

Vulnérabilité non-structurelle et résilience territoriale en situation de multi-risque. Perception et préférences cartographiques des aléas effondrement et inondation (val d'Orléans, Loiret, France)

Non-structural vulnerability and territorial resilience in a multi-risk context. Perception and cartographic preferences of karst collapse and flooding hazards (val d'Orléans, Loiret, France)

Kamal Serrhini, Yolaine Moy, Gildas Noury, José Serrano and Hedieh Soltanpour

Volume 46, Number 2, 2023

Quelle planification spatiale pour quelle résilience territoriale ? La gouvernance locale en question

Which Spatial Planning for Which Territorial Resilience? The Challenge of Local Governance

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1100216ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1100216ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Canadian Regional Science Association / Association canadienne des sciences régionales

ISSN

0705-4580 (print)

1925-2218 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Serrhini, K., Moy, Y., Noury, G., Serrano, J. & Soltanpour, H. (2023). Vulnérabilité non-structurelle et résilience territoriale en situation de multi-risque. Perception et préférences cartographiques des aléas effondrement et inondation (val d'Orléans, Loiret, France). *Canadian Journal of Regional Science / Revue canadienne des sciences régionales*, 46(2), 73–84. <https://doi.org/10.7202/1100216ar>

Article abstract

The Flood Risk Prevention Plan (PPri), as a central element of the national flood risk management, is based on a single-hazard logic. However, the valley of Orléans is affected by the interaction between two major natural hazards namely flood and karst collapse. The PPri requires the related local authorities (town councils) to develop a municipal information document on major existing risks (DICRIM). A brief analysis of these communication mechanisms clearly highlights a lack in policies for the prevention of karst cavity collapse, which limits the development of a risk culture and can exacerbate the likely potential damages and posing a greater threat to human lives. By the use of questionnaire surveys, the aim of the present paper is to assess the awareness of the karst risk on a municipal level and the main stakeholders of the valley of Orléans (Prefecture, DDT, DREAL). This research focuses on non-structural preventive measures in terms of institutional communication pertaining to a multi-risk situation aimed at the major stakeholders with the prospect of enhancing the resilience of the territories.

VULNÉRABILITÉ NON-STRUCTURELLE ET RÉSILIENCE TERRITORIALE EN SITUATION DE MULTI-RISQUE. PERCEPTION ET PRÉFÉRENCES CARTOGRAPHIQUES DES ALÉAS EFFONDREMENT ET INONDATION (VAL D'ORLÉANS, LOIRET, FRANCE)

Kamal Serrhini, Yolaine Moy, Gildas Noury, José Serrano, Hedieh Soltanpour

Kamal Serrhini*

Maitre de conférences, UMR CNRS CITERES,
Polytech Aménagement et Environnement –Université
de Tours, 35 allée Ferdinand de Lesseps, F-37200 Tours
+33 6 66 74 30 43
kamal.serrhini@univ-tours.fr

Yolaine Moy

Ingénieure d'études, UMR CNRS CITERES,
Université de Tours, France
yolaine.moy@gmail.com

Date de soumission : 8 décembre 2021

Date d'acceptation : 4 mars 2023

Résumé : En tant qu'élément central de la politique nationale de gestion des risques naturels, le Plan de Prévention du Risque inondation (PPRi) est fondé sur une logique du mono-aléa. Le val d'Orléans (VdO) est concerné par l'interaction entre deux aléas naturels majeurs, les inondations et les effondrements karstiques. L'existence du PPRi impose aux collectivités territoriales concernées (mairies) de développer un Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM). Une rapide analyse de ces dispositifs de communication montre clairement une insuffisance des politiques de prévention des effondrements de cavités karstiques limitant le développement d'une culture du risque ce qui peut aggraver les dommages potentiels et mettre en danger des vies humaines. A l'aide d'une enquête par questionnaire, cette contribution s'intéresse à l'évaluation de la perception du risque karstique par les communes (mairies) et les acteurs majeurs du VdO (Préfecture, DDT, DREAL). Cette publication focalise sur les mesures préventives non-structurelles en termes de communication institutionnelle en situation de multirisque à destination des acteurs locaux dans la perspective d'une meilleure résilience des territoires.

Mots clés : Multi-aléa naturels, communication préventive institutionnelle, questionnaire, perception, communication.

