissonnais et al. 2002, CEPRI 2015...). Les pentes fortes favorisent la concentration des flux et accentuent la vitesse des écoulements en surface. Elles favorisent la production et le transfert du ruissellement tandis que l'eau s'accumule dans les zones à faibles pentes. L'aire drainée influence également les écoulements et joue sur la rapidité de la réponse des versants. Ces facteurs peuvent être extraits à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT). L'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière) met à disposition des MNT à plusieurs échelles : 250m, 75m, 25m, 5m et 1m par endroit. Dans cette étude, le MNT 5m a été choisi pour exploiter la topographie la plus fine possible disponible sur l'ensemble du bassin versant car les pentes sont fortes, faisant de la topographie un facteur déterminant dans la production du ruissellement. Le MNT 1m aurait pu être utilisé sur certaines parties du bassin versant mais, le temps de calcul aurait été prolongé et la méthode aurait été complexifiée par l'utilisation de données avec des résolutions différentes. De plus, le MNT 1m donne accès à une information très précise jusqu'à détecter des différences à l'intérieur des parcelles. Ce n'est pas le niveau de précision recherché dans cette étude.

2.2.2 Occupation du sol

L'occupation du sol peut favoriser ou retarder l'apparition du ruissellement. Les zones urbaines sont connues pour générer du ruissellement pour des pluies très faibles. A l'inverse, une zone à fort couvert végétal a tendance à diminuer le ruissellement. Pour distinguer les zones urbaines, les points d'eau, les forêts, les données d'occupation du sol du Corine Land Cover (CLC) de 2012, disponibles gratuitement en ligne sur le site Géorisques ont été utilisées. Le CLC est une base vectorielle produite par photo-interprétation humaine d'images satellites. Il est remis à jour tous les six ans. La mise en ligne trop récente du CLC de 2018 et son accès uniquement sur la base de données européenne n'ont pas permis son téléchargement par la DREAL et donc son utilisation. La couverture du sol varie également en fonction du type de culture et de la saison.

La donnée sur le type de culture par parcelles se trouve dans le Registre Parcellaire Graphique (RPG), disponible en ligne sur Géorisques. Le RPG est construit grâce au recensement que font les agriculteurs dans le cadre de la Politique agricole commune (PAC) ; ils déclarent le type de culture sur leurs parcelles dans le but d'avoir accès à des aides. Les données sont collectées par département avant d'être homogénéisées à l'échelle des régions puis de la France. Les données de 2017 n'étaient pas encore homogénéisées lorsque l'étude a démarré, c'est pourquoi une homogénéisation des informations a dû être conduite entre les départements 21 et 71. Les viticulteurs n'ont pas accès aux indemnités de la PAC, c'est pourquoi les parcelles viticoles sont peu renseignées dans cette base de données. Il y a bien un champ intitulé "vignes" dans le CLC mais en le superposant à l'orthophotographie, il est possible d'observer qu'un certain nombre de parcelles viticoles n'apparaissent pas car le CLC ne distingue que les surfaces supérieures à 25ha.

Pour pallier au manque d'informations sur les parcelles viticoles, la base de données des délimitations de parcelles de l'INAO (Institut national de l'origine et de la qualité) a été utilisée. Elle recense les parcelles à Appellations d'origine contrôlée. Pour la constituer, des experts se rendent sur le terrain depuis 1930 pour déterminer l'appellation auxquelles ont droit les agriculteurs sur les parcelles. Depuis 2008, les informations sont vectorisées, complétées et mises à jour selon le passage des experts de l'INAO à travers la France. C'est la seule base de données répertoriant les parcelles de vignes aussi précisément. Cependant, bien que les parcelles puissent effectivement être cultivées par de la vigne, elles peuvent également être nues ou avoir un autre type de culture. Cette information n'est pas disponible dans la base de données de l'INAO. Le risque est donc qu'en prenant cette base de données soient intégrées des parcelles considérant que leur exploitation est viticole, à tort. L'INAO assure qu'en réalité sur ce territoire, peu de parcelles sont dans le cas d'être destinées à une appellation et dont la culture est autre que de la vigne. On se contentera de faire confiance à l'INAO sur ce point. On ajoute que dans cette base, les parcelles sur lesquelles sont cultivées des vignes mais qui n'appartiennent à aucune appellation ne sont pas disponibles. Dans cette étude, pour ne former qu'une seule couche SIG (Système d'information géographique) d'occupation du sol, la base de données INAO représente les vignes, le RPG permet de faire la distinction des types de culture et, en l'absence de données, le CLC a permis de compléter et de distinguer les grands ensembles. En tenant compte des limites de la base de l'INAO, il aurait été préférable de superposer le RPG au CLC pour ne pas introduire des parcelles destinées à une appellation non cultivées par des vignes.

2.2.3 Pédologie

Le type de sol est également un élément important de la genèse du ruissellement. Les sols riches en limons sont sujets à la formation d'une croûte de battance se résumant à une couche imperméable, réduisant l'infiltration et favorisant le ruissellement en surface. De même, les sols peu perméables, riches en argile, ont de faibles capacités d'infiltration. L'érodibilité d'un sol qualifie sa sensibilité à libérer de la charge solide, associé à la composante coulée de boue. La base nationale pédologique existante est au 1 000 000ème. En l'utilisant, la pédologie aurait été l'information de loin la moins précise. Des régions se lancent dans des Référentiels régionaux pédologiques (RRP) au 250 000ème, comme c'est le cas de la Bourgogne.

Ces données n'existent pas encore en Franche-Comté. Dans un souci de duplication de la méthode à l'échelle de la grande région, la base nationale aurait dû être utilisée. Mais, le choix a été fait de profiter des données disponibles au 250 000ème sur la Bourgogne. A terme, toutes les régions auront un RRP qui sera homogénéisé à l'échelle nationale. Une étude de sensibilité aurait pu permettre de comparer les résultats issus de l'utilisation des deux bases de données pour tester la sensibilité de ce paramètre.

On peut également mentionner que des études au 50 000ème sont faites par l'INRA (Institut national pour la recherche agronomique). Il y en a environ 2 à 3 par an qui sont réalisées. Toutes les études disponibles sont sur le site Refersols.fr. Une étude existe sur le secteur de Beaune. Elle englobe la partie Nord du bassin versant test, mais surtout, Beaune, le secteur avec le plus d'enjeux. Les données sont disponibles après avoir passé une convention avec l'INRA. Une formation est préférable au préalable pour maîtriser le format avec lequel sont livrées les données. Cette formation est dispensée plusieurs fois par an à l'INRA d'Orléans. Cependant, bien que cette formation ait été suivie lors de ce travail de fin d'étude et que le format des données ait été maîtrisé, le constat a été fait que l'utilisation de différentes sources de données rend la méthode plus complexe quand l'objectif est de disposer d'une méthode simple.

Finalement, les données de texture ont été extraites gratuitement du RRP après avoir passé une convention avec la Chambre d'agriculture. La texture correspond aux taux d'argile, de limon et de sable. Ils sont disponibles par Unités typologiques de sols (UTS). Comme elles sont très nombreuses et représentent de petites surfaces, elles sont regroupées en Unités cartographiques de sol (UCS) par des experts dont les géométries sont disponibles sous SIG. Il est possible de connaître le pourcentage de chaque UTS par UCS. Les géométries des UTS n'existant pas, il s'agit de relier chaque UCS aux données des UTS. Pour cela, il est possible de faire une pondération de la texture en fonction du pourcentage de représentativité de chaque UTS par UCS. Il est également possible de ne retenir que l'UTS la plus représentative par UCS. Le choix a été fait de retenir l'UTS la plus représentative, sauf dans les cas où les UTS les moins représentatives sont présentes sur les lieux les plus favorables au ruissellement. Par exemple, si dans une UCS se trouvent deux UTS, l'une représentant 70% de l'UCS généralement présente sur les plateaux ou les champs cultivés, l'autre à 30% mais présente sur des parcelles de vignes, l'UTS à 30% a été retenue. Ce choix a été fait en consultation avec la Chambre d'Agriculture dans le but de ne pas minimiser l'aléa ruissellement. Ce même choix a été opéré en cas d'égalité de représentativité d'UTS par UCS. Ce choix n'affectera au final que 13 UTS représentant environ 11% du bassin versant.

On obtient finalement une carte avec les taux d'argile, de limon et de sable par UCS sur lesquelles la battance, l'érodibilité ou la perméabilité peuvent être approchés en appliquant des diagrammes ternaires de texture (**Figure 6 et 7**). Ainsi, pour chaque UCS, la position dans le diagramme a été déterminée et l'indice a été déduit pour ces trois paramètres. Ces diagrammes sont souvent utilisés dans la littérature, pourtant les sources desquelles ils sont tirés précises un domaine d'application assez restreint. Avec plus de temps, une recherche approfondie aurait pu être conduite sur ces diagrammes et leur utilisation. Lorsque la texture se situait sur une limite entre deux classes, il a été systématiquement fait le choix de conserver la classe la plus défavorable. A noter que sur 8,5% du bassin versant, sur la partie Nord-Ouest, les données de texture ne sont pas disponibles.

Figure 6 : Diagrammes ternaires de battance et d'érodibilité en fonction des textures

(Source : ENSAT)

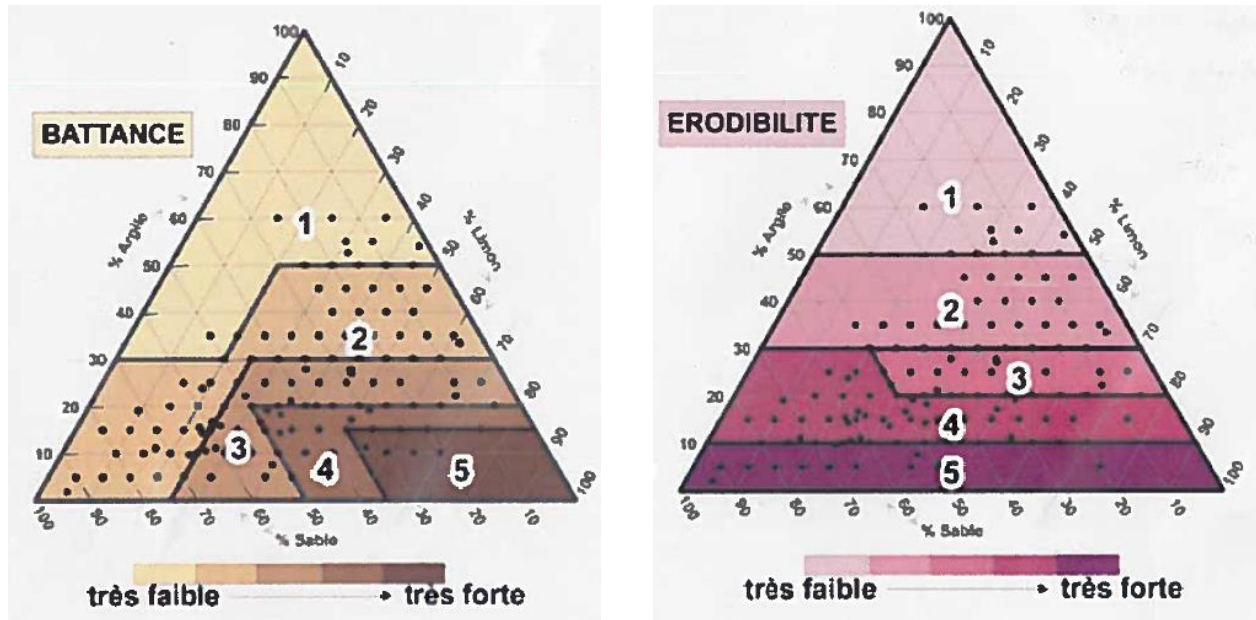
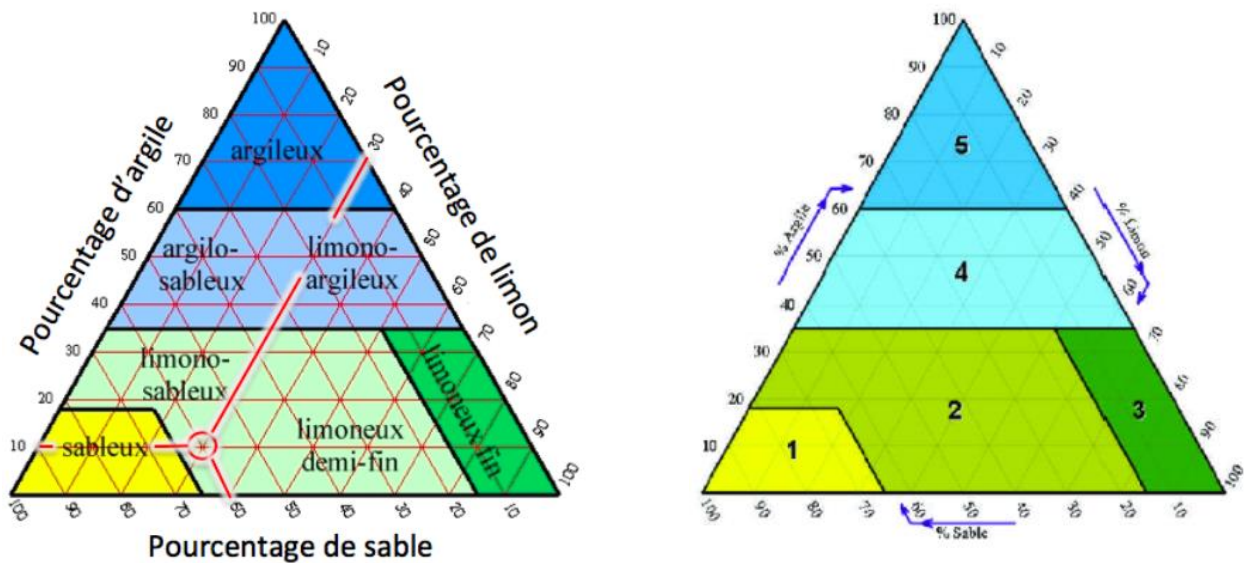


Figure 7 : Diagramme ternaire de perméabilité en fonction de la texture

(Source : CEC 1985)



2.2.4 Climatologie

Les précipitations, qu'elles soient sous forme d'averses, de pluies intenses ou de chutes des neiges, sont en partie à l'origine des inondations. Lorsque le cumul de pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol, un écoulement se forme pour des épisodes d'intensité forte ou faible. Les données climatiques ont été obtenues après le passage d'une convention avec Météo France et l'achat des données. Il existe la base de données Aurehly confectionnée à partir de données sur 95 stations pluviométriques puis extrapolées ensuite sur des mailles de 5km en prenant en compte la topographie et l'aménagement du territoire. Le nombre trop petit de stations à l'échelle d'un bassin versant ne permet pas de montrer les hétérogénéités du territoire concernant l'aléa climatique. C'est la base SAFRAN qui a été retenue. Elle utilise des modèles atmosphériques sur une maille de 8km pour la prévision des avalanches. Cette donnée prend la forme de 12 couches SIG pour les 12 mois de l'année, contenant par pixel le cumul de pluie sur 30 années consécutives de 1981 à 2017. Un autre raster contient par pixel le nombre de fois où le cumul de 15mm/j a été dépassé sur 30 ans. Ce seuil a été proposé dans la méthode MESALES déployée à l'échelle nationale permettant "un bon compromis entre une précision satisfaisante et une discrimination suffisante pour faire ressortir les fortes intensités des pluies de la zone méditerranéenne." (Le Bissonais et al. 2002). Avec plus de temps, des statistiques de pluies auraient pu être faites pour déterminer le seuil pour lequel une précipitation est considérée comme intense sur le bassin versant test ou au moins la région.

2.2.5 Système d'information géographique

La DREAL Bourgogne-Franche-Comté souhaite établir une méthode simple et rapide d'identification de l'aléa ruissellement de sorte qu'elle soit facilement reproductible et compréhensible pour les différents gestionnaires de bassins versants. L'objectif est de s'affranchir de modélisation hydrologique complexe et d'utiliser le croisement d'informations disponibles sur l'ensemble du territoire sous SIG. On essaiera dans la mesure du possible de travailler des données gratuites, facilement accessibles et homogènes sur l'ensemble de la région. Le traitement SIG se fera uniquement sur un logiciel de traitement SIG, gratuit, disponible sur les ordinateurs de la DREAL, à savoir QGIS, version 2.16. Les versions 2.10 et 3.4 ont été installées par la suite pour combler les problèmes relevés sur la version 2.16.

Les données suivantes ont été utilisées :

- la topographie issue du MNT 5m ;
- l'occupation du sol issue de la compilation de l'INAO, du RPG, du CLC ;
- la pédologie issue du RRP de Bourgogne ;
- les données climatiques issues de SAFRAN.

La version QGIS 2.16 a été utilisée et complétée par les versions 2.10 et 3.4 en cas de difficultés pour croiser toutes ces couches SIG.

2.3 Méthodes d'indicateurs utilisées

2.3.1 La méthode MESALES

2.3.1.1 Présentation

Des estimations de l'aléa érosion ont été réalisées à l'échelle nationale grâce à un modèle cartographique nommé MESALES pour Modèle d'évaluation spatiale de l'aléa érosion des sols (Le Bissonnais et al. 2002). Il intègre des paramètres de l'érosion selon un arbre de décision qui hiérarchise et pondère les classes de ces paramètres. La méthode MESALES vise à qualifier spatialement l'aléa érosif diffus des versants cultivés par saison. La sensibilité du terrain est qualifiée en prenant en compte les propriétés du sol (battance et érodibilité), la topographie (pente) et l'occupation du sol. Chaque paramètre est découpé en 5 classes par dire d'experts. Dans un deuxième temps, la méthode confronte cette sensibilité à un facteur climatique qui prend en compte la hauteur moyenne des pluies et l'intensité. On obtient des classes qualitatives de l'aléa de 1 à 7 grâce au croisement de toutes ces données sous forme SIG. L'aléa n'est pas qualifié sur les zones urbaines, espaces dégradés et plans d'eau.

Des premiers essais de réadaptation ont été proposés (Cerdan et al 2006a) sur des études départementales. L'application de la méthode a montré sa robustesse et sa souplesse, c'est pourquoi l'Agence de l'eau Loire-Bretagne a souhaité réemployer cette méthode en 2014 pour répondre à une problématique de colmatage des cours d'eau, dans un projet nommé Verseau (Francesca et al. 2014). Du fait de l'étendue du territoire et de la gestion des données, L'Agence de l'eau a été amenée à choisir 7 variables pour qualifier l'aléa érosif pour les 4 facteurs retenus dans le modèle MESALES. La méthode telle qu'elle est exposée dans le projet Verseau a été réemployée sur le bassin versant de la Dheune, présenté en **Annexe 2**.

2.3.1.2 Choix de la DREAL

Plusieurs raisons expliquent le choix d'appliquer cette méthode. Tout d'abord, en Bourgogne-Franche-Comté, l'érosion est principalement causée par la pluie. Ainsi, l'identification de zones sensibles à l'érosion devrait correspondre aux zones de production de ruissellement. La méthode est simple, rapide et robuste puisqu'elle a été réitérée sur plusieurs bassins versants de problématiques et de tailles variées. De plus, sur le territoire, les problématiques sont fréquemment liées à des problématiques de coulées de boue donc il est pertinent d'identifier les zones propices au départ de matière solide. Cependant, cette carte ne permet pas d'identifier les zones de production de ruissellement dépourvue de matière solide. La Bourgogne-Franche-Comté n'ayant aucune carte pour mettre en évidence l'érosion, cette carte est bien complémentaire des autres et apporte une nouvelle information. La méthode ayant été jugée comme robuste, la comparaison des autres résultats cartographies à celle-ci est intéressante. Enfin, le modèle est simple et reproductible à plus grande échelle. Le Syndicat mixte du bassin versant de l'Armançon a récemment réalisé une étude de sensibilité à l'érosion. Ils ont appliqué cette méthode et ont mis en place un fichier opérationnel permettant de la reproduire. Ils sont un interlocuteur principal dans cette mise en œuvre.

2.3.1.3 Application

La donnée d'occupation du sol, ou plutôt du taux de couverture, est construite à partir de la combinaison du RPG et du CLC. Le but est de classer le type d'occupation du sol en prenant en compte les cultures selon la saison, le changement de cultures sur plusieurs années consécutives et d'avoir une résolution à l'échelle de la parcelle. La variable du taux de couverture du sol permet de rendre compte de l'état de protection du sol vis-à-vis de la pluie, il évolue donc en fonction de la croissance végétative : 1 quand la culture est semée, 3 quand elle est récoltée et 7 quand elle couvre totalement et constamment le sol comme c'est le cas du fourrage. Par exemple, pour le blé tendre d'hiver semé entre octobre et novembre puis récolté en juillet-août, l'indice 1 sera attribué pour l'automne et l'hiver, 2 au printemps, 3 en été. Pour chaque culture et chaque saison, le sol est défini comme nu, partiellement couvert, couvert, ou couvert en permanence. Cette évaluation a été faite sur les RPG de 2015, 2016, 2017. Ensuite sur les trois années, on observe si le sol était nu une année sur trois, deux ans sur trois ou tous les ans. En complétant avec le CLC, on attribue des valeurs selon si le territoire est un espace naturel dégradé (6), de la prairie (7), de la forêt (8), une zone urbaine (11) ou une étendue d'eau (55). Sur le secteur d'étude, il n'y a pas d'espaces naturels dégradés d'après le CLC.

Pour la topographie, on réalise l'extraction des pentes et des aires drainées à partir du MNT 5m de l'IGN disponible sur le serveur de la DREAL. Ces données sont remaniées en 8 classes pour les pentes, 3 pour les aires drainées. En croisant les deux, on établit 8 classes finales :

Tableau 1 : Combinaisons des classes de pentes et des aires drainées

Valeur de pente	Classes de pentes	Aire drainée		
		< 1 ha	De 1 à 20 ha	> à 20 ha
0 à 1 %	0	0	1	2
1 à 2 %	1	1	2	5
2 à 5 %	2	2	5	10
5 à 10 %	5	5	10	15
10 à 15 %	10	10	15	30
15 à 30 %	15	15	30	30
30 à 75 %	30	30	30	30
Plus de 75 %	75	75	75	75

Les données pédologiques extraites par UCS du RRP de Bourgogne ont permis d'attribuer un indice de battance et un indice d'érodibilité en 5 classes grâce aux diagrammes de texture ternaire (**Figure 6**).

Concernant l'aléa climatique, on utilise la quantité de pluie sous la forme d'un cumul saisonnier et l'agressivité des pluies en observant le nombre de jour ou la quantité de pluie a dépassé 15mm/j sur 13 ans. On qualifie l'aléa climatique en utilisant les valeurs au 5ème, 25ème, 50ème et 75ème percentiles des cumuls et nombre de jours comme dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Tableau des percentiles par saison et par cumul supérieur à 15mm/j

Percentile	Hiver (mm)	Printemps (mm)	Été (mm)	Automne (mm)	Nombre de jour >15mm
0	1179	1310	1378	1490	
0,05	1181	1312	1413	1507	207
0,25	1221	1343	1429	1552	215
0,5	1390	1448	1445	1601	241
0,75	1462	1512	1497	1659	254
1	2512	2043	1634	2166	331

Tableau 3 : Tableau des valeurs du facteur climatique pour le mois d'hiver

Cumul (Hiver)	Nombre de jours				
	< 207	207 – 215	215 – 241	241 – 254	> 254
< 1181	1	2	3	4	5
1181 – 1221	2	3	3	4	5
1221 – 1390	3	3	4	4	5
1390– 1462	4	4	4	5	5
1462 - 2512	5	5	5	5	5

L'arbre de décision de la méthode est synthétisé en **Annexe 2**. C'est celui extrait du projet Verseau. Grâce à la somme de ces quatre couches SIG, on obtient un raster avec des classes de 0 à 7 et les autres valeurs des occupations du sol pour lesquels la méthode ne permet pas d'identifier l'aléa (zones urbaines et plans d'eau dans notre cas). Il y a une carte par saison présentée en **Annexe 3** et une carte annuelle qui conserve la classe la plus défavorable au ruissellement lors de la superposition des quatre saisons. Les classes 0 et 1, 2 et 3, 4 et 5, 6 et 7 ont été combinées deux par deux afin d'obtenir une carte en quatre classes pour comparer les résultats à la carte CRUS (cf 2.3.4). La carte est présentée en **Annexe 4**.

2.3.2 La méthode IRIP

2.3.2.1 Présentation

La méthode IRIP dont l'acronyme signifie Indicateur du ruissellement pluvial, a été initiée par l'IRSTEA (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture) (Dehotin et Breil 2011). Elle repose sur l'idée que l'occupation du sol, la nature des sols et le relief sont les facteurs principaux qui déterminent la sensibilité d'un territoire au ruissellement. Elle s'appuie sur les hypothèses de travail suivantes :

1 - Plus il y a de facteurs prédominants, plus il y a de prédisposition.

2- Il n'y a pas de hiérarchie entre les facteurs donc pas de pondération.

3- Pour chaque facteur, on attribue une classe 0 ou 1 et on obtient 5 valeurs d'aléa par carte.

De manière assez simple, elle propose d'attribuer à chacun de ses paramètres une valeur de 0 ou de 1 selon un seuil. Cette méthode permet de réaliser une carte de production, de transfert et d'accumulation du ruissellement. A noter que la définition du ruissellement dans la méthode IRIP n'est pas la même que celle intégrée dans la méthode CRUS décrite ci-après. Pour IRIP, une zone de vignes à forte pente est une zone de transfert, pas une zone de production. La question de la définition du ruissellement est donc essentielle.

2.3.2.2 Choix de la DREAL

Cette méthode a attiré l'attention de la DREAL parce qu'elle permet de distinguer les zones de production des zones de transfert et d'accumulation. La gestion du risque étant complémentaire dans ces trois zones, selon si on modifie les pratiques agricoles pour réduire le risque à la source, ou si on se focalise sur la vulnérabilité des enjeux à l'aval, la DREAL souhaite effectivement faire apparaître distinctement ces zones sur les cartographies. La méthode proposée par l'IRSTEA est robuste et a été testée dans 8 hydro-écorégions avec des événements climatiques variables. L'IRSTEA a pour but de continuer de tester cette méthode sur d'autres bassins versants. Ayant construit un algorithme autonome capable de construire les cartes à partir de l'empreinte du bassin versant, l'IRSTEA a lui-même réalisé la carte IRIP et s'est rendu disponible pour faciliter la compréhension de l'outil.

2.3.2.3 Application

Pour la carte de production, les paramètres qui ont été pris en compte lors de l'élaboration de la carte par l'IRSTEA ainsi que les seuils sont résumés dans le tableau ci-après. On obtient une carte issue du traitement MNT contenant des 1 lorsque le facteur pente et l'indice topographique sont défavorables séparément ou simultanément. On obtient également une carte d'occupation du sol, une carte de perméabilité, une carte d'épaisseur et une carte de battance, soit 5 cartes finalement. A l'issue de la somme de ces 5 couches, on obtient une carte d'aptitude à la production de ruissellement avec des indices de 0 à 5. Les classes 0 et 1 puis 4 et 5 ont été combinées de sorte d'avoir 4 classes et ainsi comparer avec la carte CRUS. Elle est disponible en **Annexe 5**.

Tableau 4 : Paramètres de la méthode IRIP

facteur	paramètre	base de données	seuil
topographie	penne	MNT 30m américain (une décimale de plus que le MNT français)	penne > X = 1, penne < X = 0 avec choix du seuil par étude du mode de distribution
	indice topographique		indice > X = 1, indice < X = 0 avec choix du seuil par étude du mode de distribution
occupation du sol	couverture du sol	Carte OSO images satellitaires THEIA	zone urbaine = 1 zone forestière = 0 autres = par dire d'experts
pédologie	perméabilité	MétéoFrance Lame d'eau radar France, pas de temps 5min, maille 1km	quantité de pluie pendant 1h de pdr 30ans/quantité infiltrable sur les 30cm > 1 = 1 sinon 0
	épaisseur	ESDAC Top Soil (classe de 1 à 5)	classes 1,2 = 1 et 3,4,5 = 0 peut être modulé par test
	battance		classes 1, 2 = 0 et 3,4,5 = 1 peut être modulé par test

A partir de cette carte est générée une autre carte qui va être utilisée dans les cartes de transfert et d'accumulation avec des pixels de valeur 1 lorsque la maille est considérée comme ruisselante, 0 sinon.

On réalise ensuite une carte d'aptitude au transfert en utilisant la même stratégie de seuil à partir de cet indice de production, en réutilisant la carte de penne générée précédemment et en ajoutant un facteur de rupture de penne et d'aires drainées à partir du MNT. Pour les ruptures de penne, on extrait les zones concaves et convexes avec la fonction `r.param.scale` de Grass dans QGIS en considérant les zones d'altitude comprise entre -0.0001 et +0.0001 comme plate. Les zones convexes prennent l'indice 1, 0 sinon. Les aires drainées sont extraites de `r.watershed` et on conserve la valeur 1 pour les aires drainées supérieurs à 5ha, 0 sinon. On utilise également une carte d'érodibilité disponible sur la base de données ESDAC en 5 classes sur la France entière. Les classes 3, 4, 5 génèrent la valeur 1, 0 sinon. Les résultats sont en **Annexe 6**.

Enfin, on élabore une carte d'aptitude à l'accumulation en fonction de l'indice de production, de l'indice de concavité issu des ruptures de penne, de la carte des aires drainées, de la carte de penne mais avec un facteur 1 pour les faibles pennes et la carte d'indice topographique. La somme donne accès à une carte de 6 classes disponible en **Annexe 7**.

En croisant les cartes de transfert et d'accumulation, on obtient la carte des sinistres. Toutes les habitations se trouvant dans les axes d'écoulement et cuvettes sont soumises à l'aléa. Du croisement des trois cartes, on obtient finalement une carte d'aléa du ruissellement pertinente à l'échelle locale.

2.3.3 La méthode CRUS

2.3.3.1 Présentation

La méthode CRUS (Cartographie de ruissellement de surface) a été proposée par le CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) comme une amélioration de la méthode IRIP (Lejeune 2018) lors d'une étude ruissellement sur le bassin versant de la Zorn en Alsace. Elle permet de construire une carte de production et une carte de transfert et d'accumulation. La carte de production s'appuie sur l'utilisation de seuils comme IRIP, toutefois, elle utilise une pondération des facteurs de telle sorte que la somme des paramètres défavorables au ruissellement face 100. Les axes de transfert et les zones d'accumulation sont déterminées à partir de la méthode Exzeco (méthode d'extraction des zones d'écoulement de concentration des écoulements) qui consiste à remplir le fond de thalwegs avec des tranches de lame d'eau de 20 cm jusqu'à 1m sur un MNT au 25 m. Cette méthode a été déployée par le CEREMA à l'échelle de la France dans le cadre de la Directive inondation et met en évidence les Territoires à risque important d'inondation.

2.3.3.2 Choix de la DREAL

Cette méthode a été pensée pour être applicable sur l'ensemble du territoire français. De ce fait, elle recourt à des données disponibles sur la France entière. De plus, la méthode CRUS est une méthode sèche, c'est à dire qu'elle détermine la sensibilité du sol sans prendre en compte un événement pluviométrique de référence. C'est un inconvénient dans la mesure où la méthode ne donne donc pas de hauteur d'eau, de débit ou encore de volume ruisselé à l'échelle d'un bassin versant qui permettent de mettre en œuvre des recommandations en terme de dimensionnement d'aménagement du territoire. Mais on rappelle ici que ce n'est pas l'objectif recherché par la DREAL. Si la cartographie peut paraître grossière par endroit, elle permet toutefois de faire quelques propositions en termes d'aménagement du territoire pour limiter le risque ou encore réduire l'aléa. Elle permet surtout d'identifier des zones sur lesquelles il serait préférable de construire des études plus détaillées concernant le ruissellement. La pondération permet d'ajuster la prédominance de certains paramètres par rapport à d'autres selon le secteur. Pour toutes ces raisons, la DREAL choisit de la tester.

Le CEREMA a la certitude que cette méthode peut permettre d'identifier correctement l'aléa ruissellement de manière très simple. Il souhaite améliorer sa méthode sur le bassin versant test. Un premier jeu de pondération a été élaboré sur la Zorn, il s'agit dans la présente étude de tester ce jeu de paramètres sur le bassin versant de la Dheune pour voir s'il est adapté au contexte local et permet d'identifier l'aléa ruissellement. Si les résultats ne traduisent pas l'aléa tel qu'il est dans les faits, une nouvelle pondération sera proposée suite à une sortie terrain qui permet de mieux appréhender les problématiques du territoire. L'application puis l'amélioration de cette cartographie s'est fait en étroite collaboration avec le CEREMA Est - Laboratoire de Nancy.

2.3.3.3 Application sur la carte de production

2.3.3.3.1 Première version de carte CRUS

On propose dans un premier temps d'appliquer la méthode telle qu'elle a été élaborée sur la Zorn, en utilisant les mêmes seuils et les mêmes facteurs de pondération, dans le but de voir si ce jeu de paramètres pourrait se généraliser pour d'autres cas d'étude. Avant d'effectuer cette application, il était déjà possible de penser que ce jeu de paramètre ne permettrait pas d'identifier l'aléa ruissellement sur le bassin versant de la Dheune. En effet, le bassin versant test a été en partie choisi parce que l'activité viticole y est très développée. Le bassin versant de la Zorn est majoritairement occupé par l'activité agricole qui représente 55% de la superficie totale du bassin. Il n'y a pas de vignes sur le bassin versant de la Zorn. Les pentes sont fortes sur le territoire de la Dheune tandis que les pentes sont plutôt faibles sur celui de la Zorn. De ce fait, le seuil de pente et le facteur de pondération de la Zorn ne permettront sans doute pas d'identifier la sensibilité des différents secteurs à la production de ruissellement. Une sortie terrain permet d'affirmer cette première idée et fournit des éléments pour proposer un second jeu de paramètres. Les résultats de la première version de carte sont présentés en **Annexe 8**.

Tableau 5 : Paramètres de la méthode CRUS

facteur	topographie	pédologie	occupation du sol
paramètre	pente	battance	culture
base de données	MNT 5m	RRP Bourgogne et diagramme ternaire de battance et de perméabilité	RPG 2017 CLC 2012
facteur de pondération	5	60	35
seuil	>2% = 1 <2% = 0	classes 3,4,5 = 1 classes 1,2 = 0	maïs, vigne = 1 prairie, verger = -1 autre = 0

2.3.3.3.2 Visite terrain et deuxième version de carte CRUS

Sur le terrain, il est évident de constater la prédominance de l'activité viticole et l'incidence des pentes par rapport au bassin versant de la Zorn (Photo 1). Les vignes favorisent la production de ruissellement car le couvert végétal est réduit. De plus, les rangs entre les vignes sont rarement enherbés. Le sol est donc directement exposé à la pluie. L'occupation du sol est un facteur prédominant et les vignes, au même titre que le maïs tel qu'il a été identifié sur le bassin versant de la Zorn, constituent un type de culture particulièrement sensible. Il est possible de les regrouper sous le nom de « cultures ouvertes » qui signifie que les rangs entre les cultures sont exposés à la pluie du fait du faible taux de couverture végétal des vignes.

Les pentes des versants sont fortes. Les experts du CEREMA peuvent comparer avec les sorties terrain faites sur le bassin versant de la Zorn et de la Dheune. La pente est un des facteurs qui influencent la production d'écoulements en surface. Sur certains secteurs, la pente est tellement forte qu'en cas de fortes pluies, l'eau doit sans doute s'écouler très rapidement vers l'exutoire, peu importe l'occupation ou les caractéristiques du sol (Photo 2).

Lors de cette sortie, il est également important d'observer la topographie de manière plus globale car il est plus difficile de se la représenter sur un ordinateur. En plus d'observer des pentes qui sont élevées, il est possible de localiser les villages dans cette topographie (Photo 3). Les villages sont la plupart du temps situés dans le thalweg, drainant de large bassins versants. L'aire drainée semble être un paramètre très important ici pour expliquer les inondations dans les villages. Ces inondations ne sont pas forcément dues à la production de ruissellement sur des zones particulièrement sensibles mais à l'importante quantité d'eau drainée en direction des villages. L'aire drainée est donc un paramètre de prédisposition au transfert du ruissellement.

En observant le sol, il est possible de distinguer selon les villages la prédominance du calcaire. Sur certaines parcelles, les cailloux calcaires recouvrent le sol entre les rangs de vignes tandis que sur d'autres, il n'y a que de la terre. Certaines parcelles sont également amendées en calcaire. La prédominance de calcaire naturel est caractéristique d'un sol karstique. Le karst est un milieu calcaire dans lequel l'eau chemine de manière diffuse pouvant subir des pertes ou bénéficier d'apports dus à des résurgences. Cette caractéristique étant difficile à prendre en compte dans la méthode, elle ne sera pas conservée comme facteur prédominant. Toutefois, elle peut expliquer qu'à certains endroits en fond de vallée il n'y ait pas de cours d'eau permanent alors que l'importante surface drainée semble montrer qu'une grande quantité d'eau s'accumule dans ce point bas (Photo 3), et elle peut expliquer des apports d'eau supplémentaires à celle drainée en provenance des plateaux et des versants.



Photo 1 : Commune de Nuits-Saint-Georges



Photo 2 : Commune d'Échevronne

Photo 3 : Commune de Bouzeron vue de Chagny



Photo 4 : Commune de Puligny-Montrachet

Source : Cécile CHOLEY

Sur tous les échantillons manipulés, le sol était peu soyeux. La présence de limon conditionne la battance. Si ce secteur est connu pour être prédisposé au ruissellement et que le sol n'est pas particulièrement battant, alors c'est que la battance n'est pas un facteur prédominant dans la genèse du ruissellement. Toutefois, la quantité de sable, indicateur de perméabilité, semble varier selon les secteurs. Plus le sol est perméable, plus les eaux s'infiltrent et moins la sensibilité au ruissellement est importante. De plus, à Puligny-Montrachet un viticulteur indique que le sol est peu perméable à cet endroit, que l'eau des versants s'accumule dans cette cuvette perméable et rejoint le village, drainée par une faible pente (Photo 4). La perméabilité semble être un facteur de prédisposition à la production de ruissellement sur le bassin versant étudié. Cependant, on peut considérer que lorsqu'un secteur est prédisposé au ruissellement d'après les paramètres sélectionnés, la battance augmente la sensibilité du sol. Les paramètres jugés comme les plus importants d'après la sortie terrain ne sont pas les paramètres qui avaient été retenus pour la première application. Après la sortie, un second jeu de paramètres est donc proposé, plus approprié au bassin versant test ainsi que l'arbre de décision associé :

Tableau 6 : Paramètres de la seconde version de carte CRUS

facteur	topographie	pédologie		occupation du sol
paramètre	pente	battance	perméabilité	culture
base de données	MNT 5m	RRP Bourgogne et diagramme ternaire de battance et de perméabilité		RPG 2017 CLC 2012
pondération	35	10	30	25
seuil	>5% = 1 <5% = 0	classes 3,4,5 = 1 classes 1,2 = 0		maïs, vigne = 1 prairie, verger = -1 autre = 0

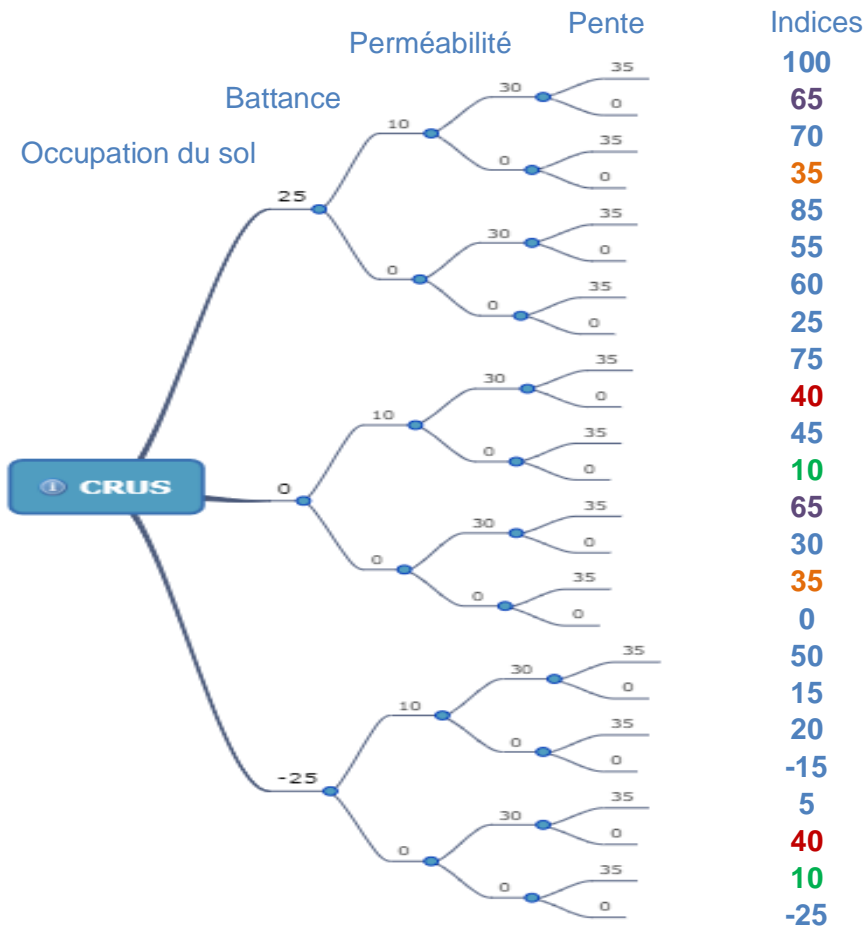


Figure 8 : Arbre de décision de la proposition une d'amélioration de la méthode CRUS

2.3.3.3.3 Version finale de carte CRUS

L'arbre de décision met en évidence des doublons en couleurs dans la **Figure 8**, pour lesquels un même code couleur ne pourrait pas être utilisé, étant donné qu'ils ne qualifient pas le même niveau d'aléa. La méthode repose sur l'utilisation de seuils qu'il faut correctement déterminer pour représenter la réalité des faits. L'utilisation d'un seuil unique rend son choix déterminant. Or, dans la réalité, le risque croît avec la pente ou l'imperméabilité, sans être restreint à une valeur seuil. Etablir des classes par paramètres permettrait de s'affranchir de seuils. En s'inspirant de l'arbre de décision de la méthode MESALES et à partir des observations terrain, un tableau est établi pour illustrer l'augmentation de la sensibilité du sol en fonction de classes d'occupation du sol, de la pente et de l'imperméabilité disponible en **Figure 9**. Ce tableau permet d'identifier la sensibilité au ruissellement sous la forme de classes de 1 à 4, de vert à rouge en croisant les 3 facteurs prédominants.

5 classes permettent de catégoriser l'occupation du sol : forêt, prairie, culture fermée, culture ouverte, sol nu/zone urbaine. Les champs « forêt », « prairie » et « zone urbaine » sont définis dans le CLC. Aucun sol nu n'a été répertorié sur le secteur. Pour séparer les deux types de cultures, la Chambre d'agriculture a participé à la formation d'un groupe de culture fermée et un groupe de culture ouverte à partir des champs du RPG. Les parcelles délimitées par l'INAO ont été ajoutées au champ « vignes » du CLC pour ne pas omettre les parcelles de moins de 25 ha.

Tableau 7 : Classes d'occupation du sol

indice CRUS	caractérisation	intitulé CLC ou RPG
0	forêt	forêt, plan d'eau, broussailles, bois, bande tampon, surface boisée sur ancienne terre agricole, taillis
20	prairie	prairie permanente/temporaire, verger, lin, fourrage, lande, lupin, bande le long de la forêt sans production, bordure de champ, phacélie, bande tampon, estive lande, surface agricole temporairement non exploitée, sainfoin, trèfle, verger, luzerne
40	culture fermée	blé, orge, colza, tournesol, fèves, plantes à fibres, avoine, bande le long de la forêt avec production, autres céréales d'hiver et de printemps, légumineuses fourragères, moutarde, plantes à parfum, miscanthus, pépinière, pois fourrager
80	culture ouverte	vignes, maïs, houblon, soja, surface gelée, pois, protéagineux, truffière, carottes, endives, scaroles, oignon, échalotes, pommes de terre, tomates, autres fruits ou légumes annuel ou pérenne, sorgho
100	sol nu/zone urbaine	zone urbaine

La perméabilité remplace la battance et l'érodibilité. Un diagramme ternaire de perméabilité en fonction de la texture (**Figure 7**) a permis d'attribuer un indice de perméabilité sur chaque UCS.

Pour la pente, les classes de la méthode MESALES ont inspirées celles de CRUS. Dans la méthode CRUS, les pentes de plus de 50% sont considérées comme très fortes, alors que dans la méthode MESALES, les pentes très fortes sont réservées aux pentes de plus de 75%. Une carte issue de ce croisement est présentée en **Annexe 9**.

Ensuite, la sortie terrain avait permis de conclure que la battance était un facteur aggravant lorsqu'elle est forte et cumulée à d'autres facteurs favorables au ruissellement. Un second tableau a été confectionné pour des occupations du sol en culture fermée, ouverte, sur sol nu ou zones urbaines lorsque la battance est de 3, 4 ou 5. Ce second tableau est aussi en **Figure 9**. Dans cette étude, on rappelle qu'il n'y a pas de sols nus. Dans la littérature, ce sont ces trois classes qui sont les plus souvent considérées comme défavorable (Lejeune 2018, Dehotin et Breil 2011). La couche SIG de battance qui avait été réalisée dans la méthode MESALES à partir des textures et du diagramme ternaire a été réemployée. Sur tous les espaces où la battance est de 3, 4 ou 5, le deuxième tableau a été appliqué.

Le format d'un tableau a l'avantage d'être très simple à comprendre, il a donc une vertu pédagogique. Il est modulable selon le terrain car il est possible de modifier les paramètres qui interviennent, les classes et les couleurs issues de chaque croisement. On obtient une carte d'aptitude à la production de ruissellement de 1 à 4 (**Figure 10**).

2.3.4 Application sur la carte de transfert et d'accumulation

2.3.4.1 Etude de la topographie

La majeure partie de ce travail a été consacrée à l'étude des zones de production. En effet, il est difficile de gérer un risque lorsque l'aléa est mal connu. Cependant, la demande qui avait émergé de la part de la DDT21 au départ concernait le risque pour les projets relatifs à l'urbanisme. Or, les enjeux ne se situent pas dans les zones de production mais dans les zones de transfert et d'accumulation des eaux de ruissellement. Une réponse complète à cette demande n'a pas pu être formulée jusqu'à présent, tant le temps passé sur la production a été important. Comme le ruissellement a lieu une fois que le sol est saturé et que la localisation de la saturation dépend de l'événement climatique qu'il est impossible de prévoir avec précision, il est intéressant de se concentrer sur les zones où cette eau s'accumule et se déplace, à savoir les thalwegs. Finalement pour gérer le risque, une étude fine de la topographie semble très pertinente. La question est de savoir si elle est suffisante. Cette question sera traitée pendant l'été 2019. Ce temps sera mis au profit d'une réflexion au sujet du traitement du MNT au pas de 5m et au pas de 1m plus précis, pour évaluer non plus l'aléa ruissellement mais le risque en le croisant avec les enjeux.

Les premiers pas de cette démarche ont été initiés. Il s'agit d'étudier les aires drainées comme connecteurs entre les zones de production et les enjeux. Les aires drainées peuvent être générées à partir de GRASS ou de SAGA. Ils emploient des méthodes différentes (D8 ou multiples écoulements). GRASS a été choisi pour la suite de l'étude (HENGL et al. 2009).

Figure 9 : Tableau des paramètres de la version CRUS améliorée

(BFA : battance faible de valeur 1 ou 2

BFO : battance forte de valeur 3, 4 ou 5)

Foret			Pentes en %											
			0 à 2	2 à 5	5 à 10	10 à 15	15 à 30	30 à 50	>50	100				
			5	15	25	50	60	80	100					
Sol	sableux	1												
	sablo-limoneu	25												
	limoneux	50												
	limono-argileu	70												
	argilo limoneu	75												
	argileux	100												

Prairie			Pentes en %											
			0 à 2	2 à 5	5 à 10	10 à 15	15 à 30	30 à 50	>50	100				
			5	15	25	50	60	80	100					
Sol	sableux	1												
	sablo-limoneu	25												
	limoneux	50												
	limono-argileu	70												
	argilo limoneu	75												
	argileux	100												

Culture fermée			Pentes en %													
			5		15		25		50		29-févr		80		100	
			BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO
Sol	sableux	1														
	sablo-limoneu	25														
	limoneux	50														
	limono-argileu	70														
	argilo limoneu	75														
	argileux	100														

Culture ouverte			Pentes en %													
			5		15		25		50		60		80		100	
			BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO
Sol	sableux	1														
	sablo-limoneu	25														
	limoneux	50														
	limono-argileu	70														
	argilo limoneu	75														
	argileux	100														

Sol nu/Zone urbaine			Pentes en %													
			5		15		25		50		60		80		100	
			BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO	BFA	BFO
Sol	sableux	1														
	sablo-limoneu	25														
	limoneux	50														
	limono-argileu	70														
	argilo limoneu	75														
	argileux	100														

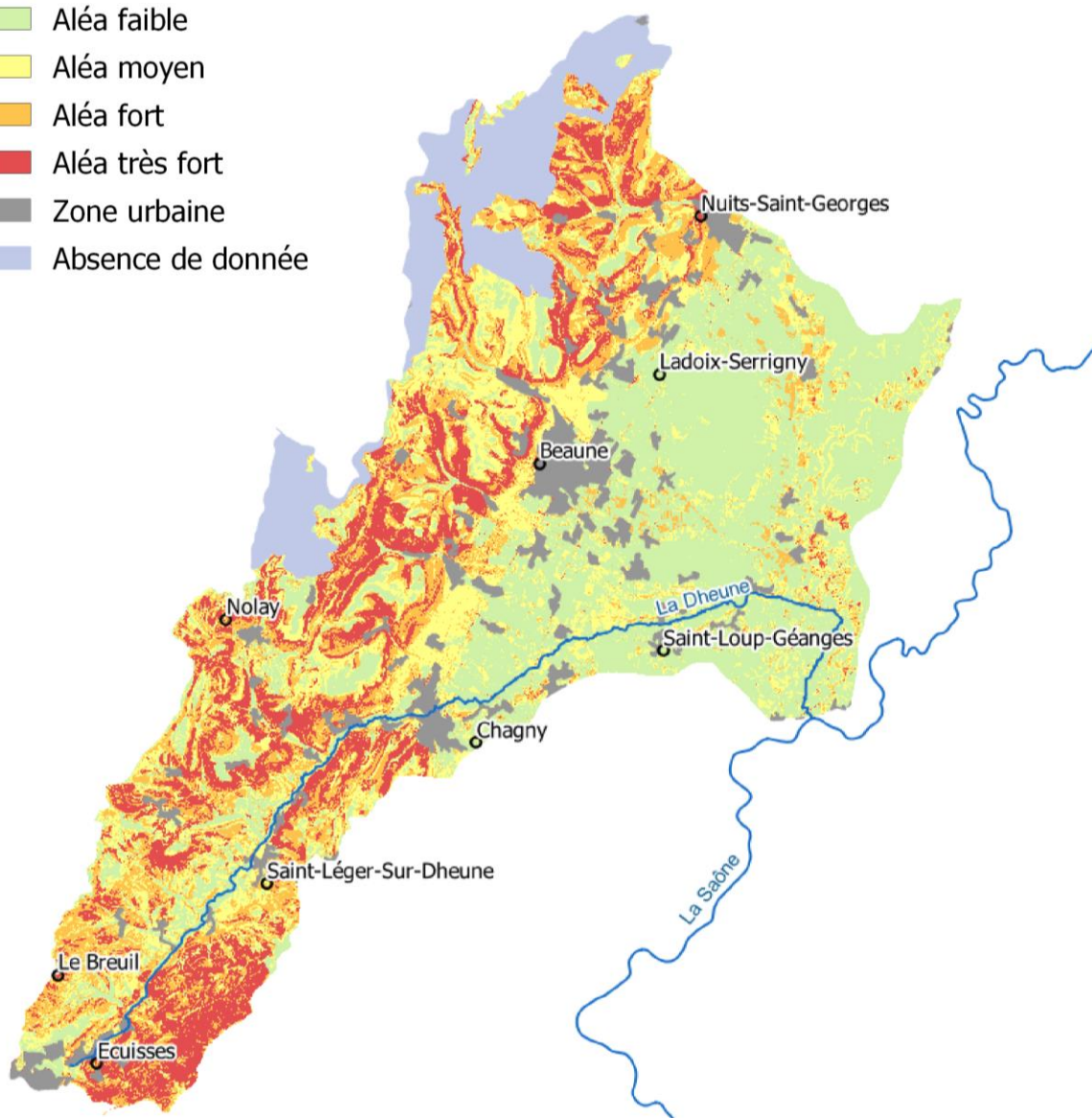
Figure 10 : Carte CRUS améliorée du bassin versant de la Dheune avec battance

Carte d'aptitude à la production des eaux de ruissellement sur le bassin versant de la Dheune

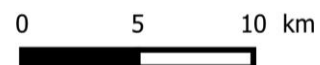
méthode CRUS (avec prise en compte de la battance)

Indice de sensibilité à la production

-  Aléa faible
-  Aléa moyen
-  Aléa fort
-  Aléa très fort
-  Zone urbaine
-  Absence de donnée

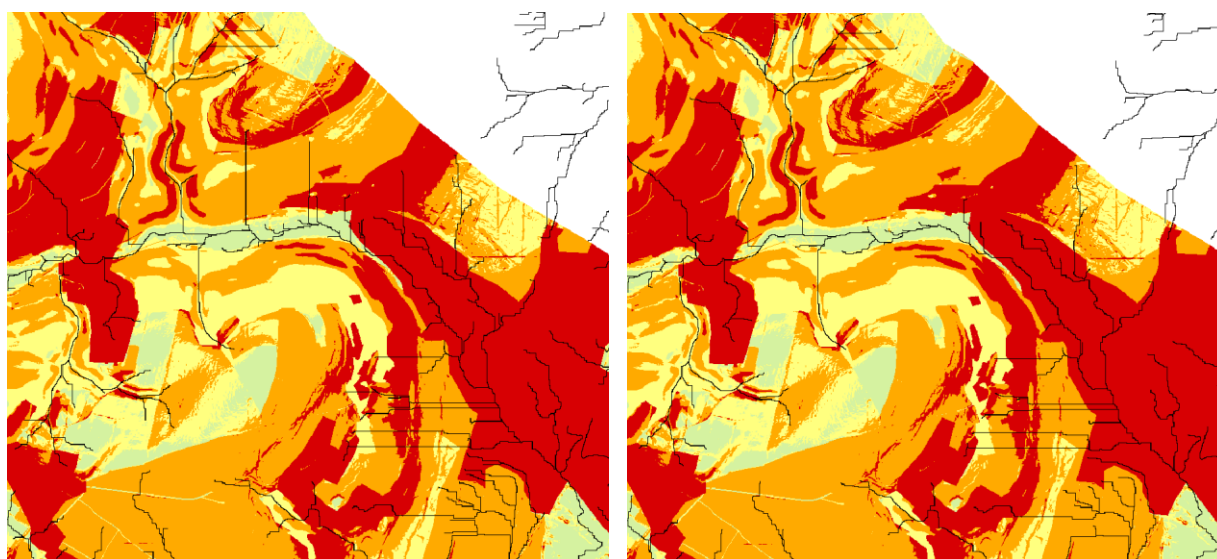


Conception : DREAL BFC 10/05/2019



A partir de la fonction `r.watershed`, il est possible de générer une carte contenant par pixel, l'aire drainée. En fait, pour chaque pixel, GRASS calcule le nombre de pixels qui se déversent dans celui-ci. En réalisant un filtre, on peut ensuite faire ressortir uniquement les aires drainées suffisantes pour illustrer les écoulements principaux. Sélectionner un filtre faisant apparaître des aires trop petites a pour conséquence de montrer une quantité très dense de chemins. Le tout est de choisir un filtre qui permet de faire apparaître un chevelu de cours d'eau dont la densité permet une lecture fluide des phénomènes. En ne sélectionnant que les aires drainées trop importantes en revanche, on risque de perdre des connexions entre les zones de production amont et les enjeux à l'aval. Le filtre idéal a été fixé à 3ha (1200 pixels) comme le montre la **Figure 11**. Grâce à ces aires drainées, il est possible d'observer dans un premier temps s'il y a une connexion entre les impacts avérés et les zones de production théorique à l'issue de la méthode CRUS. L'analyse ne sera pas poussée plus loin dans cette étude.

Figure 11 : Choix des aires drainées en zoomant sur le secteur de Nuits-Saint-Georges avec un filtre à 1200 pixels (à gauche) et 1600 pixels (à droite)



2.3.4.2 Méthode IRIP

La méthode IRIP fonctionne avec un algorithme qui permet de générer à la chaîne des cartes de production, de transfert et d'accumulation. L'IRSTEA peut donc produire une carte de transfert et d'accumulation à partir de leur carte de production. Ce sont ces cartes qu'il faut ensuite confronter aux enjeux pour identifier les secteurs les plus à risque. Le lien entre la carte de production et les autres, est une carte contenant des pixels de valeurs 0 ou 1, 1 quand la maille est considérée comme ruisselante, 0 sinon. Il est donc possible de générer une carte de transfert et d'accumulation à partir d'une autre carte de production si celle-ci est traitée de telle sorte qu'elle contienne des 0 ou 1.

A partir de la carte de production issue de CRUS a été conçue une carte avec des 1 lorsque la classe de l'aléa de production était de 3 et 4, 0 sinon. Comme les paramètres intégrés dans le calcul des axes de transfert et des zones d'accumulation d'IRIP reposent sur une étude fine de la topographie (cf partie Méthodes), les résultats issus de la carte de production CRUS alimenteront la suite de la réflexion sur les facteurs à prendre en compte dans l'étude de la topographie pour détecter un maximum de dommages.

Les deux cartes pourront être évaluées et confrontées par la suite pour voir si la carte CRUS est une bonne manière de représenter l'aléa par rapport à IRIP. IRIP a été évaluée sur de nombreux secteurs et son niveau de détection est plutôt bon car il détecte plus de 90% des dommages sur certains secteurs. La comparaison sera donc intéressante, d'autant plus que la méthode IRIP est une boîte noire qu'il est difficile de comprendre et de modifier. Trouver une alternative pour détecter des axes d'écoulement et des zones d'accumulation via une analyse approfondie du MNT mais en restant simple et accessible comme le souhaite la DREAL, permettrait de s'en affranchir.

Il ne faut pas oublier que la méthode IRIP a été construite avec une continuité entre la carte de production et celles de transfert et d'accumulation. En effet, dans le raster de valeur 0 ou 1 issu de la carte de production se trouve une seconde information concernant le sens de l'écoulement, dans une logique de continuité hydrologique. Cette information n'a pas été reportée lors de l'utilisation de la carte de seuils issue de CRUS. Il semblerait donc normal que les impacts soient moins bien détectés car l'algorithme n'a pas été conçu pour incorporer ce type de données d'entrée.

2.3.4.3 Exzeco

La méthode CRUS initiale prévoit d'utiliser les couches issues du traitement Exzeco (cf Méthode) comme zones de transfert et d'accumulation. Le fait d'injecter une lame d'eau d'1m dans un MNT grossier ne semble pas pertinent pour observer l'aléa ruissellement qui excède rarement 40 cm d'eau. Toutefois, Exzeco repose sur un algorithme capable de tourner avec des MNT à des pas différents. Le CEREMA en est propriétaire et le traitement est très lourd puisqu'il s'agit de répéter une opération plus de 1 000 fois en bruitant le MNT. Le calcul n'est possible que sur les ordinateurs du CEREMA à Aix-en-Provence. L'étude approfondie du potentiel d'Exzeco vis-à-vis du ruissellement et son étude comme élément de comparaison n'a pas été étudié ici mais sera étudié dans le courant de cet été.

2.4 Méthodes qui n'ont pas été retenues

Lors d'un groupe de travail national consacré au ruissellement, plusieurs méthodes ont été présentées à la DGPR. Le CEREMA a présenté son étude sur la Zorn, l'IRSTEA a proposé son projet de production à grande échelle via la méthode IRIP. Ces deux méthodes ont retenu l'attention alors qu'elle était en train de tester la méthode MESALES. Un accompagnement à travers l'utilisation de ces méthodes par des experts a été proposé à ce moment précis. Toutefois, d'autres méthodes avaient été présentées mais n'ont pas été retenues.

Le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) a présenté une méthode utilisant des données pédologiques très précises, jugeant ce paramètre comme déterminant dans la méthode. C'est certain que le paramètre de sol est prépondérant et qu'une bonne caractérisation de celui-ci permet d'aboutir à une bonne vision de la sensibilité du terrain au ruissellement. Toutefois, la seule base de données des sols nationale existante actuellement est au 1 000 000ème. Les RRP se développent dans de plus en plus de régions, mais globalement les gestionnaires du risque ruissellement sont confrontés au manque de données de sol. La reproductibilité de la méthode expérimentée par la BRGM paraît être sa principale limite.

La DDTM du Nord propose un modèle développé pour appréhender le ruissellement lorsqu'il entre en contact avec la ville. Elle propose un modèle hydrologique en s'appuyant sur une pluie de référence. Une fois le débit à l'entrée d'une ville quantifié, il le propage dans les rues. Lorsque l'écoulement rencontre une infrastructure, le modèle matérialise l'interface comme un fluide rencontrant un milieu peu poreux. Lorsque la hauteur de l'écoulement dépasse celle des fenêtres, la porosité augmente. Ce modèle semble très complexe et très poussé sur la partie interaction entre l'écoulement et les infrastructures alors que le ruissellement lui, repose essentiellement sur la probabilité qu'un épisode de pluie intense se manifeste sur une localisation très précise. La précision sur les bâtiments ne nous semble pas justifiée, très incertaine et pas adaptée au type de méthode que la DREAL souhaite mettre en œuvre.

D'autres méthodes existent et notamment des modèles (Breil et Dehotin 2010, CETE Normandie Centre 2009) mais c'est une méthode par indicateurs qui est préférée ici du fait de sa simplicité à être appliquée, expliquée (Regazzoni et Payraudeau 2010), reproduite et également pour combler le fait qu'aucune données quantitatives ne sont disponibles pour l'étude.

Trois méthodes qualitatives ont été retenues dans cette étude, qui utilisent un croisement SIG des données d'occupation du sol, pédologiques et topographiques pour produire une carte de production :

- MESALES (INRA) découpe les couches des données d'entrée en classes. Plus la valeur du paramètre joue en faveur du ruissellement, plus sa classe est élevée. Elle croise ensuite les couches et matérialise des zones d'aléa faible, moyen, fort et très fort selon les classes des paramètres qui se croisent.
- IRIP (IRSTEA) fixe des seuils pour chaque paramètre d'entrée. Si la valeur du paramètre est supérieure au seuil, sa valeur devient 1, 0 sinon. Un algorithme interne à l'IRSTEA permet de la mettre en œuvre à partir d'un vecteur de bassin versant.
- CRUS (CEREMA) s'inspire d'IRIP mais propose en plus une pondération pour chaque paramètre pour donner plus d'importance aux facteurs prédominants.

Ces zones de production sont connectées à des zones de transfert et d'accumulation qui drainent l'eau jusque-là où se trouvent les enjeux. Un traitement de MNT semble suffisant pour représenter les zones représentant un danger pour les enjeux. Une étude des aires drainées permet d'initier une première approche en ce sens. Pour les cartographier, l'IRSTEA a également un algorithme pour dessiner ces cartes à partir de la carte de production. L'étude du transfert et de l'accumulation a été simplement initiée dans ce rapport mais sera poursuivie cet été.

2.5 Evaluation des cartes

2.5.1 Base de données événements

2.5.1.1 Absence de base de données existante

Pour évaluer les cartes, l'idéal aurait été de disposer d'une base de données dédiée au ruissellement dans laquelle les dates des événements seraient recensées ainsi que les communes touchées avec des photos, des coupures de presse, des cartes identifiant les zones de production et les dommages. A partir de ces données, il aurait été possible de calculer le pourcentage de zones de production et de dommages effectivement détecté par les méthodes. Il est donc possible d'évaluer les cartes de production d'un côté et les cartes d'aléa issues de l'algorithme d'IRIP d'un autre. Par la suite, une attention particulière aurait été portée sur les zones de production et dommages non identifiés pour mettre en évidence les limites des méthodes. Aucune base de données de ce type n'existe à ce jour.

Pour pallier à l'absence d'une base de données existante, il est possible de construire une banque d'informations en collectant des photos, des coupures de presse et des témoignages pour établir des vecteurs de zones de production et de dommages réels, capitalisés lors d'événements passés. Pour cela, plusieurs pistes ont été exploitées.

2.5.1.2 Données issues des études disponibles

L'étude historique réalisée par la DREAL délivre des cartographies indiquant les communes les plus touchées par le ruissellement de 1900 à 2012. A partir de ces cartes, il aurait été possible d'observer si ces communes jugées sensibles se retrouvent bien dans les zones de production, de transfert et d'accumulation afin d'évaluer les méthodes. Cependant, les observations terrain ont permis d'appréhender les difficultés de la définition du ruissellement et de remettre en question ces données comme outil d'évaluation. En effet, par endroit, les villages sont situés dans des thalwegs qui drainent de larges bassins versants en amont. Il est tout à fait possible que lors de forts orages, une importante quantité d'eau soit drainée jusqu'au village, sans que les zones amont soient spécifiquement sensibles au ruissellement. Cette eau peut être drainée dans des ruisseaux qui se mettent alors en charge, débordent et peuvent nuire aux habitants. Le ruissellement n'est pas forcément à l'origine des dégâts générés dans ce cas. Il s'agit davantage de « crue soudaine générées par des temps de concentration très rapide ayant pour conséquence une inondation par débordement rapide de cours d'eau. L'**Annexe 10** issue de l'étude du Grand-Chalon montre l'exemple de la commune de Dennevy. Les ruisseaux jouant le rôle d'exutoire, leur entretien défaillant peut également conduire à des débordements dans le village en aval alors que celui-ci joue correctement son rôle de collecteur des eaux pluviales. Les grilles augmentent aussi le risque d'obstruction. Une commune en haut de plateau avait également été identifiée. Les inondations sont probablement dues à des écoulements en provenance d'une forêt située en amont et dont des chemins forestiers facilitent le transit. Finalement, la base de données initiale semble manquer de confrontation avec le terrain. Elle ne sera pas retenue comme élément d'évaluation.

L'étude historique a également permis de repérer quelques dommages qui ont été relevés à la main sur des cartes sur les communes de Beaune, Pommard et Nuits-Saint-Georges du type routes ou habitations impactées avec la date et l'intensité évaluée de 1 à 5. Des axes de ruissellement lors d'événements ont également été dessinés. Ces éléments ont été vectorisés et initient la création de la base de données de dommages vectorisés.

L'agglomération du Grand-Chalon est régulièrement confrontée à des inondations par ruissellement. Elle a pris la main sur la gestion de ce risque en développant une étude détaillée sur le risque ruissellement sur 51 communes. Deux bureaux d'études ont réalisé des modélisations hydrologiques avec les logiciels LISEM ou HEC HMS selon les secteurs pour mieux connaître l'aléa et proposer des aménagements. Le Grand-Chalon empiète sur 12 communes du bassin versant de la Dheune. Sur ces communes, il est possible de comparer les résultats issus de l'application des méthodes aux synthèses réalisées par les bureaux d'étude. On dispose sur les 12 communes d'une analyse de la situation actuelle qui identifie les secteurs à l'origine de la production de ruissellement, des axes d'écoulement préférentiels et des dommages recensés pour les événements de 2014 et 2016. Un exemple de description des phénomènes est disponible en **Annexe 10**. Ces éléments sont vectorisés et ajoutés à la base de données initiées. En tout, il y a donc des dommages vectorisés sur 15 communes. Il y en a une centaine en tout. C'est peu pour avoir une évaluation complète des cartographies. Pour compléter ces dommages, les données relatives aux demandes d'indemnisations CATNAT ont été consultées.

2.5.1.3 Données issues des demandes d'indemnisations CATNAT

Pour qu'une commune soit indemnisée sous le régime CATNAT, elle doit faire un dossier à destination de la préfecture en décrivant les événements et dommages subis. Dans ces dossiers se trouvent donc des informations qui permettraient de compléter l'évaluation. Ces dossiers sont disponibles aux archives de la préfecture ou aux archives municipales. Dans les mairies, seules les demandes faites par les communes sont disponibles. Dans les préfectures, les demandes sont complétées par un avis émis par l'hydrométrie de la DREAL et par Météo France. Si la période de retour des crues et des pluies est supérieure à 10 ans, alors l'avis formulé est favorable. Comme les mairies peuvent faire des demandes d'indemnisation pour plusieurs types de phénomènes (inondations, remontée de nappe, grêle, cyclone, etc), un tri a été fait pour ne retenir que les inondations dues au ruissellement et cibler la demande.

Une extraction de la base de données disponible sur le site Géorisques et reprenant dans un tableau toutes les demandes d'indemnisations CATNAT permet d'isoler les communes pour lesquelles des événements « inondation et coulées de boue » ont été connus sur le bassin versant d'étude. Toutefois, cette information ne permet pas de faire la distinction entre les communes ayant été inondées par débordement ou ruissellement. Les communes déclarent pourtant l'origine du phénomène dans un CERFA en distinguant les deux comme, on le voit dans l'**Annexe 11**. Les inondations et coulées de boue sont ensuite confondues lorsque la préfecture a traité la demande et que les données ont été saisies dans la base de données Gaspar. D'autres fois, elle est mal renseignée car il est difficile de distinguer les deux phénomènes et les maires ne sont pas sensibilisés à l'importance de sélectionner le bon phénomène. Un moyen d'isoler les événements dont le ruissellement a causé les dommages doit être établi.

Dans un premier temps, les événements de mai à septembre dont les dates de début et de fin sont similaires ou décalées d'un jour ont été isolés. En effet, les événements de ruissellement ont lieu le plus souvent à cette période et comme c'est un phénomène rapide, on considère que le phénomène a une durée d'un jour maximum. Avec cette hypothèse, les phénomènes pluvieux intenses d'une durée de plusieurs jours qui auraient contribué à la formation de ruissellement sont écartés et les débordements de cours d'eau d'une durée d'un jour sont conservés. Pour retirer les débordements de cours d'eau, il est possible d'observer, par commune concernée, la banque hydro pour voir si les cours d'eau étaient en crue à la date de l'événement. Mais, comme le nombre d'événements d'une durée d'un jour est assez faible (11 événements sur le 21, 23 sur le 71), le choix est fait de demander les informations relatives à tous ces événements et de distinguer leur origine à partir de celles-ci pour gagner du temps.

En contactant les mairies par téléphone ou par mail, il est évident de constater qu'elles conservent rarement les archives entre chaque mandat. Ainsi, aucun document relatif aux événements antérieurs à 2014 n'a été collecté. Peu d'entre elles ont également répondu aux sollicitations (4 réponses sur 20 demandes). Parmi les dossiers consultés, il est possible d'accéder au CERFA décrivant le type de phénomène naturel à l'origine des dégâts selon le maire comme celui présent en **Annexe 11**. Sur les CERFA, les cases « inondations par débordements de cours d'eau » et « inondations par ruissellement et coulées de boue » sont souvent cochées ensemble et ne permettent pas d'identifier le phénomène. Les rares photos des dossiers sont des photos des dommages, comme l'eau dans les maisons, souvent après l'événement, mais l'adresse n'est pas renseignée et la hauteur d'eau n'est pas maximale. Quelques dossiers contiennent une carte où les maisons touchées sont identifiées et ces dommages sont ajoutés à la base de données. Comme le phénomène n'est pas décrit, il est impossible de comprendre ce qu'il s'est passé simplement à partir de ces dossiers.

En consultant les archives de la préfecture de Côte d'Or, il est possible d'accéder aux demandes depuis 1982, date de création du fond d'indemnisation. Elles peuvent être détruites lors des déménagements et c'est d'ailleurs prévu pour la préfecture 21 courant juin. Depuis 2016, les demandes ont été dématérialisées, elles ne se trouvent pas aux archives. La préfecture renvoie systématiquement les photos pour ne pas s'encombrer et ne conservent que les CERFA dématérialisés. Pour les dates antérieures, les dossiers contiennent rarement des descriptions des événements et des photos. Des données pluviométriques et hydrométriques sont disponibles et permettent de décrire l'hydrologie de l'événement seulement. Finalement, aucune information pertinente n'a été dégagée.

2.5.1.4 Observations terrain

Pour compléter, une seconde sortie terrain sans expert a été réalisée et certains maires ou viticulteurs ont été rencontrés. Le plus souvent, ils sont les plus à même de décrire les phénomènes qu'ils ont connus. Après ces observations, des zones de production potentielles ont été ajoutées à la base de données. Pour les axes de transfert, ce sont les chemins et routes qui semblent collecter le ruissellement diffus et le drainent de manière concentrée vers l'aval. Les dommages sont rarement identifiés donc cette sortie n'a pas permis d'alimenter la base de données. Cependant, elle a permis de mieux appréhender les enjeux auxquels les maires font face au sujet du ruissellement, des pratiques viticoles et de l'urbanisation. Une synthèse des sorties terrain est disponible en **Annexe 13**.

2.5.1.5 Journaux

Les journaux ont été rapidement parcourus pour voir s'il est possible de remonter jusqu'à des événements anciens étant donné que les événements ayant causé du ruissellement et ceux qui ont généré le plus de dégâts ont eu lieu avant les années 2000. Le Bien Public et Le Journal de Saône-et-Loire sont les deux journaux qui sont diffusés dans les communes du bassin versant de la Dheune. Une consultation des archives est possible seulement dans les 30 derniers jours à partir de la date de la recherche. Sans s'abonner, il n'est pas possible de lire les articles. La DREAL est abonnée mais l'abonnement ne permet pas de consulter les documents datant d'avant 30 jours. Il aurait été possible de répertorier les communes pour lesquelles des ruissellements ont été connus pour voir si elles apparaissent comme sensibles dans les cartes produites. La piste n'a pas été plus approfondie à cause du manque de temps.

2.5.2 Test de la méthode sur un autre bassin versant

Comme dit précédemment, le Grand-Chalon a mené une étude poussée sur son territoire. De ce fait, un travail sur la localisation des dommages causés par les événements historiques de 2014 et 2016 a été effectué sur 51 communes. Une base de données avec des parcelles génératrices de ruissellement et des dommages complète existe sur ce secteur. Les méthodes auraient pu être réitérées sur ce secteur pour mener une évaluation complète grâce toutes ces données disponibles et en même temps tester la flexibilité de la méthode établie dans ce rapport.

2.5.3 Evaluation en temps réel

Le travail de fin d'étude ayant une durée de 6 mois et portant sur le ruissellement généré lors des forts orages, un dispositif a été construit de sorte qu'une équipe se mobilise en cas de tels événements sur le secteur d'étude. Cette équipe se compose de deux personnes de l'EPTB (Établissement public territorial de bassin) Saône-Doubs et d'un agent de la DREAL. Pour cela, un protocole ruissellement a été mis en place entre les deux organismes, décrivant la mobilisation des agents et la méthode de capitalisation de données de sorte que la représentativité des cartographies soit vérifiée sur le terrain et que l'EPTB capitalise des données sur le ruissellement, pour la durée du stage. Toute cette mobilisation fait suite à une alerte APIC reçue directement sur la boîte mail après établissement d'une convention entre la DREAL et le Service de prévision des crues (SPC) Rhône amont Saône dans le cadre spécifique du travail de fin d'étude. Elle permet d'alerter les abonnés, généralement des communes, d'un événement pluvieux intense. Malheureusement, pendant toute la durée du stage, aucune alerte n'a été déclenchée sur le secteur test. Aucune donnée n'a donc pu être collectée sur un phénomène en temps réel.

L'EPTB et la DREAL souhaitent pallier aux manques de données sur le ruissellement. Pour cela, ils travaillent ensemble sur l'établissement d'une base de données spécifique au ruissellement pour la mettre à disposition du public via l'Observatoire régional ORISK (Observatoire des risques inondations, sécheresses et du karst en Bourgogne-Franche-Comté). Un protocole a est en cours de rédaction de sorte que lors des futurs événements orageux, les informations collectées permettent d'évaluer les cartes, à posteriori.

2.5.4 Comparaison des méthodes entre elles

Face à la difficulté de constituer une base de données permettant de fournir une évaluation quantitative, la seule évaluation quantitative possible résulte de l'étude des trois cartes. En comparant les rendus des trois cartes, le positionnement de leur aléa faible à très fort, les zones détectées avec la même classe d'aléa, celles où toutes les méthodes divergent et observer les méthodes qui se rapprochent le plus est un moyen d'évaluer les résultats des cartes de production. Il n'est certainement pas le meilleur, mais aucune forme d'évaluation idéale des cartes de production de ruissellement n'a été trouvée dans cette étude.

2.5.5 Critères d'utilisation des méthodes

La DREAL avait un cahier des charges assez précis sur l'application des méthodes. Il est important d'évaluer chaque méthode selon des critères qui permettent d'apprécier la prise en main et l'utilisation des méthodes. Les critères suivants ont été retenus. Pour chaque méthode, un indice de 0, 1 ou 2 est attribué de sorte d'atteindre une note sur 20 pour qualifier l'utilisation de la méthode.

- prise en main facile : compréhension du raisonnement global de la méthode, des hypothèses et des choix, accessibilité de la bibliographie ;
- application simple et rapide ;
- mise en œuvre avec des logiciels gratuits et faciles d'utilisation ;
- utilisation de données disponibles gratuitement ;
- facilement reproductible par une autre personne de la DREAL pour réitérer la méthode sur d'autres bassins versants ;
- faire du terrain pour comprendre les phénomènes ;
- s'abstenir d'expertise afin que la DREAL puisse reproduire seule la méthode ;
- flexibilité de la méthode ;
- reproductibilité à une échelle plus grande si possible pour implémenter sur des bassins versants plus grands ;
- résultats visuels sous forme de zones en perspective de leur utilisation par les gestionnaires du territoire.

2.5.6 Carte d'aléa issue d'IRIP

L'aléa ruissellement est connu lorsque les zones de production et les chemins d'écoulement sont identifiés et que ces chemins rencontrent les dommages vectorisés. Les zones de production ont été cartographiées en suivant plusieurs méthodes. L'algorithme d'IRIP injecte la carte de production pour construire les cartes de transfert et d'accumulation. Une carte similaire a été construite à partir de la carte de production issue de l'application de la méthode CRUS pour comparer les résultats des deux méthodes. Il y a donc deux cartes d'aléa à évaluer. Pour évaluer sa méthode, l'IRSTEA utilise une base de données de dommages géo-référencés sous forme de points. Un tampon de 50 mètres est dessiné autour de ces points pour combler le fait que les dommages ne sont pas exactement définis au pixel près sous SIG.

Sur les cartes de transfert et d'accumulation ne sont conservés que les pixels pour lesquels les classes sont de 4 ou de 5. Les zones issues de ces deux cartes sont ensuite fusionnées puis comparées aux impacts. Un impact est considéré comme détecté lorsqu'il y a intersection entre ces zones et le tampon du dommage. La méthode est considérée comme validée lorsque le croisement permet de détecter plus de 80% des dommages.

Cette évaluation a été conduite sur les cartes issues de la méthode IRIP seule et après sa combinaison avec les zones de production issue de CRUS. La base de données créée lors de cette étude a été utilisée pour conduire l'évaluation. Il est évident que le nombre de dommages est insuffisant pour avoir un vrai regard critique sur les méthodes mais cette approche permet d'avoir une première idée. Si plus de dommages avaient été disponibles sur le bassin versant de la Dheune, les résultats de cette étude aurait été plus solides et plus représentatifs de la réalité. Ces données existent sur le bassin versant dans lequel s'inscrit la communauté de commune du Grand-Chalon. La méthode CRUS aurait pu être mieux évaluée dans ce secteur. La méthode IRIP quant à elle a été réalisée par l'IRSTEA sur cet autre bassin versant. 80% des dommages ont été décelés. On s'attend donc à avoir de bons résultats pour cette méthode.

2.6.2 Carte d'aléa à partir des aires drainées

Pour évaluer la représentativité de la carte de production CRUS et de sa connexion avec les aires drainées, une étude qualitative sera conduite par rapport aux dommages. L'idée est de partir des dommages pour voir si les aires drainées permettent de remonter vers une zone de production potentielle.

Pour les cartes de production, il est difficile de réaliser une étude quantitative car les zones de production relevées lors d'événements de pluie intense sont peu nombreuses. Une comparaison qualitative entre les cartes et les phénomènes avérés est utilisée. Les résultats des trois cartes sont comparés entre eux sur leur rendu, leurs concordances et discordances ainsi que sur leur facilité d'utilisation.

Pour les cartes de transfert et d'accumulation issue de l'algorithme d'IRIP, le pourcentage d'enjeux détectés est calculé. L'évaluation est quantitative.

Pour les cartes de production et les aires drainées, à partir des dommages, on regarde s'il est possible de remonter jusqu'à la zone de production à l'origine du phénomène. L'analyse est qualitative.

3. RÉSULTATS

Une carte des communes citées dans ce rapport est disponible en **Annexe 14** à la fin de ce rapport pour faciliter la compréhension des résultats.

3.1 Evaluation des cartes de production

3.1.1 Comparaison des résultats des trois méthodes

Dans les cartes issues de l'application des méthodes CRUS et MESALES, les UCS où les données de texture manquent sont matérialisées en violet, les zones urbaines en gris et les plans d'eau en bleu clair. Sur ces zones, la sensibilité à la production de ruissellement n'est pas qualifiée car ce sont des méthodes d'identification du ruissellement d'origine rurale et non urbaine. Dans la réalité, les zones urbaines correspondent à des zones de risque de production importante et les plans d'eau à des zones où le ruissellement est nul. Les identifier sur les cartes permet de ne pas avoir un raisonnement erroné sur ces zones. Systématiquement sur les trois méthodes, il est possible de distinguer deux ensembles séparés par la côte viticole : une partie Est, une partie Ouest du bassin versant. Les résultats seront décrits en utilisant cette séparation.

3.1.1.1 MESALES

L'aléa érosif a été évalué sur les quatre saisons dans la méthode MESALES en **Annexe 3**. Une carte d'aléa annuel a été réalisée en conservant sur chaque pixel la valeur la plus favorable à l'érosion en **Annexe 4**. La carte offre un rendu différent selon les endroits. L'aléa est qualifié sur des zones dans la partie Ouest ou à l'échelle des parcelles à l'Est.

La méthode utilise un aléa climatique. Or, les mailles de pluie sont assez grossières. Il est possible d'observer certaines frontières de mailles par un changement de couleur brutal sur un même ensemble comme sur la **Figure 12**. En fait, il y a plus de pluie à l'Ouest qu'à l'Est en hiver et au printemps d'où la séparation nette.

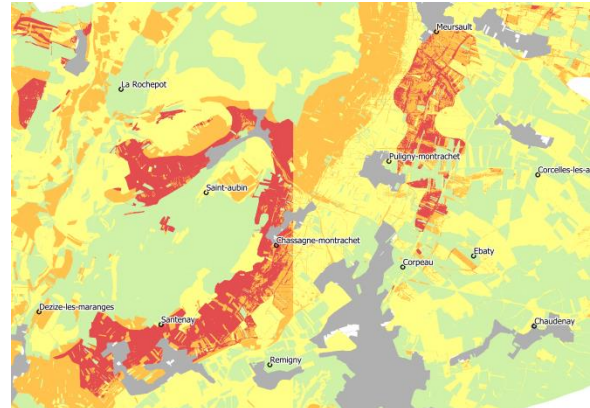


Figure 12 : Mise en évidence des mailles de pluie dans le résultat MESALES

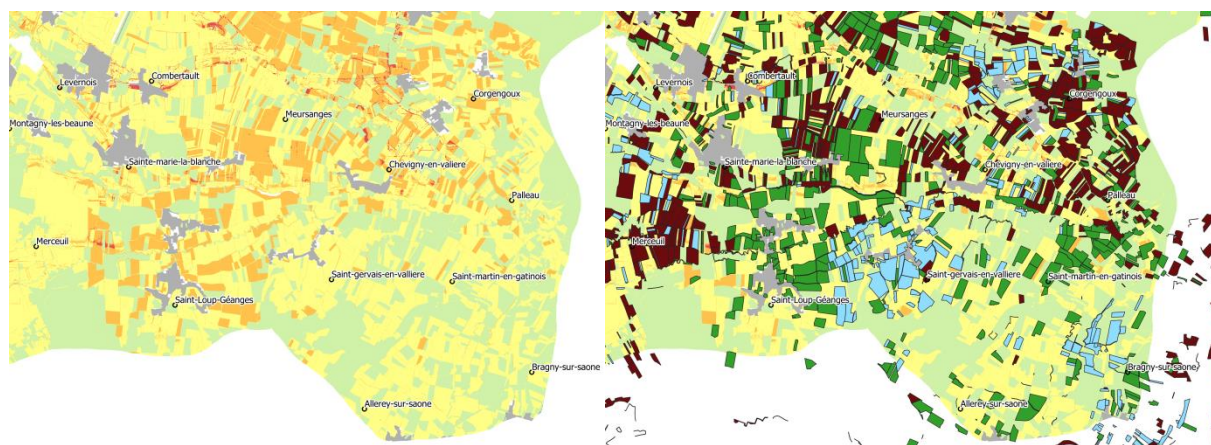
Globalement, on constate que la carte est majoritairement verte, à 52%, et jaune à 29%. On a donc 19% de la carte en aléa fort dont 7% en aléa très fort. Finalement, les zones d'aléa fort et très fort sont peu nombreuses et concentrées dans les mêmes zones décrites ci-dessous.

Tableau 8 : Proportion de chacune des classes d'aléa sur les cartes saisonnières et sur la carte annuelle

Classe (couleur)	printemps	été	automne	hiver	annuelle
1 (vert)	64	66	55	58	52
2 (jaune)	23	21	29	26	29
3 (orange)	7	7	11	10	12
4 (rouge)	6	6	5	6	7

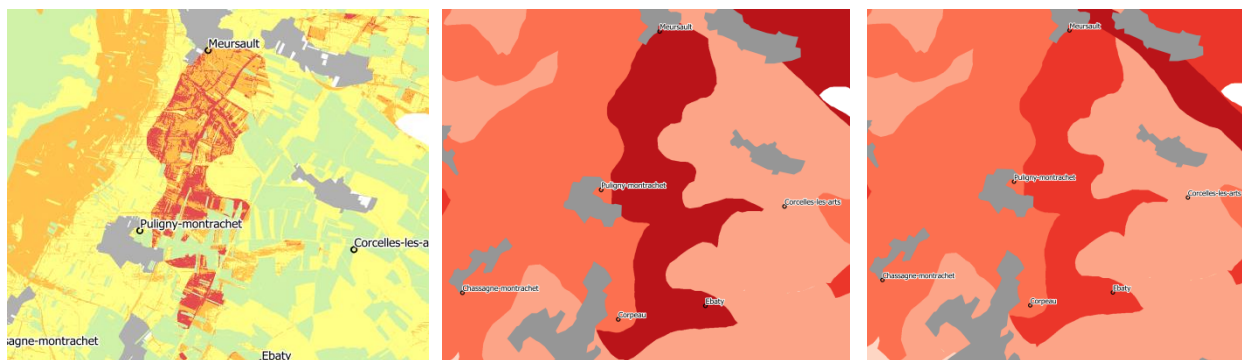
Sur la partie Est, dans la plaine, l'aléa est visible à l'échelle de la parcelle. On distingue des parcelles orange et jaunes qui diffèrent par leur type de culture et leur rotation sur les trois années d'étude. L'orange résulte essentiellement de la sensibilité du sol à l'automne à cause des cultures de blé tendre d'hiver et du colza (**Figure 13**). En effet, le blé tendre d'hiver (en vert foncé) et le colza (en bleu) se sème à l'automne, le sol est donc vulnérable aux orages à cette saison. Il y a également des vignes (marron) sensibles à l'érosion. Sur les côtes viticoles, les versants sont plutôt orange tandis que les bas de pentes sont jaunes. C'est le facteur pente qui a un rôle important sur cette zone déjà sensible du fait de sa culture très exposée à la pluie. En descendant vers le Nord de la carte, on remarque une zone rouge dans les communes de Meursault et Puligny-Montrachet (**Figure 14**). Les communes se situent dans un thalweg surplombé par des versants sensibles des deux côtés. Le versant Est semble davantage sensible que celui de l'Ouest sur les cartes par saisons. La battance (5 contre 3) et l'érodibilité (4 contre 3) sont plus forts sur ce versant.

Figure 13 : Zoom sur les parcelles à l'Est de la carte MESALES



En dessous se trouve une forme en fer à cheval d'agglomérats de pixels rouges qu'on distingue bien sur les cartes du printemps et de l'hiver et pour moitié en été (**Figure 12**). C'est un cumul de facteurs défavorables qui est à l'origine de la zone rouge ici puisque la battance et l'érodibilité sont de 3, l'aléa climatique est maximal en hiver et au printemps, le sol est occupé par des vignes tout le long du versant. Plus au Nord, vers Couches, l'érodibilité est de 4, 5 pour la battance, les pentes atteignent 15% et le rouge est positionné sur les parcelles cultivées par de la vigne. Sur le reste du Sud de la carte, l'aléa est homogène selon les saisons et globalement ce secteur ne semble pas problématique. On y trouve plutôt des prairies, des surfaces non exploitées, des forêts et quelques cultures de type soja, qui ne sont pas sensibles à l'érosion. En remontant sur la commune de Nolay, on observe une forte concentration de pixels orange qui ressortent principalement en automne. L'érodibilité et la battance sont de 4 sur des sols exploités pour leurs vignes. L'aléa climatique est maximal en automne, hiver et printemps. L'indice topographique est également important. Plus au Nord encore, en allant jusqu'à la commune de Marey-les-Fussey, on retrouve une zone rouge sur les quatre saisons. L'aléa climatique varie de 4 à 5 selon les saisons, l'érodibilité est de 4, 5 pour la battance et ce sont encore des vignes qui occupent majoritairement le territoire. Globalement, en regardant les cartes de battance et d'érodibilité, on remarque que les secteurs qui ressortent le plus et qui ont été décrits précédemment sont ceux pour lesquels la battance et l'érodibilité sont forts, en plus d'avoir un sol occupé par de la vigne.

Figure 14 : Zoom sur Puligny-Montrachet (à gauche), indices de battance (milieu) et d'érodibilité (à droite)



3.1.1.2 IRIP

La carte de production d'IRIP est présentée en **Annexe 5**. C'est une méthode qui a été conçue pour construire des axes d'écoulements privilégiés et des zones d'accumulation. La carte de production en tant que telle ne devrait pas être interprétée, car elle ne sert qu'à préparer les deux autres cartes. La carte produite est très pixelisée comme le montre la **Figure 15**. Des agglomérats de pixels orange forment de grands ensembles sur la partie Est de la carte. Rares sont les agglomérats de pixels rouges. En dehors de ces agglomérats concentrés, les pixels orange et rouges sont étalés sur l'ensemble de la carte et leur forme s'apparente à des chemins, tel un chevelu de cours d'eau. Le rouge et l'orange, c'est-à-dire l'aléa fort à très fort, concerne tout de même un 30% de la carte. 45% est en aléa moyen de couleur jaune. Les zones d'aléa faibles regroupent les endroits dominés par la prairie et les forêts.

On identifie de grandes ruptures qui s'apparentent visuellement à des failles entre les couleurs orange et jaune dans le Nord-Est de la carte et entre jaune et vert dans la partie Sud. Pourtant dans le paysage, ces ruptures n'existent pas. Elles sont dues aux données pédologiques au 1 000 000ème utilisées qui sont regroupées dans des UCS de grandes surfaces. Lorsque la battance et l'érodibilité du sol sont supérieurs strictement à 2 d'après la base de donnée ESDAC, leurs valeurs sont de 1, 0 sinon. C'est ce qui provoque cette scission.

La méthode IRIP permet d'identifier tout type de ruissellement, donc également le ruissellement urbain comparé aux autres méthodes. L'occupation du sol ne repose que sur le CLC et la distinction entre les zones urbaines, plans d'eau, forêts et cultures pour lesquels les valeurs 0 ou 1 ont été attribuées selon si l'occupation favorise ou défavorise la production de ruissellement. On observe effectivement que les zones urbaines sont systématiquement des zones orangées. On distingue une séparation entre l'Est et l'Ouest de la carte. Sur le côté Est, l'indice topographique est très hétérogène alors que dans la partie Ouest, on distingue presque des chenaux d'écoulement dont les valeurs sont égales à 1, 0 pour tout le reste. Les écoulements sont beaucoup plus diffus dans la plaine que dans le côté encaissé. Les pentes sont assez importantes à l'Ouest alors qu'elles sont presque toutes en dessous du seuil sur la partie Est. C'est ce facteur qui rend l'aspect vallonné dans la partie Ouest. IRIP utilise un indicateur de perméabilité en s'appuyant sur des données de pluies mais l'accès étant réservé à l'IRSTEA, il n'a pas été possible de mesurer le poids de ce facteur.

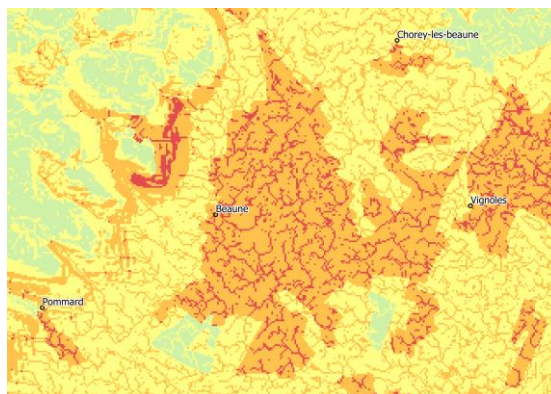


Figure 15 : Zoom sur les résultats pixélisés de la carte IRIP sur le secteur de Beaune

(zone à l'aval de ruissellement rural et génératrice de ruissellement urbain)

Tableau 9 : Proportion de chacune des classes d'aléa sur la carte d'aptitude à la production de ruissellement via la méthode IRIP

Classe (couleur)	Proportion (%)
1 (vert)	22
2 (jaune)	45
3 (orange)	28
4 (rouge)	5

3.1.1.3 CRUS

La carte CRUS est disponible en **Figure 10** avec la prise en compte de la battance comme facteur aggravant, en **Annexe 9** sans la prendre en compte. Elle est très foncée par rapport aux autres cartes. 20% de la carte est en aléa très fort et 18% en aléa fort. Il y a donc 38% de la carte en zone d'aléa fort au minimum. Il y a peu d'aléa très fort, fort et moyen dans la plaine à l'Est de la carte. Les zones rouges sont essentiellement réservées aux zones encaissées et d'ailleurs on distingue assez bien les versants dans la partie Ouest (**Figure 16**). Le fait d'avoir intégré la battance comme facteur aggravant n'a eu d'influence que sur 5% du territoire qui est passé en aléa fort. Ces changements ont globalement opéré dans la plaine et à proximité de la commune de Nuits-Saint-Georges.

Figure 17 : Zoom sur les zones rouges à l'est de la carte CRUS à Corgengoux

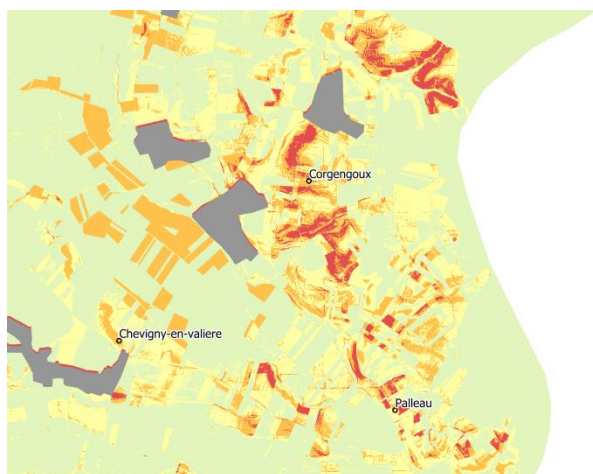
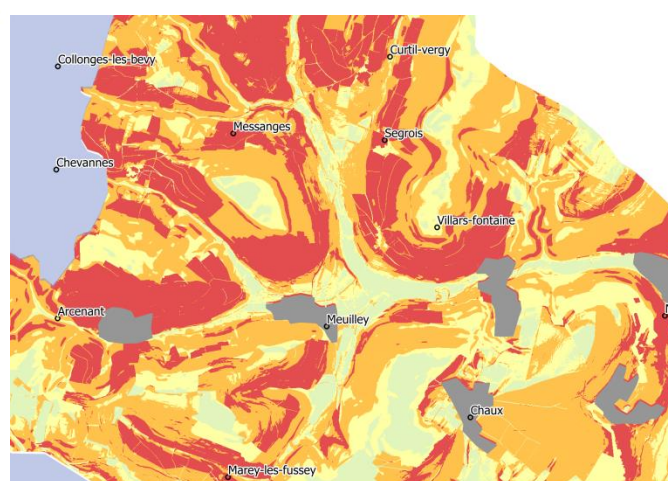


Figure 16 : Zoom sur les zones encaissées à l'Ouest de la carte CRUS



Dans la plaine, les rares parcelles de couleur orange sont des parcelles de vignes situées dans des zones où la perméabilité est au moins de 50 car le sol est limoneux. La battance est également forte et atteint son maximum par endroit. Les zones rouges sont les zones de plus fortes pentes dans cette plaine, située du côté de Corgengoux (**Figure 17**). La côte viticole marque la rupture entre les deux unités. La vigne étant la culture majoritaire à partir de cet endroit en remontant vers l'Ouest de la carte, l'occupation du sol est favorable au ruissellement et c'est la valeur de la pente qui attribue une couleur plutôt rouge, orange ou jaune selon les endroits. Les zones d'aléa faible sont les zones de forêts et de prairies. Les bas de versant et les thalwegs ressortent en vert dans le relief encaissé de l'Ouest. En bas de la carte vers la commune d'Euisses, on distingue une grande zone majoritairement rouge. A cet endroit, la perméabilité est de 100 car le sol contient de l'argile à 60%. La battance est de 1. Le sol est rarement occupé par des cultures mais quand il l'est, c'est du maïs, une culture ouverte, sensible au ruissellement en cas de formation d'une croûte de battance.

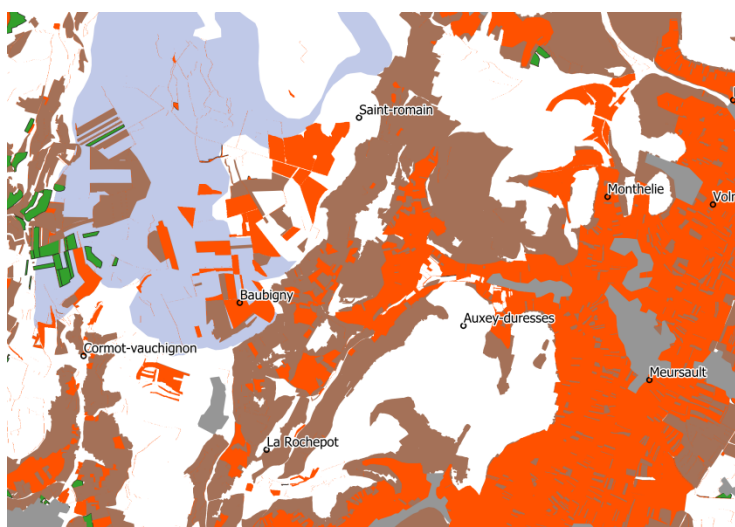
Tableau 10 : Proportion de chacune des classes d'aléa sur la carte d'aptitude à la production de ruissellement via la méthode CRUS

Classe (couleur)	Sans battance (%)	Avec battance (%)
1 (vert)	38	33
2 (jaune)	19	19
3 (orange)	15	18
4 (rouge)	18	20

3.1.1.4 Comparaison des résultats

Le croisement des résultats des trois méthodes avec des classes homogènes permet d'observer leurs similarités et divergences. Les statistiques issues de ce croisement sont disponibles en **Annexe 12**. Pour seulement 12% de la surface de la carte, les trois méthodes attribuent la même classe à l'aléa identifié sur un secteur et pour 4%, c'est l'aléa faible qui est commun. En observant les valeurs pour lesquelles les trois classes d'aléas sont différentes pour les trois méthodes, on obtient que sur 26% de la surface totale de la carte, les trois méthodes sont en désaccords sur l'indice de sensibilité à attribuer. Si on s'attarde sur les méthodes convergentes, c'est-à-dire en prêtant attention aux valeurs qui sont 2 à 2 correspondantes, on observe que les méthodes CRUS et IRIP attribuent le même indice pour 23% du territoire, IRIP et MESALES pour 35% et enfin CRUS et MESALES pour 41% du territoire. Ce sont donc les méthodes CRUS et MESALES qui se rapprochent le plus, le pourcentage de concordance n'est toutefois pas très bon pour autant. Sur ces deux cartes, la côte viticole ressort clairement comme un élément clef de la lecture de la carte, rouge et orange chez CRUS, orange et jaune chez MESALES, alors que sur IRIP elle est pratiquement absente et ne ressort pas comparé aux grands ensembles orange sur la partie Est du bassin versant. En faisant apparaître la couleur orange de la carte MESALES en rouge, on retrouve l'allure des zones orange et rouges de la carte CRUS. La carte devient plus foncée et les mêmes formes se dessinent, sauf sur certains secteurs. En bas à droite de la carte par exemple, une zone ressort en aléa très fort sur la carte CRUS mais cette zone est plutôt jaune avec quelques parcelles rouges sur MESALES. Cette différence est due à l'intégration du paramètre de perméabilité dans CRUS, très importante dans ce secteur, qui est absente dans MESALES. Les autres secteurs sur lesquels des différences notables sont remarquées sont Messages, Bouilland et Savigny-lès-Beaune, Nantoux et Meloisey, Cormot-Vauchignon. Ce sont des zones qui ressortent sur la carte CRUS tandis qu'elles sont en jaune sur la carte MESALES. Leur différence est due à l'utilisation de bases de données d'occupation du sol différentes. MESALES utilise une combinaison du RPG et du CLC et sur les zones citées précédemment, les vignes (en orange) sont peu étendues comme le montre la **Figure 18**. Une plus grande surface de vigne est recensée dans la base INAO (marron). On ajoute à cela que sur ces secteurs, la battance et l'érodibilité n'excèdent pas 2, ce qui fait donc deux paramètres défavorables pour définir la sensibilité du territoire à l'érosion.

Figure 18 : Zoom sur le champ vigne de l'INAO comparé à la combinaison RPG et CLC



3.1.2 Comparaison avec la base de données

Avec les données de l'étude historique, de l'étude du Grand Chalon et les observations terrain, une base de données a été construite mais les axes de ruissellement identifiés ne sont pas classés en fonction de leur intensité. Ainsi, il est possible d'avoir des axes qui se situent dans les zones jaunes des cartes sans pour autant pouvoir dire si les méthodes détectent ce phénomène de manière suffisante ou non. Une classification des intensités des phénomènes aurait pu être conduite en récupérant des photos et articles de presse sur l'événement. Ceux-ci permettraient d'identifier les communes les plus sévèrement touchées pendant les événements de 2014 et 2016. De plus, les axes ont été identifiés lors d'événements de pluie intense localisés. C'est donc la localisation de l'événement qui détermine les axes de ruissellement. Un tout autre événement aurait activé d'autres zones de production. De ce fait, les zones de production potentielle qui ne sont pas identifiées dans cette base de données, ne sont pas erronées pour autant. Enfin, la géolocalisation des axes est très approximative. Les axes d'écoulements identifiés et la sortie terrain mettent en valeur les parcelles qui ont été problématiques et le sens d'écoulement. C'est une tendance qui a été identifiée et non pas un axe précis. La manière idéale de comparer les résultats avec ces données est encore en cours de réflexion mais il semble dans tous les cas compliqué d'émettre une évaluation pointue à partir de ces axes. Toutefois, il est intéressant de regarder une à une les communes sur lesquels de tels axes ont été recensés pour voir si on les retrouve dans les résultats. Des axes ont été répertoriés sur 15 communes. Ils sont représentés en traits rouges pointillés. Seulement 5 exemples sont présentés dans cette étude et ils reprennent les différents rencontrés.

A Saint-Sernin-du-Plain en **Figure 19**, lors d'événements pluvieux intenses, les ruissellements viticoles sont collectés via un réseau de fossés. En regardant les résultats des trois méthodes, on retrouve les zones de ruissellement réelles. Les zones d'aléa ont toutes des formes similaires mais le degré de gravité associé est différent. L'aléa est fort sur MESALES et IRIP tandis qu'il est très fort sur CRUS. Les trois résultats représentent bien la réalité et sont globalement concordants.

MESALES

IRIP

CRUS

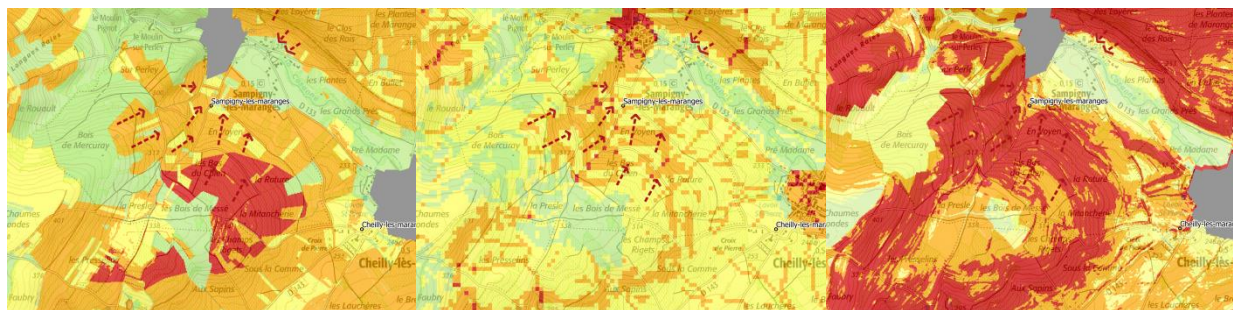


Figure 19 : Comparaison des trois méthodes à Saigny-lès-Maranges



Figure 20 : Comparaison des trois méthodes à Beaune et Pommard

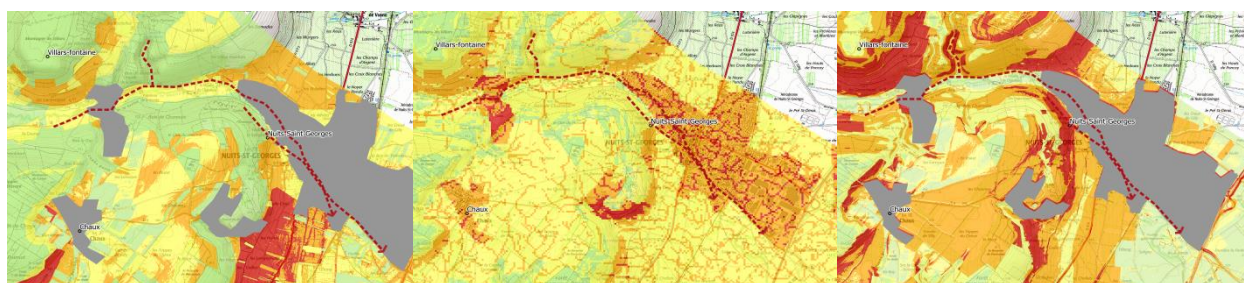


Figure 21 : Comparaison des trois méthodes à Nuits-Saint-Georges

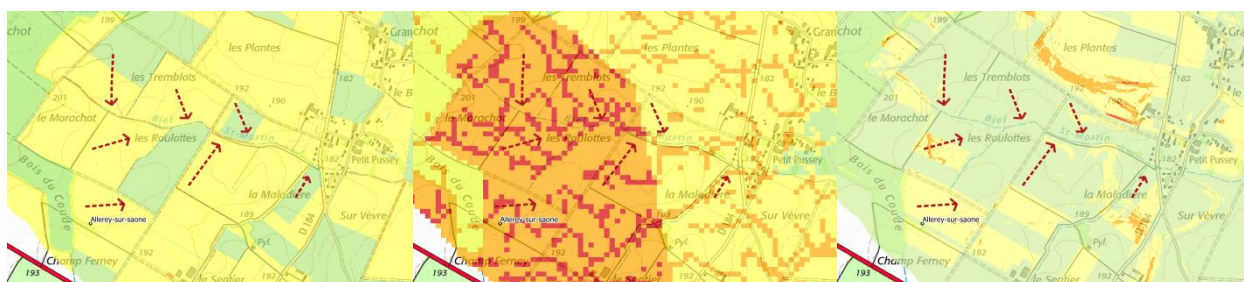


Figure 22 : Comparaison des trois méthodes à Allerey-sur-Saône

Sur les 15 communes, CRUS détecte bien les axes d'écoulement réels dans 12 cas, dans des zones d'aléa fort ou très fort. Dans les 3 autres cas, les axes se situent dans des zones vertes. Dans la carte CRUS, on retrouve également toutes les zones identifiées sur le terrain.

La **Figure 20** montre les communes de Pommard et Beaune. La description des phénomènes disponible dans l'étude historique rapporte que la problématique est locale mais que des écoulements viennent également de l'amont. Les cartes issues des trois méthodes détectent une zone d'aléa. A Beaune et Pommard, MESALES qualifie l'aléa érosion local de fort. En remontant vers l'amont, il est possible de visualiser quelques zones en aléa moyen mais elles sont très localisées et discontinues. Sur la carte IRIP, on retrouve la même chose concernant l'aléa ruissellement local. Pour ce qui est de l'amont, la méthode détecte une zone d'aléa très fort qui alimenterait les écoulements vers Pommard. Dans CRUS les deux zones de production d'après les événements historiques ressortent en aléa ruissellement très fort.

A Nuits-Saint-Georges en **Figure 21**, l'aléa détecté n'est pas le même pour les trois méthodes. MESALES détecte un problème d'érosion local sur les quelques vignobles à l'entrée du village alors que IRIP détecte les deux, l'aléa est qualifié de moyen au niveau local, fort à l'amont. Pour CRUS, l'aléa est fort au niveau local, très fort à l'amont. Les événements ayant eu lieu semblaient provenir de l'amont ce qui n'empêche pas que des trombes d'eau sur les parcelles locales puissent générer du ruissellement. Le niveau de gravité de l'aléa est différent selon les méthodes mais les trois détectent bien des zones sensibles en cohérence avec les événements historiques.

Dans la commune d'Allerey-sur-Saône, les eaux de ruissellement s'écoulent des terres agricoles en amont des habitations Route de Saint Martin dans le hameau du Petit Pussey jusque dans un fossé comme le montre la **Figure 22**. Dans CRUS, l'aléa est faible, la méthode ne détecte pas de problème particulier. Les parcelles à l'origine de ruissellement génèrent un aléa moyen d'après MESALES. IRIP détecte une zone d'aléa fort dans laquelle des pixels rouges sont présents. En réalité, le sol est cultivé par du blé ou du maïs et les pentes ne sont pas fortes, c'est pour ça que l'aléa ne ressort pas dans MESALES et CRUS

3.1.3 Critères de la DREAL

Tableau 11 : Notes selon les critères de la DREAL sur l'utilisation des méthodes

Critère	M	I	C	Commentaire
Facilité de la prise en main	1	0	2	MESALES et CRUS illustrent leur démarche dans un arbre ou un tableau donc leur raisonnement est transparent. MESALES est bien documenté sur le raisonnement mais pas les choix des experts. IRIP l'est également mais les seuils utilisés ne sont pas disponibles car ils sont choisis par l'algorithme. L'algorithme est une boîte noire que seules les personnes qui l'ont élaboré peuvent comprendre. Il aboutit aux cartes sans fournir les seuils choisis.
Application simple et rapide	1	2	1	A partir du vecteur du bassin versant, IRIP fournit les résultats en moins d'une journée. MESALES requièrent deux semaines de travail, CRUS une, pour collecter, traiter les données, les répartir en classes et dépasser les difficultés.

Logiciels gratuits et faciles à utiliser	1	0	1	Les trois applications n'ont pas généré de coût. L'utilisation de QGIS pour MESALES et CRUS répond au critère puisqu'il est libre et utilisé par les services déconcentrés de l'Etat. Toutefois, l'utilisation requiert une bonne prise en main des outils et fonctions. De nombreux problèmes surviennent avec QGIS*, à l'origine de beaucoup de temps perdu. IRIP est codé en python et le code est possédé par l'IRSTEA. Il n'y a aucune manipulation à faire. A terme, l'IRSTEA proposera un plugin capable d'identifier l'aléa ruissellement à partir d'un secteur.
Données gratuites et facilement accessibles	1	2	2	Les données de pluie de MESALES ont été payantes. Le reste a été facilement collecté. IRIP utilise les bases de données nationales et des conventions sont signées avec leurs propriétaires pour les utiliser. Aucun coût supplémentaire n'a été généré par la DREAL. Pour CRUS, les données sont toutes disponibles gratuitement en ligne ou après passage de convention avec la Chambre d'agriculture.
Reproductibilité	2	2	2	IRIP est tout à fait reproductible mais ce n'est pas un agent de la DREAL qui pourra le faire directement, il se tournera vers l'IRSTEA. MESALES et CRUS sont reproductible, à condition d'avoir les capacités à dépasser les difficultés rencontrées sur QGIS*.
Reproductibilité à plus grande échelle	1	2	1	IRIP a été évalué sur des bassins versants plus grands. Le temps de calcul est simplement prolongé. Pour MESALES et CRUS, c'est l'utilisation de QGIS qui rend la reproduction à grande échelle quasi-impossible, à moins d'avoir des ordinateurs très performants et aucune difficulté avec QGIS.
Expertise	2	0	0	MESALES se reproduit sans expert. IRIP ne se reproduit qu'avec l'IRSTEA pour l'instant. CRUS requiert une expertise sur les choix des paramètres, classes et couleurs car la méthode est encore en cours de calage, ce qui ne devrait à terme plus être le cas.
Flexibilité	0	1	2	Modifier les classes dans MESALES se révèle complexe car l'arbre de décision a beaucoup de ramifications et les classes finales ne sont dévoilées qu'une fois le croisement avec l'aléa climatique fait. IRIP repose sur un code python qu'il faut maîtriser pour le modifier. Toutefois, les améliorations sont permanentes et il a été possible de modifier la carte de production. CRUS est modifiable par ses paramètres, classes et couleurs. Son raisonnement est simple sous forme de matrice.

Visuels du résultat	2	0	2	IRIP produit des cartes très pixélisées ce qui rend difficile sa compréhension. Mais, la méthode a été développée dans une logique d'urbanisme et pas d'identification de la production. Les cartes intermédiaires ne sont pas exploitables, c'est le croisement avec les dommages qui l'est. CRUS et MESALES délivrent des cartes avec des zones sur lesquelles l'aléa est plus ou moins fort. La précision descend jusqu'à l'échelle de la parcelle.
Terrain	0	0	2	MESALES et IRIP ne requièrent pas de sortie terrain. CRUS demande d'apprécier le territoire pour établir des classes sur les paramètres. A noter qu'il est préférable de faire du terrain pour apprécier les phénomènes.
Note sur 20	11	9	15	CRUS est la méthode la plus facile d'utilisation

**les problèmes rencontrés avec QGIS ont été récurrents ce qui a généré une perte de temps considérable et qui justifie en grande partie que le travail rendu à ce jour n'a pas été plus approfondi. En effet, les ordinateurs de la DREAL ne sont pas suffisamment performants pour cette utilisation, à l'origine de nombreux "crash" de QGIS. Les versions du Ministère contiennent beaucoup de fonctions sous GRASS qui sont inutilisables du fait de problèmes liés à l'extension. Par exemple, l'utilisation des fonctions suivantes n'a pas été possible à la DREAL, elles ont été sous traitées par le Syndicat mixte du bassin versant de l'Armançon et le CEREMA : r.watershed, r.mapcalculator, r.reclass. La performance de QGIS dépend également de la mémoire de l'ordinateur. La mémoire du disque dur utilisée par QGIS doit être à moitié vide pour que les calculs se passent bien. L'ordinateur doit être éteint et rallumé régulièrement entre les manipulations pour vider la mémoire cache, ce qui permet parfois simplement de résoudre le problème. Une autre difficulté rencontrée est le fait de comprendre les problèmes rencontrés par QGIS parce que les messages d'erreur ne sont pas explicites. Il était souvent difficile d'identifier si l'ordinateur était la source du problème, ou si les couches d'entrée de la fonction n'étaient pas adaptées, ou si la fonction était mal utilisée. De plus, beaucoup de problèmes ne génèrent aucun message d'erreur mais simplement une couche vide, le plantage de QGIS, voire le redémarrage de l'ordinateur. Et enfin, parfois QGIS réalise des calculs mais n'est pas capable de les reproduire, sans qu'on puisse savoir pourquoi.*

3.2 Evaluation des cartes d'aléa

3.2.1 Evaluation quantitative de la méthode IRIP seule et combinée à la carte CRUS

Les cartes d'accumulation et de transfert aux seuils 4 et 5 ont été combinées et comparées aux points d'impacts de la base de données, avec un tampon de 50 mètres. Il y a en tout 186 dommages géo-référencés sur 15 communes. La méthode IRIP seule permet de détecter 89% d'entre eux. La méthode IRIP combinée avec la carte de production issue de l'amélioration de CRUS permet d'en détecter 83%. L'IRSTEA a fixé comme seuil 80%, si ce seuil est dépassé, alors la méthode est jugée comme bonne. Les deux cartes d'aléa remplissent ce critère. La méthode IRIP seule donne de meilleurs résultats. On peut noter qu'en comparant les tampons détectés par les deux méthodes, utiliser la carte de production issue de CRUS permet de détecter 11 impacts qu'IRIP seule n'a pas détectée. En combinant les deux, on détecte ainsi plus de 95% des dommages. Dans la méthode CRUS se trouvent peut-être des pistes d'amélioration pour la méthode IRIP. On peut ajouter qu'en descendant le seuil des zones d'accumulation conservées pour le croisement avec les impacts à 3 et en les additionnant aux zones de transfert d'indices 4 et 5, tous les dommages sont détectés.

3.2.2 Carte de production CRUS et transfert via les aires drainées

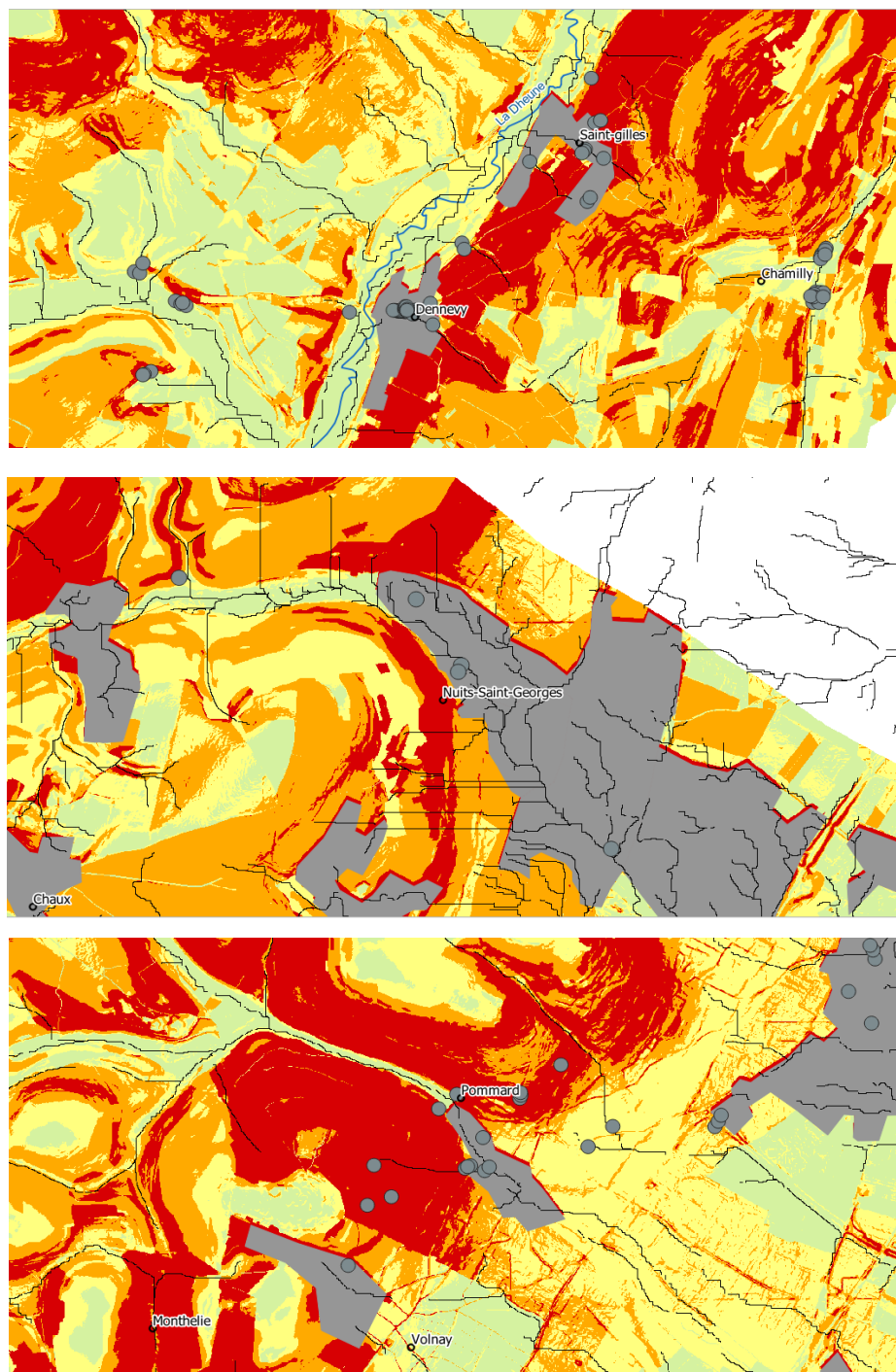
Pour chaque zone où des dommages ont été géo-référencés, une étude sera faite pour observer s'il est possible d'identifier les zones de production responsables des dommages. L'exercice est qualitatif et non quantitatif. Les observations conduites ici sont donc subjectives.

Globalement, il est assez intuitif de faire le lien entre les dommages et les zones de production via les aires drainées qui font la connexion. Sur les communes de Nuits-Saint-Georges, Beaune, Pommard et les communes les plus au Sud, la genèse des phénomènes est bien illustrée. Certains dommages ne sont cependant pas directement situés dans l'axe des aires drainées, le lien n'est pas évident comme c'est le cas à Beaune, à droite de la troisième image de la **Figure 23**. C'est notamment lié au fait que les dommages recensés n'ont pas été inondés seulement à cause du ruissellement issu des parcelles viticoles mais également à cause du refoulement du réseau ou encore d'embâcles sur les avaloirs. Comme on se situe en zone urbaine, les dommages ont peut-être été causés par ces phénomènes. D'autres impacts sont directement situés dans les zones de production.

Dans la plaine, il est difficile de faire la connexion entre des zones de production et les dommages via les aires drainées. Les zones de production mises en valeur sont de couleur verte. Il est possible que l'intensité de la pluie ait été telle que le sol ait été saturé et que du ruissellement se produise quand bien même CRUS n'identifie pas ces secteurs comme soumis à un aléa fort. Comme les plupart des eaux issues des coteaux transitent via des ruisseaux qui traversent la plaine avant de se jeter dans la Dheune, ces ruisseaux peuvent être amenés à déborder si le ruissellement urbain vient s'ajouter au débit déjà important des ruisseaux et ainsi générer des débordements et des dommages. Les problématiques sont certainement différentes, ce qui explique que CRUS n'a pas mis ces zones en évidence.

La minorité des dommages pour lesquels les connexions avec la production étaient complexes mérite d'être regardée attentivement pour voir si le ruissellement rural est bien à l'origine des inondations. En effet, dans l'étude du Grand-Chalon, les dommages causés par quelques débordements de cours d'eau et insuffisances d'ouvrage ont été recensés. Pour le savoir, une visite sur le terrain permettrait d'en apprendre davantage sur les phénomènes.

Figure 23 : Etude des impacts avec la carte de production issue de CRUS à Dennevay (en haut), Nuits-Saint-Georges (milieu) et Pommard (en bas)



Les résultats des trois méthodes sont assez différents sur leur rendu visuel. Pour MESALES (pluie) et IRIP (pédologie), l'utilisation de données avec de faibles résolutions fait apparaître des mailles dans les cartes. Chez CRUS, méthode sèche, la résolution des données pédologiques semble homogène aux autres données utilisées. Les résultats sont pixélisés dans la méthode IRIP ce qui ne permet pas d'aboutir à des zonages comme les cartes issues de MESALES et CRUS, facilitant leur exploitation et utilisation par la suite.

Dans MESALES, la pédologie occupe une grande part de responsabilité dans les résultats puisque les zones qui ressortent avec un aléa fort sont celles pour lesquelles la battance et l'érodibilité sont fortes. Dans CRUS, c'est la pente et la perméabilité qui ont un rôle important et qui conditionnent la quantité d'aléa fort dans le résultat final, résultat d'un choix dicté par le terrain. IRIP ayant été appliqué par l'IRSTEA, il est plus compliqué d'exploiter les résultats, mais par ses hypothèses de travail, on comprend que tous les paramètres ont une influence homogène sur les résultats.

En utilisant une qualification d'aléa en 4 classes pour les trois méthodes, il est possible d'observer que les trois méthodes attribuent des classes communes à un aléa pour seulement 12% de la surface du bassin versant. Dans 26% des cas, les trois méthodes accordent une classe d'aléa différente. Les méthodes MESALES et CRUS sont les méthodes qui se ressemblent le plus. La comparaison des résultats avec les parcelles identifiées dans les études historiques se révèle complexe en l'absence d'information sur l'intensité pour distinguer les phénomènes. Les trois méthodes sont généralement en désaccord sur le degré de gravité à attribuer à l'aléa mais détectent les zones de production avérées. On peut se demander le degré d'importance à accorder au fait d'avoir un aléa fort ou très fort étant donné que l'intensité du phénomène dépendra de celle de la pluie. CRUS semble avoir des difficultés pour identifier l'aléa dans les zones de plaine, sauf si le dommage est causé par des débordements, ce que CRUS ne cherche pas à mettre en évidence.

La méthode IRIP permet de détecter 166 dommages sur 186 soit 89%. En introduisant la méthode CRUS comme carte de production, 83% des dommages sont détectés dont 11 qui ne sont pas décelés par IRIP. L'étude des liens entre les zones de production de CRUS et les villages via les aires drainées permet de comprendre les phénomènes à l'origine des dommages dans la majeure partie des cas. Pour les autres, une étude supplémentaire doit être conduite pour expliquer les raisons qui expliquent que CRUS ne les détecte pas.

L'utilisation de la méthode CRUS répond à la majorité du cahier des charges de la DREAL quant à sa prise en main, sa flexibilité et sa mise en œuvre. IRIP est complexe à cause de son utilisation interne à l'IRSTEA qui ne permet pas de comprendre le déroulement de l'algorithme, de le modifier et d'extraire des informations complémentaires. MESALES est perfectible sur l'étude des cultures pour réduire le temps de traitement et ne permet pas de modifier les paramètres en entrée ou la qualification de l'aléa final. CRUS et MESALES sont des méthodes qui reposent sur une bonne maîtrise de l'outil QGIS et du matériel performant mais sont reproductibles par un agent des services déconcentrés de l'Etat.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cette étude, la DREAL souhaite mettre en valeur une méthode simple de détermination de l'aléa ruissellement sur le bassin versant de la Dheune qu'elle puisse réutiliser pour cartographier l'aléa à l'échelle régionale. Le contexte viticole de ce bassin offre un cadre particulièrement favorable au ruissellement. Le nombre important d'acteurs en jeu (DDT, Chambre d'agriculture, INAO, CEREMA, IRSTEA, SMBVA, INRA, DGPR, CCR...) montre que le ruissellement est une problématique transversale et rend à la fois l'étude riche et compliquée dans sa mise en œuvre. Trois méthodes ont été testées, MESALES proposée par l'INRA dans le cadre d'une étude de sensibilité nationale à l'érosion, IRIP développée et appliquée par l'IRSTEA qui cherche à aboutir à méthode à haut rendement disponible au grand public et CRUS, une méthode proposée par le CEREMA en cours de confection et d'évaluation pour produire une méthode simple d'identification de l'aléa.

La méthode IRIP a été conçue pour générer les zones de transfert et d'accumulation les plus importantes afin de les croiser avec les enjeux. Elle permet de détecter 89% des dommages sur le secteur test. Toutefois, la carte de production qui en est issue est pixélisée, ce qui rend sa compréhension difficile et ne permet pas de générer un zonage ni d'identifier la source du ruissellement à l'origine des dommages. La côte viticole ne ressort de plus pas comme un secteur sensible. Le cœur du raisonnement est très simple puisqu'il repose sur l'utilisation de seuils mais IRIP fonctionne via un algorithme sur lequel il n'est possible d'avoir la main pour modifier les paramètres d'entrée et comprendre les fonctions de l'algorithme qu'en travaillant avec l'IRSTEA. L'utilisation de seuils rend également leur choix déterminant. L'IRSTEA souhaite faire d'IRIP une méthode à grand rendement accessible au grand public. Le fonctionnement de l'algorithme et la manière d'exploiter les résultats devraient gagner en transparence afin que les utilisateurs prennent totalement en main l'outil. Dans cette étude, il faut utiliser une autre méthode capable d'identifier les zones de production et d'établir une connexion avec les enjeux à l'aval avec un format plus souple que celui de seuils.

Pour qualifier la sensibilité d'un territoire à l'érosion, L'INRA a développé la méthode MESALES. L'érosion étant majoritairement causée par le ruissellement, cette méthode semble être une bonne approche pour déterminer les zones de production de ruissellement. Au lieu d'utiliser des seuils, elle découpe chaque paramètre en classes. Le rendu est appréciable puisqu'il distingue des zones localisées en aléa très fort sur lesquelles des démarches de gestion de l'érosion devraient être mises en place. La côte viticole ressort quant à elle en aléa fort. Les étapes sont simples à comprendre mais requièrent un traitement SIG fastidieux. Comme c'est une méthode qui a été utilisée à l'échelle nationale, les classes qui ont été sélectionnées ne sont pas forcément adaptées pour faire ressortir les zones les plus sensibles à l'érosion sur un petit secteur. Les choix ont été faits par des experts et leurs explications ne sont pas disponibles. Par rapport à IRIP ou CRUS, la distinction entre les types de culture et leur rotation est approfondie. Comme les cultures sont majoritairement des vignes dans ce secteur, on peut s'interroger sur sa pertinence. MESALES utilise également des données payantes. Cette méthode utilise la battance et l'érodibilité pour qualifier l'érodibilité du sol. Sur le secteur test, c'est plutôt la perméabilité qui semble être déterminante mais la méthode ne permet pas de modifier les paramètres d'entrée, les classes ou la catégorie d'aléa.

Les zones d'aléa fort et très fort ressemblent à celles de la méthode CRUS pour lesquelles l'évaluation montre une bonne cohérence avec les événements historiques. La méthode MESALES n'a pas été évaluée, excepté en la comparant aux autres résultats. Comme cette carte apporte une information supplémentaire, il semblerait intéressant de poursuivre son évaluation en s'inspirant de ce qui a été fait sur d'autres territoires et de se rendre sur les secteurs d'aléa très fort pour échanger avec les acteurs sur la thématique de l'érosion et non plus du ruissellement. Car bien que ces deux phénomènes soient liés, l'érosion pose des problèmes qui lui sont propres, comme le colmatage des cours d'eau par exemple.

Avec le CEREMA, la DREAL a travaillé sur une méthode d'identification de zones de production de ruissellement potentielles au format souple et pédagogique pour définir les critères conduisant à la définition d'un aléa faible à très fort. Ce travail se situe dans la continuité de l'amélioration de la méthode CRUS par le CEREMA qui se tourne finalement vers l'utilisation de classes. Les paramètres et les classes sont, pour le moment, déterminés sur le terrain et peuvent être modifiés selon le secteur. Pour comparer ces zones potentielles avec les zones réelles, il faudrait disposer d'une base de données dans laquelle les parcelles à l'origine de ruissellement lors des pluies intenses seraient recensées. De telles informations n'existent pas sur ce bassin mais il a été possible de collecter ces informations sur quelques communes grâce à d'autres études. A part dans les zones de plaine, on retrouve les parcelles qui ont généré du ruissellement dans le passé. Les zones de transfert et d'accumulation générées à partir de l'algorithme d'IRIP avec la carte de production de CRUS permettent d'identifier 83% des dommages dont 11 non détectés par IRIP seule. Enfin, en connectant ces zones à des aires drainées de plus de 3 ha, il est possible d'expliquer la plupart des dommages. Toutefois, le rendu est foncé puisque 38% de la carte est en aléa fort à très fort. En effet, les classes ont été déterminées telle que la pente ait un rôle important ainsi que les cultures ouvertes. La perméabilité est le dernier facteur prédominant. La battance est introduite comme facteur aggravant mais comme elle n'influence que 5% du territoire, sa prise en compte est à discuter dans le cas présent. Le rendu très foncé complexifie la traduction de la carte en stratégie de gestion. Une étude de sensibilité aurait pu être conduite sur les classes et couleurs pour atténuer le pourcentage d'aléa fort à très fort. Une étude de sensibilité sur les paramètres d'entrée aurait également pu être conduite pour observer leur poids sur les résultats.

La méthode CRUS semble finalement être une alternative intéressante pour qualifier la sensibilité d'un territoire à la production de ruissellement mais elle n'a malheureusement pas pu être évaluée suffisamment. L'établissement d'une base de données dédiée au ruissellement paraît essentiel pour aller plus loin dans la démarche. En tant que carte de production seule, il sera difficile dans tous les cas d'évaluer quantitativement la méthode. La quantité ne peut se mesurer que par rapport aux pourcentages de dommages géo-référencés détectés. Un travail sur les zones de transfert et d'accumulation à travers une étude de la topographie devrait permettre de connecter les zones de production avec les enjeux. Ainsi les capacités de la méthode seront évaluées pour détecter les dommages du passé, donc prédire ceux de l'avenir et permettre d'identifier les endroits stratégiques pour gérer l'aléa au contact de la ville. Mais, l'aléa se gère également à la source. Pour cela, les zones de production identifiées dans ce travail qui seront affinées par la suite doivent établir une stratégie. Cette gestion passe par les bonnes pratiques culturelles qu'il s'agit de transmettre aux viticulteurs et aux maires afin de mettre en place une gestion cohérente à l'échelle du bassin versant de la Dheune. Une charte à destination des communes viticoles pourrait être le bon outil.

4.1 Etablir une base de données spécifique au ruissellement

La DREAL et l'EPTB Saône-Doubs souhaitent collaborer dans le but de mettre en place une base de données dédiée aux dommages causés par du ruissellement sur le secteur couvert par l'EPTB. Etant donné que les informations contenues dans les dossiers CATNAT ne permettent pas d'identifier avec certitudes les événements de ruissellement et que les événements de ruissellement sont peu nombreux et anciens, la priorité sera donnée à la collecte d'information sur les événements à venir. On cherche à rédiger un protocole qui permettra de collecter les données nécessaires à l'évaluation de cartes d'aléa et à une meilleure connaissance du phénomène. Pour cela, il est impératif de déterminer les secteurs sur lesquels l'EPTB peut intervenir selon les contrats de rivière. Il faut chercher un moyen d'obtenir une alerte lorsqu'un événement de pluie intense est prévu. L'alerte via le dispositif APIC a été opérationnelle sur la durée du travail d'étude et doit être pérennisé par un abonnement de l'EPTB. Il faut identifier les personnes mobilisables (EPTB, DREAL, DDT). Le délai maximal d'intervention après l'événement doit être fixé, ainsi que le temps de l'intervention elle-même. Les agents mobilisés devront collecter les informations suivantes : identifier les axes de ruissellement de leur formation jusqu'à leur contact avec un cours d'eau classé, mesurer des laisses, cartographier les zones inondées et noter les enjeux ponctuels impactés. Ces données devront être étoffées avec des photos et des témoignages. A la suite de cette sortie, une synthèse de l'événement sera mise en ligne sur ORISK, complétée par les données de Météo France. Une base de données spécifique au phénomène de ruissellement et coulées de boue sera mise en place et complétée au fur et à mesure des événements.

La DGPR effectue en ce moment un travail sur une base de données nationale relative aux événements de ruissellement et coulées de boue. Elle travaille avec la Mission risques naturels (MRN) pour établir une base de données des événements de ruissellement et coulées de boue nationale à partir des dossiers CATNAT. La piste des assurances a été exploitée pour compenser les difficultés rencontrées avec l'étude des dossiers CATNAT. La CCR collecte des données sur les catastrophes naturelles majeures et notamment sur les dommages et leur coût. Ces informations sont accessibles sur leur base de données Erisk qui contient des fiches par arrêtés de catastrophe naturelle et par événements. La CCR possède également des modèles qui leur permettent de faire de la prospection, notamment sur le ruissellement mais dont les modèles restent actuellement confidentiels.

4.2 Identifier les axes de transfert et les zones d'accumulation

Le ruissellement est un phénomène généré à la suite d'un événement de pluie très intense, qui peut se produire à n'importe quel endroit. Bien entendu, les reliefs influencent la localisation, mais il faut retenir que la pluie intense peut s'abattre à n'importe quel endroit. Son intensité est tellement forte qu'elle sature les sols. La sensibilité du sol joue un rôle dans le temps nécessaire à la mise en saturation du sol, mais une fois cette capacité dépassée, tous les sols génèrent du ruissellement. Par contre, ces écoulements ne vont pas de propager de manière anarchique à travers le paysage mais vont se concentrer dans les mêmes zones, les thalwegs, pour former du ruissellement concentré. Ce ruissellement circule dans les points bas, s'accumule dans les cuvettes et pose problème lorsqu'il rencontre des enjeux. Finalement, pour gérer le risque, une étude fine de la topographie semble pertinente et sera traitée cet été 2019.

Un seuil d'observation des aires drainées a été proposé dans ce travail dans le but d'obtenir une densité de pixels exploitable et homogène. Dans les faits, pour avoir un résultat homogène sur l'ensemble du bassin versant, un seuil différencié selon les sous-bassins versant devrait être appliqué. Ensuite, le résultat visuel doit être travaillé sous SIG pour obtenir un chevelu de cours d'eau et non des lignes droites. Les autres paramètres de la topographie qui doivent être pris en compte pour dessiner des zones de transfert et d'accumulation cohérentes avec la réalité doivent être étudiés. Les résultats issus de la méthode IRIP serviront de première base de réflexion. Une étude approfondie de la bibliographie devra être conduite pour mieux appréhender l'influence des paramètres sur les écoulements et sur les fonctions disponibles sous QGIS pour traiter le MNT.

4.3 Mettre en place une charte des zones sensibles au ruissellement

Pour gérer le risque ruissellement à la source, la gestion à la parcelle semble être un levier d'action central et indispensable à la gestion du risque sur les zones identifiées comme sensibles au ruissellement. Sur le terrain, il est possible de constater que les avis divergent sur les bonnes pratiques culturales à adopter pour diminuer le risque. Pour cela, une charte semble être un moyen de mettre en place une politique d'aménagement cohérente à l'échelle du territoire, en s'inspirant de la *Charte des zones sensibles à l'érosion* de 1989 à destination des communes viticoles du département de la Saône-et-Loire. Cette charte pourrait être rédigée suite à un colloque où les maires et viticulteurs seraient conviés pour échanger sur leurs expériences et prendre connaissance des études faites pour limiter le ruissellement à l'échelle des parcelles. Ils sont les principaux acteurs en tant que connaisseurs de leur territoire et leur association est indispensable. De plus, ce n'est pas parce que des études montrent des solutions pour limiter le ruissellement qu'elles peuvent être mises en place. Par exemple, le fait d'enherber les vignes et de les espacer de deux au lieu d'un mètre entraîne une diminution de la surface des vignes et donc une diminution du nombre de bouteilles produites, dans un vignoble où le prix d'une bouteille dépasse 500€. La rédaction de cette charte serait un bon exercice pour observer les limites des pratiques culturales dans la gestion à la source du ruissellement. Cette charte contiendrait finalement des recommandations, notamment sur l'enherbement et le labour, ainsi que leurs limites. Elle présenterait des solutions d'hydrauliques douces mais aussi des solutions de génie civil, l'aide à maîtrise d'ouvrage mobilisable, les financements possibles et l'entretien des aménagements. Un guide sur les différents outils permettant de prendre en compte le risque ruissellement dans les documents d'urbanisme pourra être mis à disposition (PPR, PLU, zonage pluvial...) à l'intention des maires. La charte servirait de porter-à-connaissance sur les secteurs les plus sensibles au ruissellement et à l'érosion dans la continuité de cette étude. Il pourrait également figurer des informations sur les événements de ruissellement et coulées de boue du passé en introduisant la notion de période de retour. En effet, les acteurs doivent avoir conscience qu'un événement majeur peut se reproduire et qu'une fréquence lui est associée. La notion de culture du risque pourrait également y figurer pour les inciter à informer les populations et à mettre en place des aménagements et maintenir dans l'esprit des habitants que le risque est bien présent.

Sur le bassin versant de la Dheune, la méthode IRIP ne fournit pas des résultats satisfaisants pour aboutir à un zonage et à une meilleure compréhension des phénomènes. L'algorithme se comporte comme une boîte noire qui facilite la reproduction mais empêche les modifications. Ses évolutions et le développement d'une méthode accessible au grand public seront suivis de près.

La méthode MESALES donne des résultats intéressants pour qualifier la sensibilité du bassin versant à l'érosion. Sa mise en œuvre est accessible mais fastidieuse notamment sur l'occupation du sol. Les paramètres d'entrée et choix des classes d'aléa ne sont pas modifiables selon les paramètres prédominants mis en évidence sur le terrain. Elle a inspiré l'amélioration de CRUS vers des classes. L'évaluation et l'exploitation des résultats doivent être complétées par la suite pour la gestion de l'érosion, complémentaire à celle du ruissellement.

La méthode CRUS semble être une alternative intéressante pour qualifier la sensibilité d'un territoire à la production de ruissellement puisqu'elle répond aux critères de simplicité, de flexibilité et de reproductibilité fixés par la DREAL. Toutefois, elle n'a malheureusement pas pu être évaluée suffisamment par rapport aux événements historiques pour conclure à une méthode qui peut donner de bons résultats.

Comme l'évaluation repose sur la collecte de donnée, l'établissement d'une base de données sur les dommages causés par le ruissellement paraît essentiel pour aller plus loin dans la démarche. Un travail sur les zones de transfert et d'accumulation à travers une étude fine de la topographie devrait permettre de connecter les zones de production à l'amont avec les enjeux à l'aval pour gérer l'aléa au contact de la ville. L'aléa se gérant aussi à la source, une charte à l'intention des maires et viticulteurs apparaît comme un bon outil de diffusion des bonnes pratiques et des secteurs les plus exposés au risque de ruissellement.

BIBLIOGRAPHIE

CEPRI. **Changement climatique - Vers une aggravation du risque inondation en France et en Europe ?** 2014.

CEPRI. **Gérer les inondations par ruissellement pluvial.** 2015

CERDAN et al. **Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols.** Rapport n°3 : Synthèse et recommandations générales. 2006.

CETE NORMANDIE CENTRE. **Etude bibliographique de trois méthodologies appliquées au risque érosion.** 2009.

DEHOTIN et BREIL. **Projet IRIP : Rapport technique Cartographie de l'aléa ruissellement.** 76p. IRSTEA. 2011.

Direction générale des services départementaux et la Direction du développement des communes. **Schéma directeur de lutte contre l'érosion et de maîtrise des écoulements dans le vignoble de Côte d'Or,** 1991.

DREAL BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE. **Restitution de l'étude historique ruissellement côte viticole en Bourgogne.** Université de Bourgogne. 2014

FRANCESCA. **Cartographie de l'aléa érosif.** 102p. 2014.

GESTEAU. **Démarche d'élaboration du contrat de rivière de la Dheune.** 2008.

HENGL et al. **SAGA vs GRASS: A Comparative Analysis of the Two Open Source Desktop GIS for the Automated Analysis of Elevation Data.** Conference Proceedings. 2009.

IPSEAU. **Etude de localisation et de hiérarchisation des risques naturels sur la côte viticole.** 2002.

LE BISSONNAIS et al. **L'érosion hydrique des sols en France.** 106p. 2002.

LEJEUNE. **Caractérisation et cartographie du ruissellement sur le bassin versant de la Zorn.** 168p. CEREMA. 2018.

LEQUEU. **Les caprices du ciel en Côte-d'Or.** Promenade dans l'histoire, 1976. Le Bien Public, Météo France. Disponible en ligne
<<http://www3.bienpublic.com/dossiers/minisites/retro/20eme/1976.html>>

Ministère de la transition écologique et solidaire. **Géorisques.** 2014. Disponible en ligne
<<http://www.georisques.gouv.fr/>>

POULARD et al. **Le ruissellement, comprendre pour diagnostiquer et agir.** Techni.Cités. 2015. N° mars 2015, p.21-28. 2015.

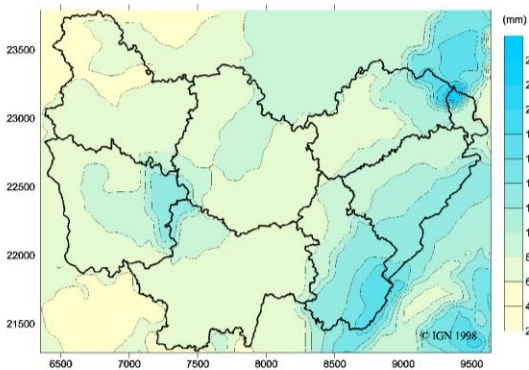
REGAZZONI et PAYRAUDEAU. **Synthèse bibliographique des outils d'évaluation du ruissellement.** 2010.

ANNEXES

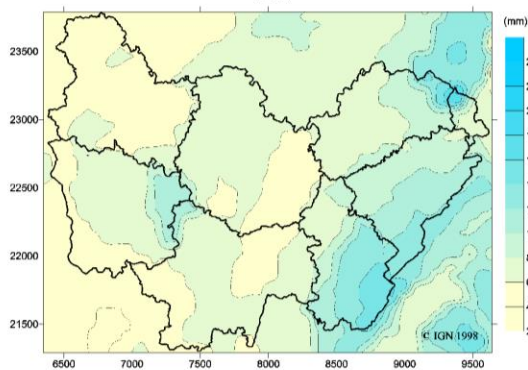
ANNEXE 1 : Cartes des pluies sur la région Bourgogne-Franche-Comté par saison	71
ANNEXE 2 : Arbre de décision MESALES du projet Verseau	73
ANNEXE 3 : Carte de la sensibilité à l'érosion par saison du bassin versant de la Dheune.....	74
ANNEXE 4 : Carte annuelle de sensibilité à l'érosion d'après MESALES.....	75
ANNEXE 5 : Carte de production IRIP	76
ANNEXE 6 : Carte de transfert IRIP.....	77
ANNEXE 7 : Carte d'accumulation IRIP	77
ANNEXE 8 : Carte CRUS du bassin versant de la Dheune avec les facteurs de la Zorn.....	79
ANNEXE 9 : Carte CRUS améliorée du bassin versant de la Dheune sans battance.....	80
ANNEXE 10 : Description des phénomènes de ruissellement à Dennevy	81
ANNEXE 11 : CERFA de demande d'indemnisation catastrophe naturelle	82
ANNEXE 12 : Pourcentages surfaciques de toutes les combinaisons possibles des résultats des cartes MESALES, IRIP et CRUS en 4 classes.....	83
ANNEXE 13 : Synthèse des sorties terrain	84
ANNEXE 14 : Carte des communes citées dans le rapport.....	88

ANNEXE 1 : Cartes des pluies sur la région Bourgogne-Franche-Comté par saison

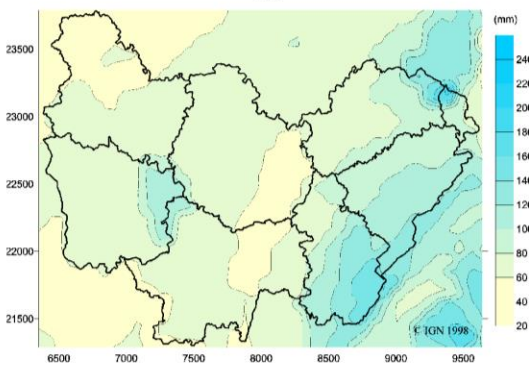
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Janvier



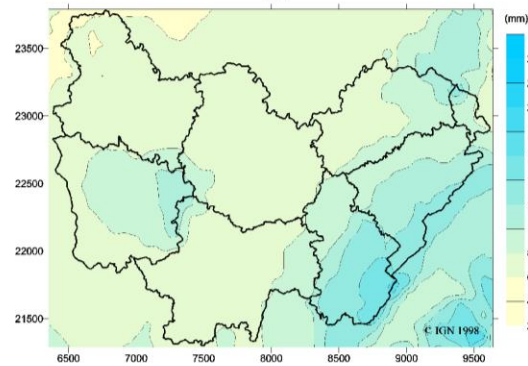
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Février



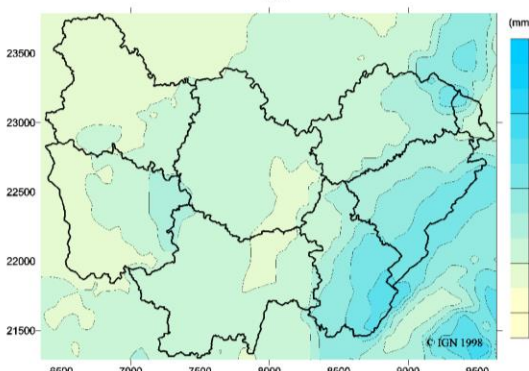
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Mars



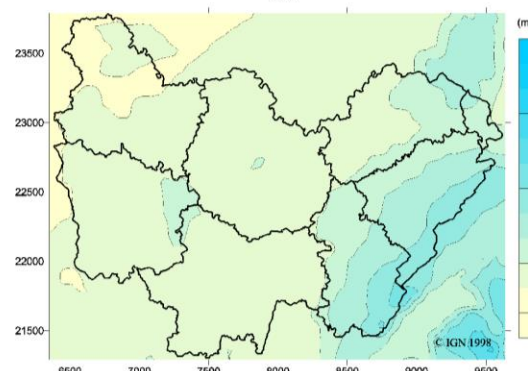
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Avril



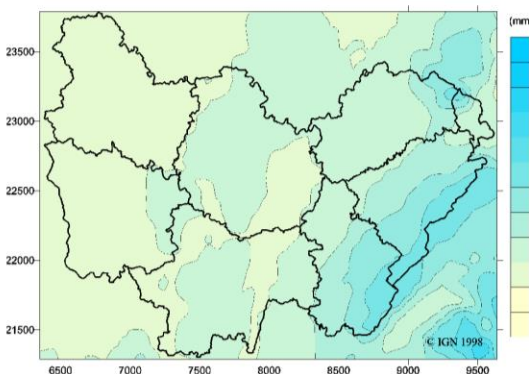
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Mai



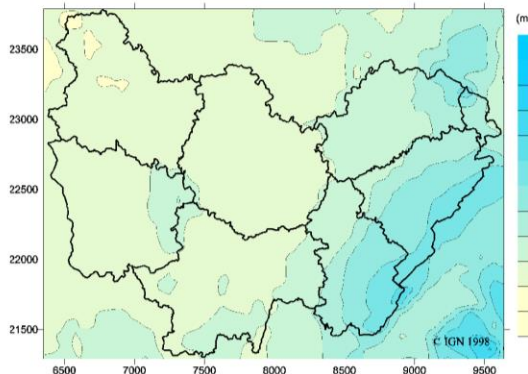
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Juin



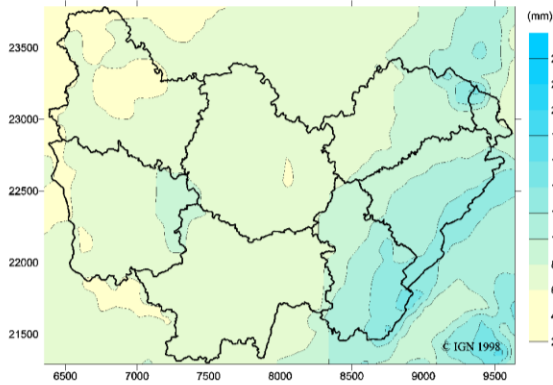
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Juillet



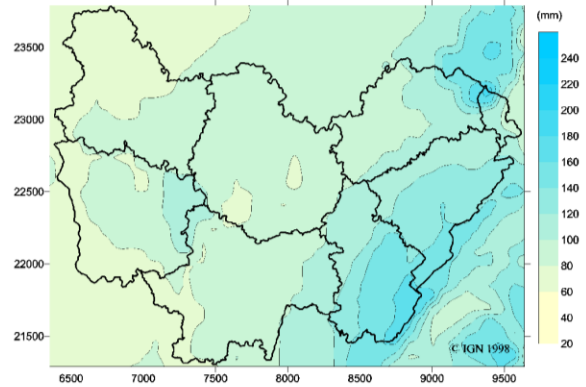
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Août



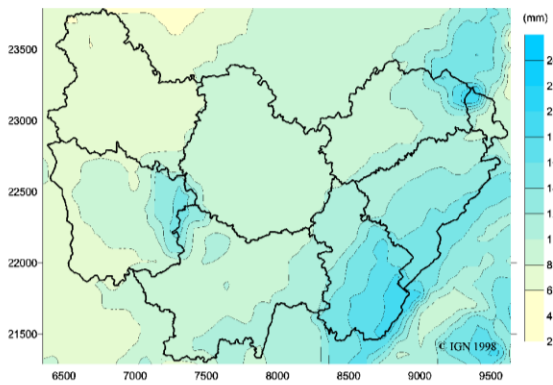
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Septembre



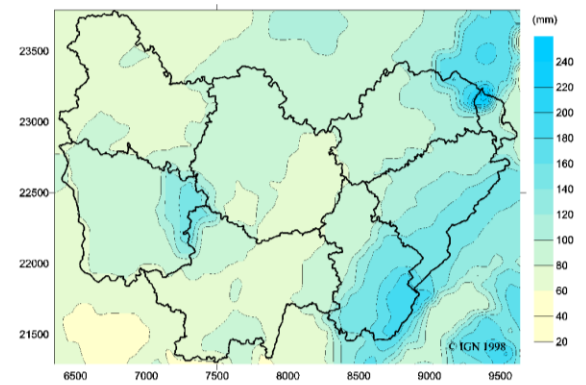
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Octobre



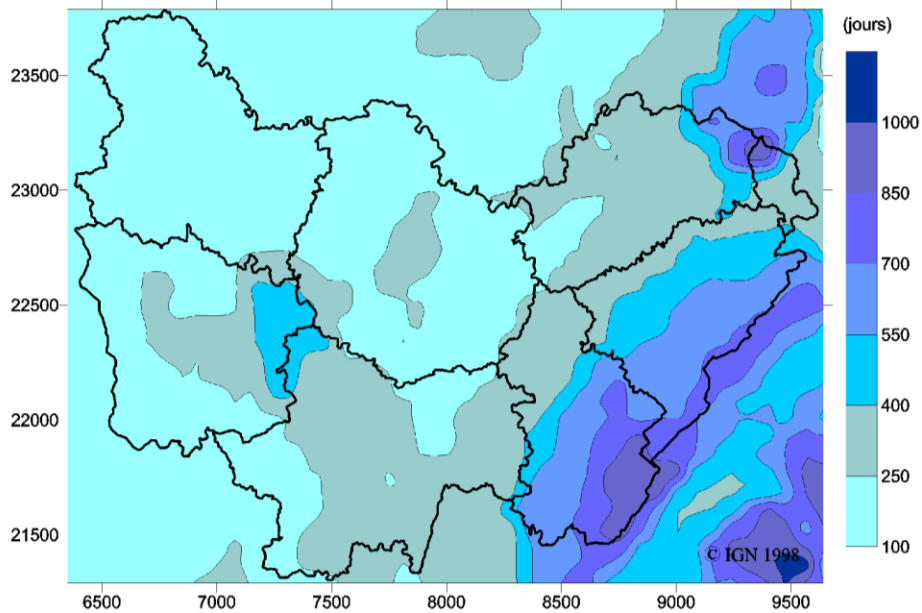
Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Novembre



Moyennes mensuelles des précipitations calculées par le modèle Safran (période 1998-2017)
Région Bourgogne - Franche-Comté
Décembre

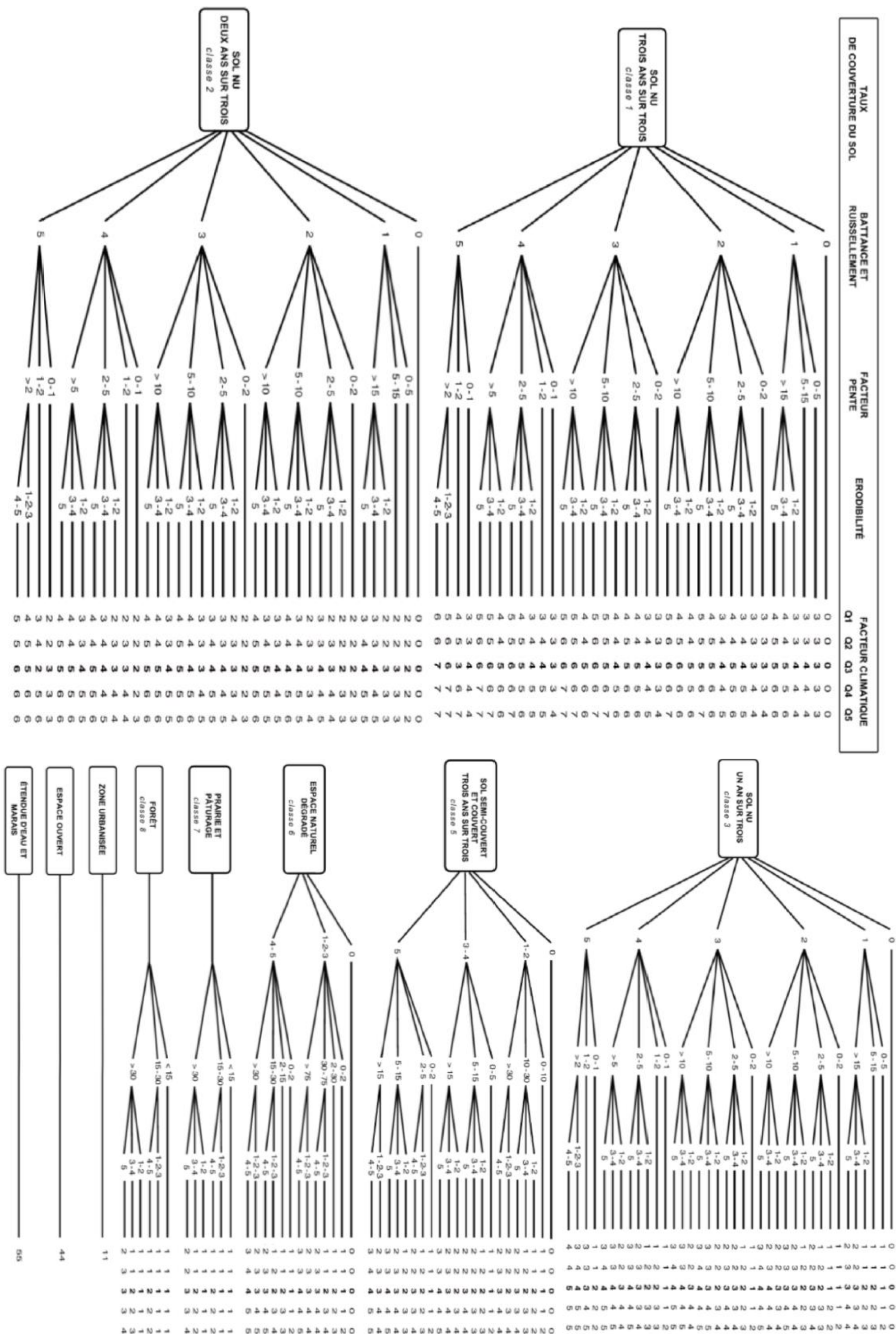


Nombre de jours de précipitations supérieures à 15 mm calculées par le modèle Safran
Cumul sur la période 1998-2017
Région Bourgogne - Franche-Comté

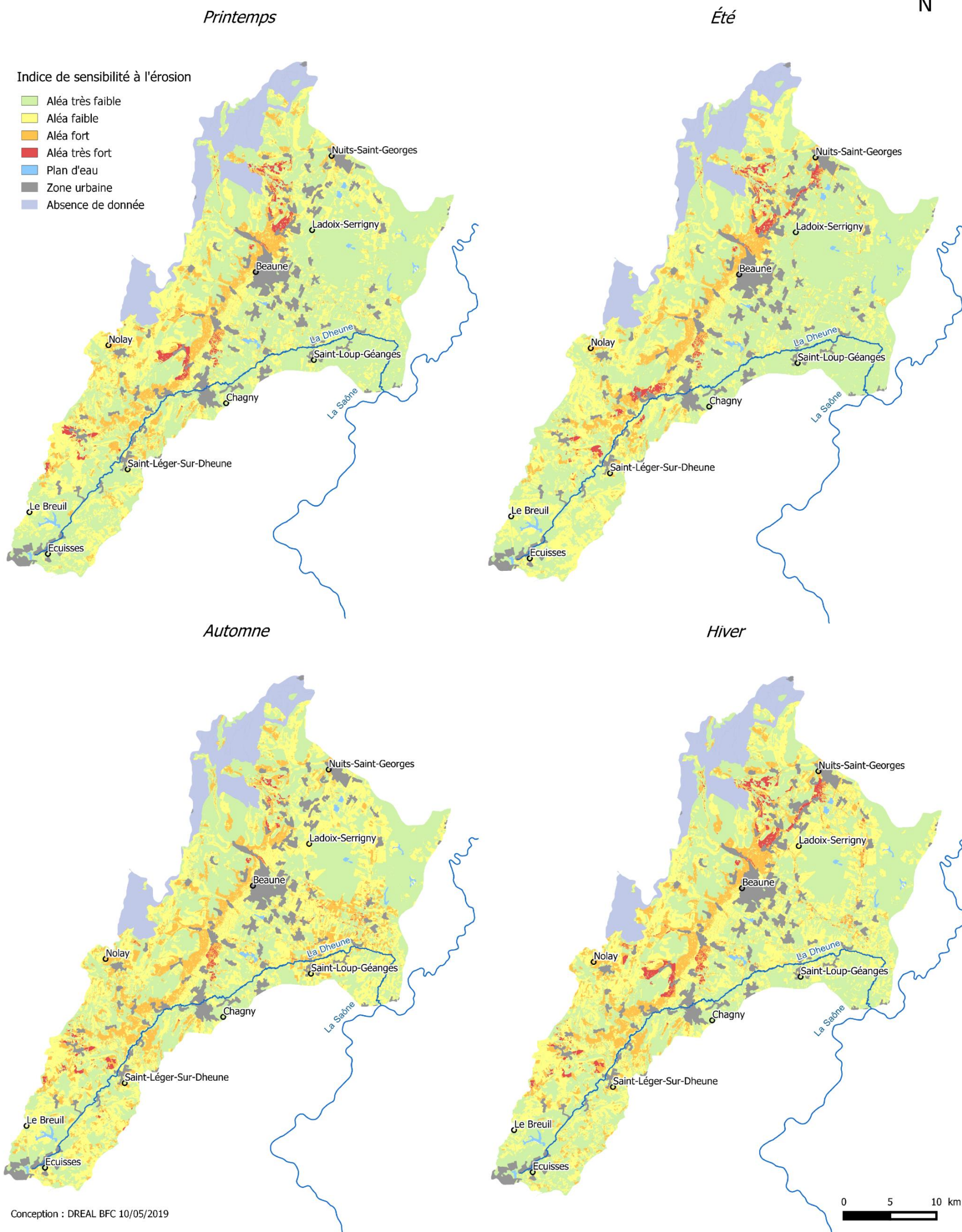


Source : SAFRAN - Météo France

ANNEXE 2 : Arbre de décision MESALES du projet Verseau

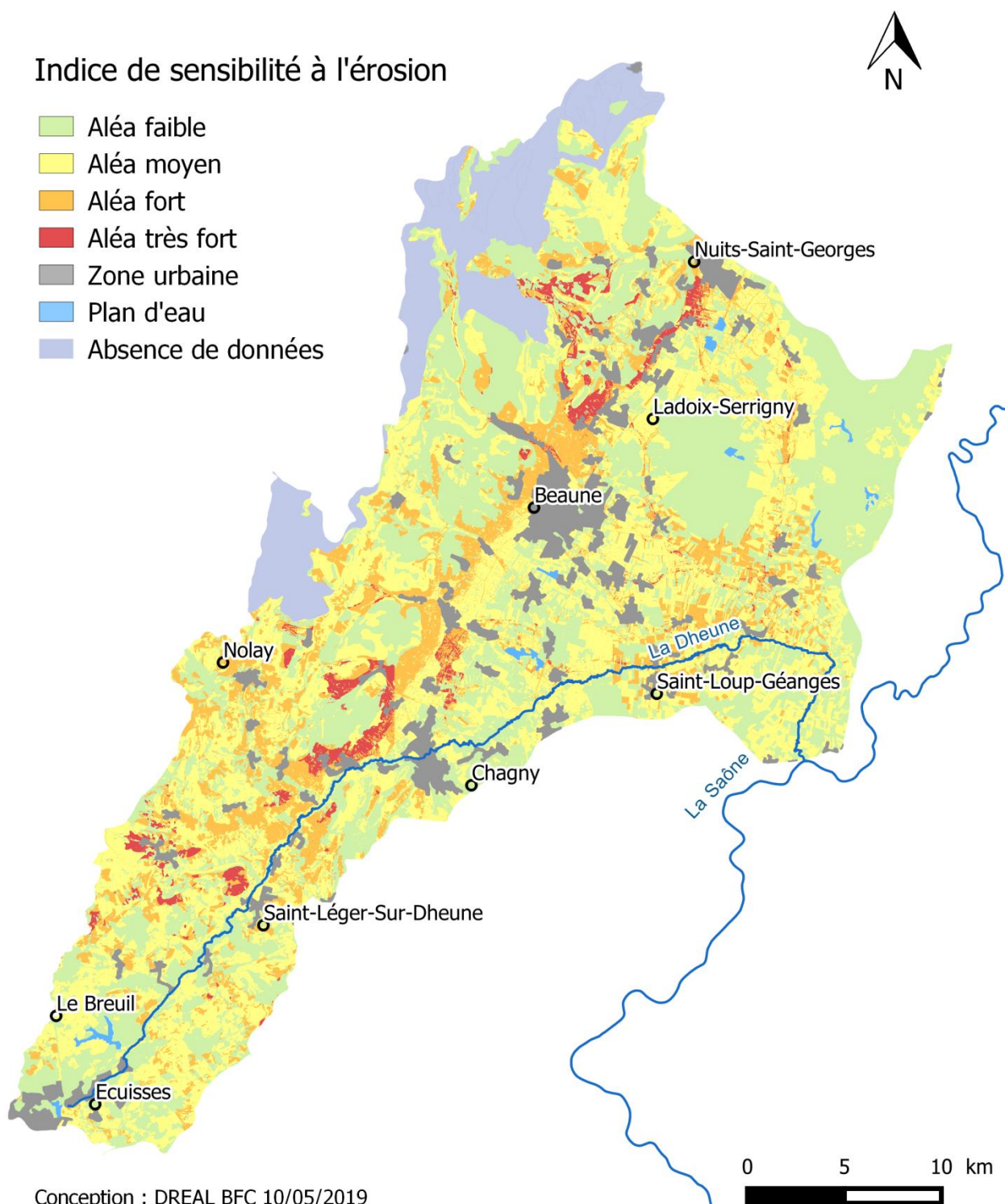


Carte de sensibilité à l'érosion par saison du bassin versant de la Dheune



Carte annuelle de sensibilité à l'érosion du bassin versant de la Dheune

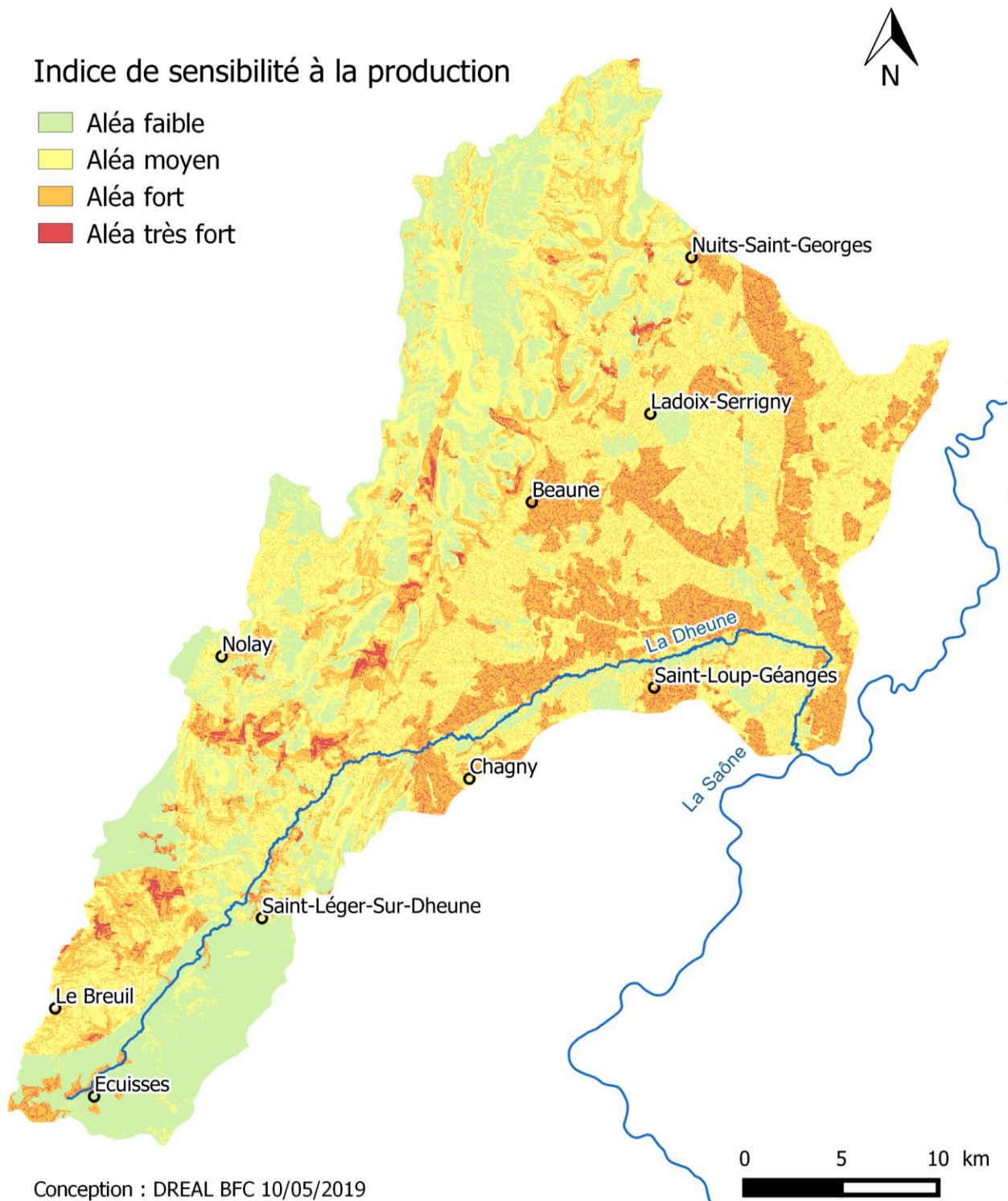
méthode MESALES



Conception : DREAL BFC 10/05/2019

Carte d'aptitude à la production des eaux de ruissellement sur le bassin versant de la Dheune

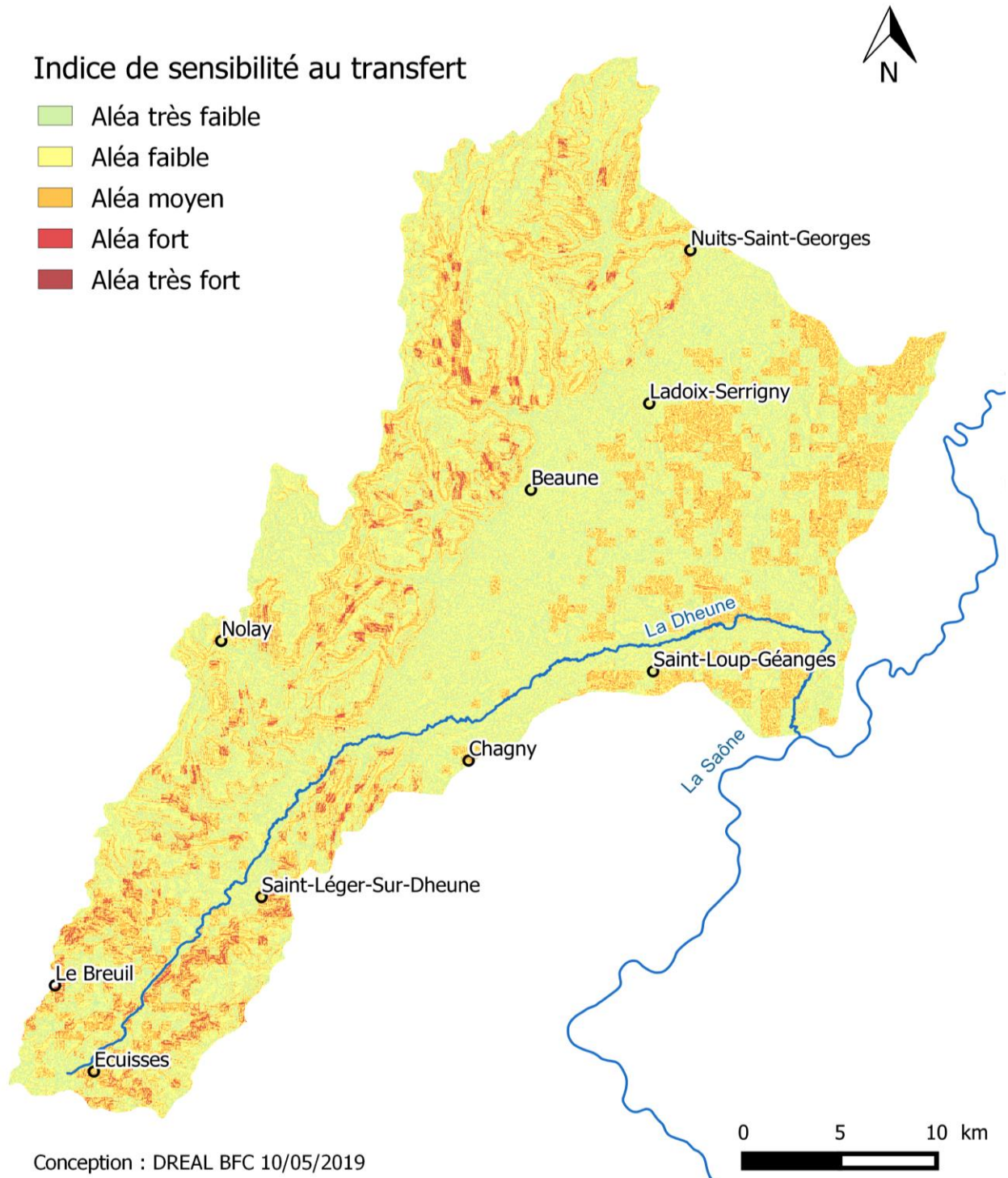
méthode IRIP



Conception : DREAL BFC 10/05/2019

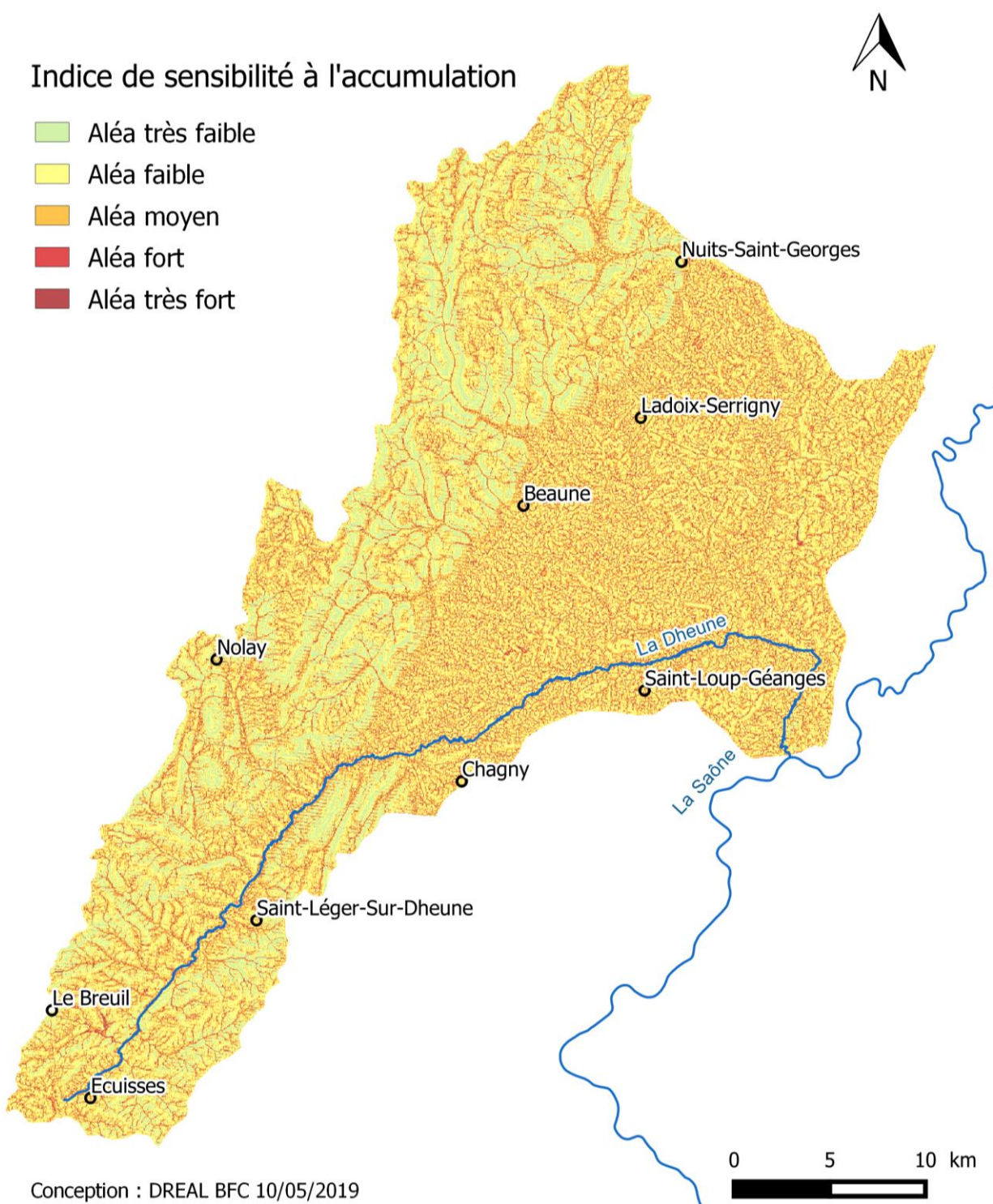
Carte d'aptitude au transfert des eaux de ruissellement sur le bassin versant de la Dheune

méthode IRIP



Carte d'aptitude à l'accumulation des eaux de ruissellement sur le bassin versant de la Dheune

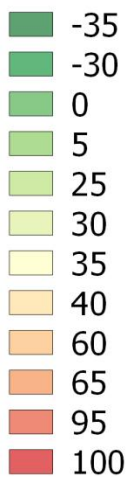
méthode IRIP



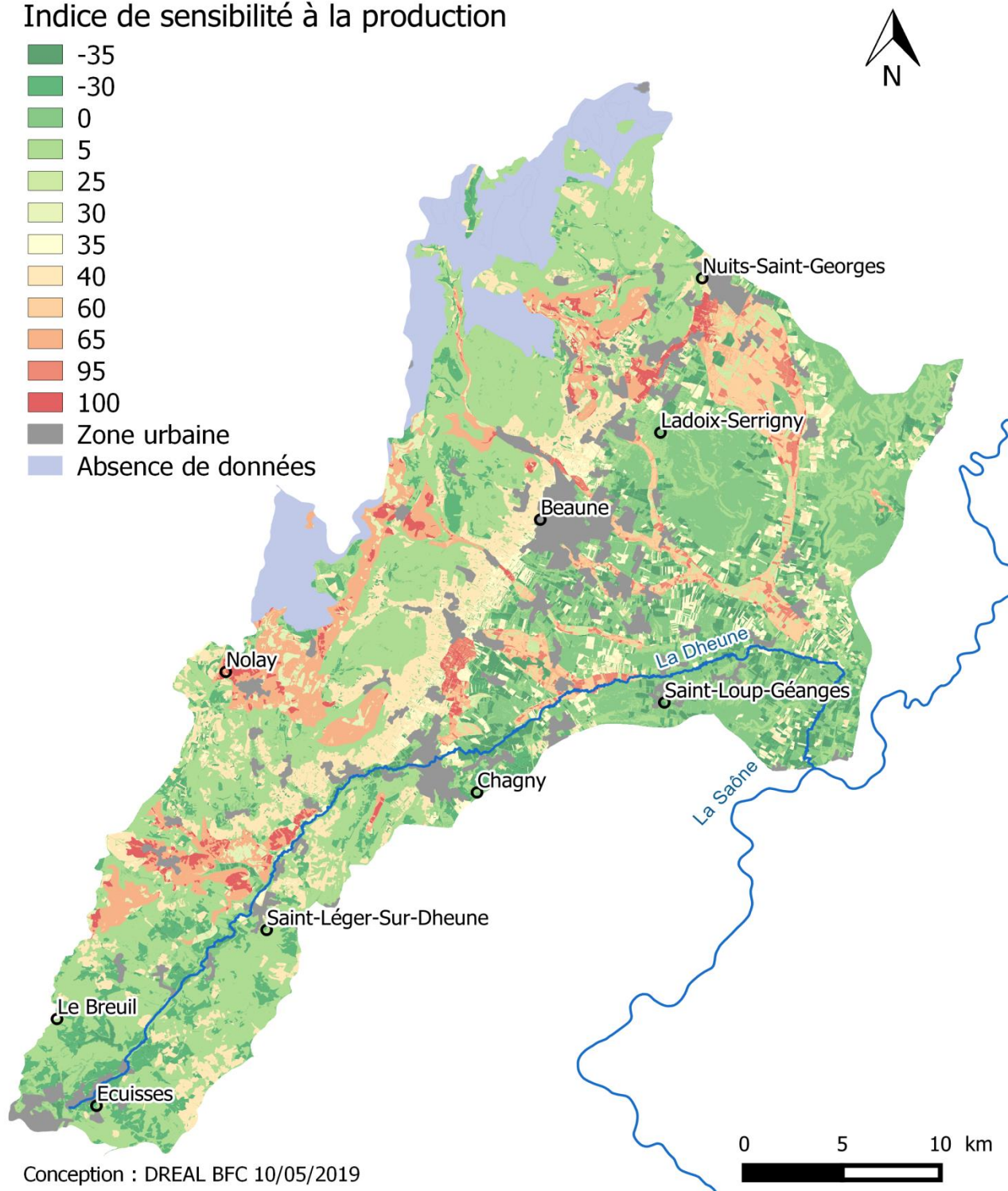
Carte d'aptitude à la production des eaux de ruissellement du bassin versant de la Dheune

méthode CRUS - paramètres définis sur la Zorn

Indice de sensibilité à la production



Zone urbaine
Absence de données



Conception : DREAL BFC 10/05/2019

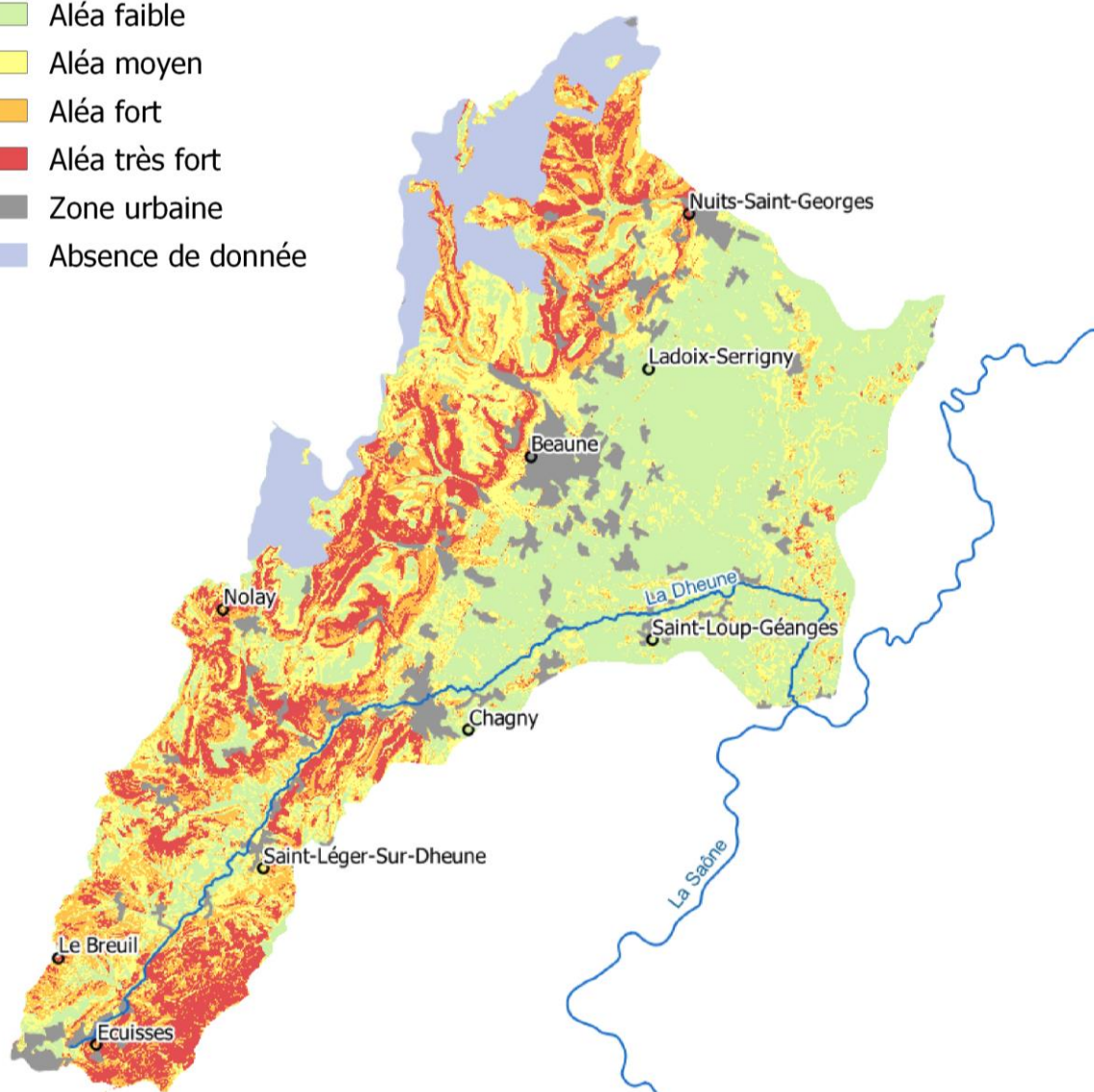
ANNEXE 9 : Carte CRUS améliorée du bassin versant de la Dheune sans battance

Carte d'aptitude à la production des eaux de ruissellement sur le bassin versant de la Dheune

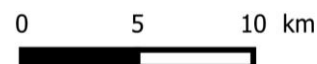
méthode CRUS (sans prise en compte de la battance)

Indice de sensibilité à la production

-  Aléa faible
-  Aléa moyen
-  Aléa fort
-  Aléa très fort
-  Zone urbaine
-  Absence de donnée

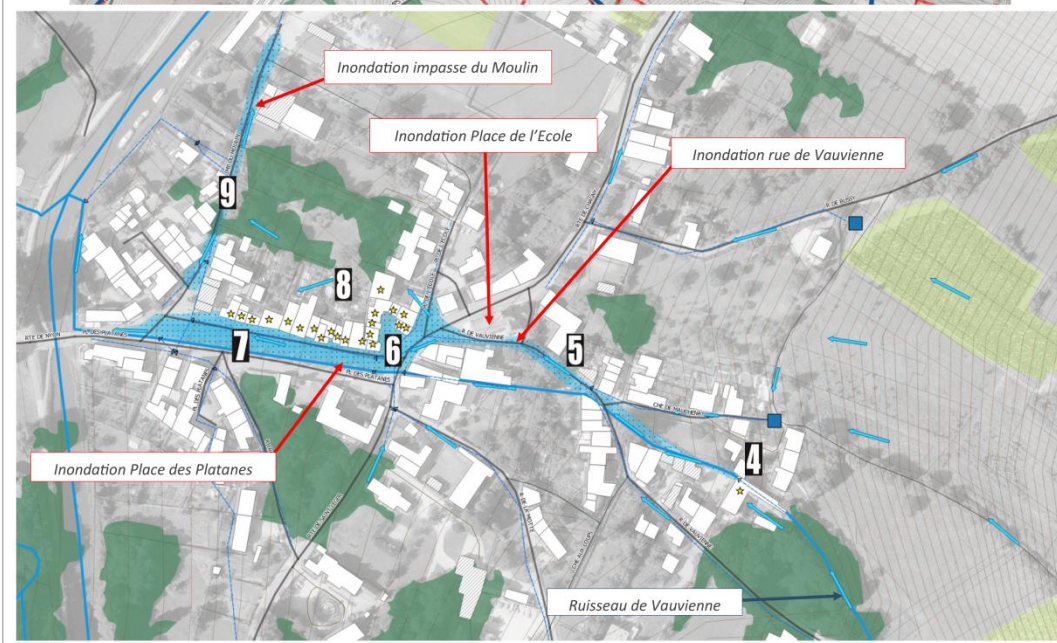
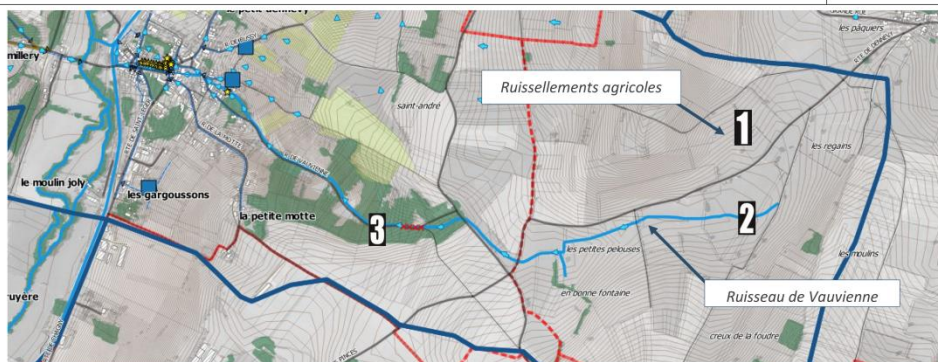


Conception : DREAL BFC 10/05/2019



ANNEXE 10 : Description des phénomènes de ruissellement à Dennevry (Source : Etude du Grand-Chalon)

1 Secteur Centre Village	
Description	Origines et causes des désordres
<p>Le village de Dennevry est établi au niveau de la vallée de la Dheune, le long du Canal du Centre. Le village s'étend sur le bas du versant Est de la Dheune, au niveau d'une vallée latérale, drainée par le ruisseau de Vauvienne.</p> <p>Les ruissellements produits, sur les parties herbeuses (1) du haut de versant, se concentrent rapidement dans le fond de vallon, drainés par le ruisseau de Vauvienne dès la tête de vallée (2). Les écoulements sont ensuite accélérés dans la pente boisée, le long de la rue de Vauvienne (3). Au niveau de la première habitation de Dennevry, un petit ouvrage souterrain permet le passage des eaux sous la propriété (4). Lors d'évènements pluvieux intenses, les débits et la formation d'embâcle saturent l'ouvrage. Les eaux de débordement circulent en surface, inondant la propriété.</p> <p>En aval, le ruisseau de Vauvienne est canalisé sous les rues et habitations du village, par un ouvrage de capacité supérieure. Cependant, les eaux de débordement ne réintègrent pas le lit du cours d'eau et s'écoulent sur la chaussée de la rue de Vauvienne (5), inondant en contrebas le centre du village, au niveau de la Place des Platanes (6). Une partie des eaux s'écoule le long de la Place des Platanes jusqu'en bas de versant (7). Une autre partie des flux traverse les habitations situées place de l'Ecole, puis inondent par l'arrière les habitations situées le long de la Place des Platanes (8). L'ensemble des eaux s'accumule ensuite au niveau de l'impasse du Moulin, inondant la chaussée (9).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Débordement de cours d'eau • Saturation d'ouvrage souterrain • Débordement de cours d'eau • Saturation d'ouvrage souterrain



ANNEXE 11 : CERFA de demande d'indemnisation catastrophe naturelle

Loi n° 82-600 du 13 juillet 1982
Modifiée



MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR,
DE L'OUTRE-MER ET DES COLLECTIVITÉS TERRITORIALES

DEMANDE COMMUNALE DE RECONNAISSANCE DE L'ÉTAT DE CATASTROPHE NATURELLE

Localisation du phénomène	
Commune :	171 DENNEUY
Département :	71 Saône-et-Loire
Arrondissement :	2 Chalon-sur-Saône

Date et heure du phénomène	
Du :	13/05/2016 19:00
au :	14/05/2016 02:00

Identification du phénomène	
A. Inondations	
A1 - inondation par débordement d'un cours d'eau	<input type="checkbox"/>
préciser le ou les cours d'eau concernés: _____	
<i>(ex : rivière de Charente, Ruisseau du moulin, ru des graves...):</i> _____	
A2 - inondation par ruissellement et coulée de boue associée	<input checked="" type="checkbox"/>
A3 - inondation par remontée de nappe phréatique	<input type="checkbox"/>
B. Crue torrentielle	<input type="checkbox"/>
C. Phénomènes liés à l'action de la mer (submersion marine et érosion marine)	<input type="checkbox"/>
D. Mouvement de terrain	<input type="checkbox"/>
E. Sécheresse/Réhydratation des sols	<input type="checkbox"/>
F. Séisme	<input type="checkbox"/>
G. Vent cyclonique	<input type="checkbox"/>
H. Avalanche	<input type="checkbox"/>

Mesures de prévention existantes et envisagées
<i>(études ou travaux, prise en compte dans le POS, PPR, arrêté de mise en péril...)</i>

Nombre de bâtiments endommagés
35

Fait à, DENNEUY le: 19/05/2016

LE MAIRE
(cachet de la mairie)

Pour le Maire,
L'Adjoint délégué:



ANNEXE 12 : Pourcentages surfaciques de toutes les combinaisons possibles des résultats des cartes MESALES, IRIP et CRUS en 4 classes

Croisement	Proportion (%)	Croisement	Proportion (%)
111	4,44	311	2,12
112	1,23	312	1,53
113	0,27	313	0,64
114	0,02	314	0,10
121	11,06	321	3,70
122	5,82	322	3,72
123	1,14	323	2,29
124	0,11	324	0,81
131	4,54	331	0,98
132	4,48	332	1,98
133	1,18	333	1,06
134	0,16	334	0,40
141	0,62	341	0,05
142	0,84	342	0,24
143	0,26	343	0,12
144	0,03	344	0,06
211	3,44	411	1,52
212	1,52	412	2,20
213	0,30	413	0,80
214	0,05	414	0,11
221	3,61	421	1,91
222	4,74	422	2,45
223	1,83	423	1,76
224	0,36	424	0,18
231	0,99	431	0,56
232	2,97	432	1,97
233	0,97	433	2,27
234	0,21	434	4,60
241	0,09	441	0,05
242	0,47	442	0,26
243	0,13	443	0,33
244	0,03	444	1,32

ANNEXE 13 : Synthèse des sorties terrain

Sortie du 27 mars 2019

L'itinéraire de la sortie a été choisi en observant les communes qui ressortaient comme les plus impactées dans l'étude historique de la DREAL Bourgogne-Franche-Comté depuis 1960. Au fil des observations, deux situations se sont profilées : soit le risque ruissellement tel qu'il a été défini dans cette étude est avéré, soit il est remis en question. Sur le terrain, il est important de relever :

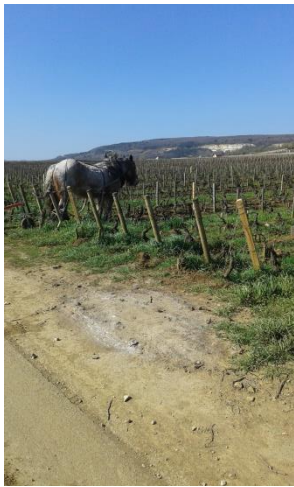
- la topographie : points hauts, points bas, exutoires, l'inclinaison des pentes, d'observer si la commune est positionnée sur un plateau, dans une plaine, un thalweg ;
- l'hydrologie : taille des sous-bassins versants, cours d'eau permanents et intermittents, caniveaux ;
- la pédologie : teneur en éléments grossiers et en sable (gratte les doigts, crisse à l'oreille, pas de formation de boudin possible), en limon (texture soyeuse), en argile (formation d'un boudin ou d'anneau) ;
- les pratiques agricoles : type de culture, présence de haies ou murs entre les parcelles, espaces enherbés entre les vignes et le bord de la parcelle, sol nu ou enherbé entre les rangs de vignes, taille des ceps ;
- enjeux : proximité des enjeux par rapport aux vignes, quantité, type, mesures de protection mises en place par les communes (bassins, panneaux de signalisation...) ou par les citoyens (batardeaux) ;
- traces de ruissellement : sur les routes, les versants, les murs ;
- points sensibles aux embâcles : cours d'eau mal entretenus, grilles en travers de l'écoulement favorable au risque d'obstruction.

L'échange avec les résidents ou les viticulteurs est le meilleur moyen d'en apprendre plus sur les phénomènes. A noter que lorsqu'on est sur le terrain, il est beaucoup plus facile de comprendre la dynamique des écoulements en observant la topographie, par contre il est difficile d'avoir une vision d'ensemble et de prendre conscience de la taille des aires drainées. Seule une vision en 3D à partir de QGIS permet d'avoir cette vision d'ensemble. Elle est importante car les problématiques de ruissellement ne sont pas uniquement locales et peuvent provenir d'une dizaine de kilomètres à l'amont.

On observe que les villages sont majoritairement situés dans des thalwegs dont les versants sont exploités pour leurs vignes. Les pentes sont plus ou moins fortes selon les configurations. Les pratiques des cultures divergent, on trouve des parcelles enherbées, l'enherbement est maîtrisé ou non, les sols sont labourés ou pas, des murs séparent les parcelles etc. Globalement, on peut observer que les murs et les haies en bord de parcelle sont assez rares, les sols sont labourés et les ceps resserrés. Un tampon de 5m rendu obligatoire pour les appellations encadre les parcelles. Des fossés sont creusés autour de ces bandes enherbées pour collecter les eaux qui ruissellent.



Photo 5 : Vignes non enherbées à la sortie de Puligny-Montrachet



Photos 6,7,8 :
Labour
traditionnel à
Puligny-
Montrachet (à
gauche), vignes
enherbées à
Auxey-Duresses
(milieu) et cours
d'eau mal
entretenu à
Dennevy (droite)

Pour les communes sur lesquelles la production de ruissellement est potentielle (Puligny-Montrachet, Echevronne, Nuits-Saint-Georges, Savigny-lès-Beaune, Bouzeron), on observe des vignes exploitées sur de grandes surfaces avec des pentes fortes et inclinées en direction des villages. A Puligny-Montrachet les vignes ne sont pas au contact du village mais la plaine dans laquelle s'accumule le ruissellement est peu perméable. A Echevronne, les pentes sont très fortes, si bien que même sur les parcelles occupées par de la prairie, il semble que du ruissellement puisse se produire. A Savigny-lès-Beaune, une grande surface viticole est directement connectée au village par un chemin goudronné.

Pour les autres communes, l'origine du ruissellement est mise en doute (Dennevy, Villers-la-Faye, Bouzeron, Meuilley, Chaux). A Dennevy, le plateau situé en amont de la commune est occupé par de vastes prairies. On ne trouve que quelques vignes de part et d'autre des versants. La surface du plateau est assez importante et les écoulements convergent vers un ruisseau, principal exutoire, qui coule en direction de Dennevy. Ce ne sont pas les vignes qui semblent être à l'origine de l'aléa mais plutôt la taille de l'aire drainée qui a tendance à mettre en charge le ruisseau. Ce cours d'eau est d'ailleurs mal entretenu, il passe à travers plusieurs grilles et notamment entre des maisons où les marques de la montée des eaux est encore visible et les travaux de restauration récents. On retrouve la même problématique de taille d'aire drainée et de temps de concentration rapide à Villers-la-Faye, Meuilley et également Bouzeron où une problématique plus locale avait été décelée. Le village de Chaux est quant à lui situé sur un point haut. Le ruissellement semble provenir du haut du plateau forestier dont les écoulements se concentrent dans un chemin en direction du village.

Sortie du 6 mai 2019

Les maires peuvent difficilement décrire les derniers événements de ruissellement qui ont eu lieu il y a parfois plus de 40 ans. Plusieurs maires sont d'accord pour dire que les événements orageux du siècle dernier étaient très intenses et que les plus récents ne sont pas de la même intensité, ce qui ne veut pas dire que leurs communes sont moins vulnérables. Les maires et viticulteurs ont du mal à évaluer la suffisance des aménagements qui ont été faits depuis pour protéger les habitations si des phénomènes tels que ceux de 1993 souvent cités par les maires, se reproduisent.

Certains maires comptent sur la construction de murs en bas des parcelles pour rompre la vitesse des écoulements et ainsi diminuer l'impact sur les dommages. Les murs et les haies ont été détruits lors de l'arrivée du tracteur. Les murs en pierres sèches sont en plein développement dans la commune de Saint-Romain où le maire, archéologue, en fait la promotion car ils sont moins susceptibles de rompre. A Auxey-Duresses, les parcelles les plus en pente et donc les plus problématiques lors des pluies intenses sont cultivées par des vignes larges et enherbées depuis que des expériences ont été conduites avec l'INAO. Elles ont démontré que le goût du vin n'est pas impacté par de telles pratiques. Ces pratiques sont d'ailleurs rentrées dans l'appellation. Dans d'autres communes, une telle démarche ne serait pas possible dans la mesure où les maires et exploitants sont convaincus qu'en cas de sécheresse, l'herbe entre en compétition avec le pied de la vigne. Difficile à croire pour d'autres étant donné la profondeur à laquelle un cep va chercher dans le sol. Les viticulteurs ne sont également pas d'accord sur l'impact du labour. L'utilisation d'herbicides diminue de plus en plus au profit du labour pour une question environnementale. Le labour est une alternative à la chimie mais il diminue les risques lors des orages pour certains, tandis qu'il l'augmente pour d'autres. Pour certains, le labour permet une aération du sol. Le sol est donc plus perméable et une plus grande quantité d'eau est absorbée. Pour d'autre, le labour déstructure le sol, celui-ci se déplace, est à l'origine d'éboulement, de coulées de boue, d'obstruction et de colmatage.

Après les violents orages du siècle dernier, une série de bassins de rétention ont également été mis en place dans des communes. Les viticulteurs construisent également des bassins sur leurs parcelles. Il aurait été intéressant de positionner les ouvrages majeurs sur une carte dans ce rapport pour illustrer la prise en main de la problématique par les différents acteurs. Mais, une telle information n'a jamais été vectorisée. Sur le terrain, ces bassins sont souvent mal entretenus et ressemblent à des friches. Certains sont même utilisés en décharge sauvage par les habitants. Leur entretien est souvent négligé et donc leur utilité diminuée. La boue pose un problème de colmatage des drains, si bien que lorsque des grands ouvrages de génie civil ont été construits et qu'ils sont colmatés, ils sont laissés à l'abandon et leur efficacité est réduite.

L'entretien des voiries apparaît comme un levier d'action dans la mesure où le ruissellement empreinte ces couloirs. Les chemins goudronnés, bétonnés et bien entretenus favorisent le transport tandis que les chemins mal entretenus et enherbés le diminuent. Des caniveaux le long des routes ou des fossés sont des mesures quasi-systématiques pour collecter les écoulements. Les chemins qui connectent le haut des plateaux forestier avec les enjeux à l'aval ont la même problématique.



Photo 9 : Bassin de rétention à Aloxe-Corton



Photo 10 : Chemin bétonné entre les vignes d'Aloxe-Corton

La plupart des maisons ne sont pas beaucoup endommagées. En effet, ce ne sont pas des maisons de plain-pied car elles possèdent une cave et donc sont peu impactées lors des inondations. Généralement, les habitants connaissent leur territoire, les risques et vivent avec. Quand on échange avec les maires, on ne ressent pas de priorité sur la gestion du ruissellement. Ce sont plutôt les nouveaux propriétaires qui inquiètent les maires. Dans la plupart des communes, la construction n'est plus possible car les vignes sont au contact des habitations. Le Plan local d'urbanisme (PLU) interdit les nouvelles constructions. Les nouveaux propriétaires achètent donc des propriétés et demandent des extensions, des aménagements. Il arrive que le génie civil entre en conflit avec les mesures de protection conseillées aux abords de la vigne, comme sur la Photo 11 où la maison est située sous le niveau du sol au pied des parcelles de vignes à cause des contraintes du génie civil. Les maires ne peuvent que conseiller les nouveaux propriétaires puisqu'ils connaissent bien leur territoire. Ils ont peu de poids sur les décisions relatives à ces projets.

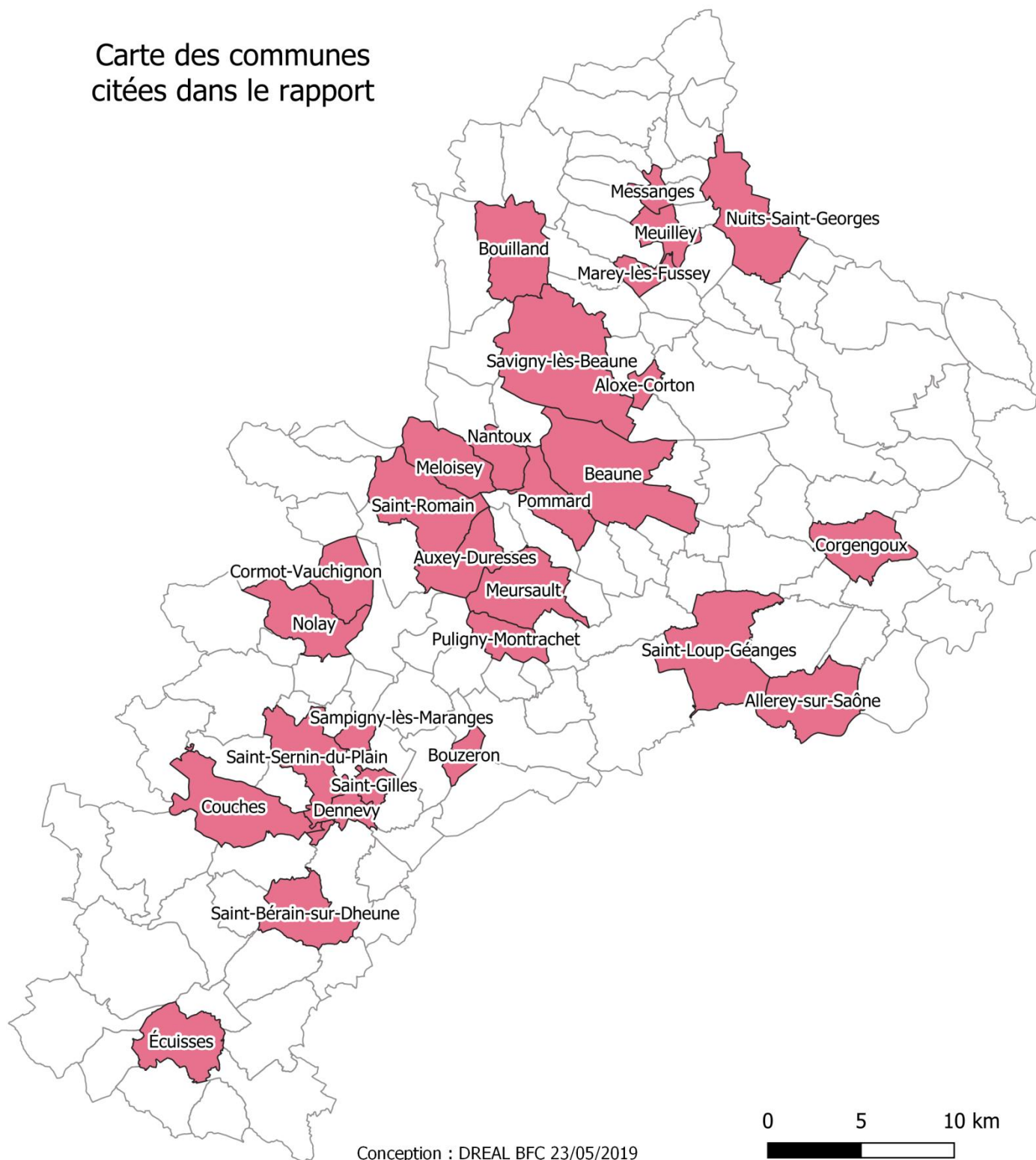


Photo 11 : Maison sous le niveau du sol à Auxey-Duresses

A la suite de cette sortie, il en ressort que le ruissellement n'est pas une priorité fondamentale pour les maires alors que la DDT semble inquiète. Le maire de Beaune n'a pas été rencontré car un rendez-vous n'a pas pu être fixé. Cette rencontre aurait permis de mieux appréhender les enjeux sur la commune la plus peuplée du bassin versant. Un rendez-vous sera pris cet été dans la continuité de l'étude. Dans les autres communes, les parcelles viticoles sont connues pour être à l'origine de la genèse du ruissellement et en particulier les zones de fortes pentes. Les viticulteurs font au mieux pour ne pas amener de l'eau chez leurs voisins et ne pas causer de dommages. La gestion à la parcelle semble être un levier d'action central et indispensable à la gestion du risque. La connaissance des zones de production est très pertinente car une gestion du phénomène à cette échelle permet de réduire le risque à la source. Pour cela, une charte semble être un moyen de mettre en place une politique d'aménagement cohérente à l'échelle du territoire, en s'inspirant de celle mise en place sur le département de la Saône-et-Loire à propos de l'érosion. Cette charte contiendrait des conseils sur les pratiques culturales à l'intention des maires et des viticulteurs de sorte qu'ils aient tous accès aux mêmes connaissances, notamment sur la question de l'enherbement et du labour. Cette charte pourrait être rédigée suite à un colloque où les maires et viticulteurs seraient conviés pour échanger sur leurs expériences et rencontrer des chercheurs de l'INAO ou de l'INRA qui réalisent des expériences sur des terres agricoles et viticoles.

ANNEXE 14 : Carte des communes citées dans le rapport

Carte des communes citées dans le rapport



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Diplôme d'ingénieur de l'ENGEES
Spécialité Hydrosystème

Auteur CHOLEY Cécile	Année 2019
Titre Carte de sensibilité à l'aléa ruissellement en Bourgogne-Franche-Comté	
Nombre de pages	90
Nombre de références bibliographiques	16
Structure d'accueil	DREAL Bourgogne-Franche-Comté
Maître de stage	BOUJARD Olivier
Résumé Ce TFE propose une méthode d'identification des zones de production de ruissellement sur le bassin versant de la Dheune à dominante viticole, en s'inspirant de méthodes existantes. Les facteurs d'entrée sont découpés en classes : occupation du sol, pente, perméabilité, battance. On obtient une carte définissant des zones de production en 4 classes d'aléa. La comparaison des résultats avec les événements historiques semble convenable. Toutefois, aucune méthode d'évaluation satisfaisante n'a pu être déployée à cause du manque de données. La réflexion continue sur une base de données ruissellement et sur les zones de transfert qui connectent la production aux enjeux.	
Mots-clés : ruissellement, érosion, inondation, côtes viticoles, vignobles.	