Non-structural vulnerability and territorial resilience in a multi-risk context. Perception and cartographic preferences of karst collapse and flooding hazards (val d'Orléans, Loiret, France)

Abstract : The Flood Risk Prevention Plan (PPRi), as a central element of the national flood risk management, is based on a single-hazard logic. However, the valley of Orléans is affected by the interaction between two major natural hazards namely flood and karst collapse. The PPRi requires the related local authorities (town councils) to develop a municipal information document on major existing risks (DICRIM). A brief analysis of these communication mechanisms clearly highlights a lack in policies for the prevention of karst cavity collapse, which limits the development of a risk culture and can exacerbate the likely potential damages and posing a greater threat to human lives. By the use of questionnaire surveys, the aim of the present paper is to assess the awareness of the karst risk on a municipal level and the main stakeholders of the valley of Orléans (Prefecture, DDT, DREAL). This research focuses on non-structural preventive measures in terms of institutional communication pertaining to a multi-risk situation aimed at the major stakeholders with the prospect of enhancing the resilience of the territories.

Keywords : Multi-hazard perception, institutional preventive communication, flood and karst collapse, non-structural vulnerability, territorial resilience, Val d'Orléans.

INTRODUCTION

Représenté par le lit majeur de la Loire avec une superficie de 170 km² et environ 70 000 habitants appartenant à 31 communes, le val d'Orléans (France, région Centre-Val de Loire, département du Loiret), est concerné par deux aléas naturels en interactions (Gill & Malamud, 2014, 2016; Tilloy *et al.*, 2019) : inondation et effondrement de cavités naturelles.

Sous l'action de l'eau (précipitation, inondation), le sous-sol du VdO (Noury *et al.*, 2020) est le siège d'un lent mécanisme physico-chimique de dissolution du calcaire de Beauce (formation de 50 à 90 m d'épaisseur recouverte par des alluvions fluviales) aboutissant à la formation d'un réseau de cavités souterraines, moteur de l'aléa effondrement appelé aussi aléa karstique (Gutierrez & Binet, 2010).

« La principale zone située au-dessus de cavités souterraines naturelles se superpose en grande partie à la zone inondable du VdO, entre Saint-Benoît-sur-Loire et La Chapelle-Saint-Mesmin » (Dossier Départemental des Risques Majeurs du Loiret -DDRM, 2018).

Dans ce contexte de multi-aléa en interactions, le VdO est doté uniquement du Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRi, 2015). Depuis son instauration en 1995 par la loi et en tant qu'instrument central en matière de prévention des risques naturels, le PPRi a pour vocation de réduire les dommages lors des inondations à travers le contrôle du développement et de l'aménagement dans les zones exposées (Ledoux, 2006).

Réalisé par les services déconcentrés de l'Etat¹ sous la responsabilité du préfet et généralement à l'échelle spatiale du val inondable (Rasse, 2008), le PPRi reste une démarche fondée sur la logique du mono-aléa alors même que notre territoire d'étude, le VdO, est concerné par l'interaction entre deux aléas naturels pouvant avoir lieu d'une manière consécutive ou simultanée. La récente crise météorologique de 2016 a montré le rôle majeur des inondations (fortes précipitations) dans l'accélération de la cinétique des mouvements de terrain (Noury *et al.*, BRGM/RP-66462-FR, juin 2017) ce qui peut aggraver l'exposition (Gombert, 2015) de la population et des enjeux localisés (écoles, digues, etc.), entraver les procédures de gestion de crise (coupures de routes) et nuire à l'attractivité socio-économique du territoire.

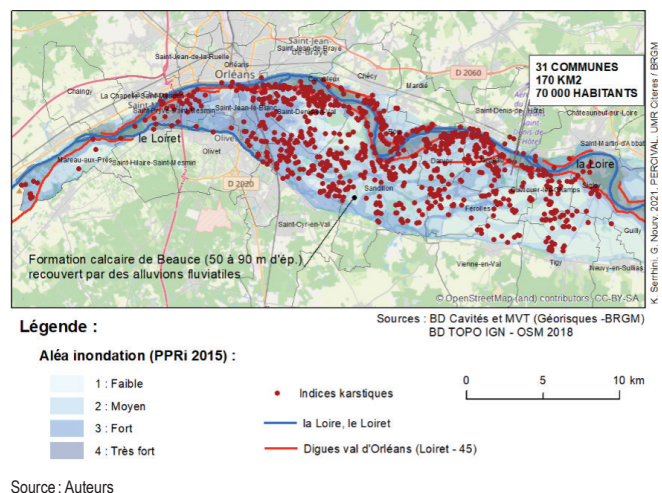
Le dispositif PPR est complété par un droit des citoyens à une information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis et les mesures de sauvegarde associées. Dans ce cadre, le préfet établit à l'échelle départementale le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) et transmet au maire de chaque commune les éléments d'information le concernant (MTES, 2013). Ce dernier, doit réaliser à son tour le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM) de sa commune qui a pour but d'informer la population sur les risques existants et les moyens de s'en protéger. Consultable en mairie, le DICRIM peut être diffusé (courrier, web) à l'ensemble de la population communale.

En tant que document principal d'information préventive, le DICRIM liste un à un (MTES, 2013) les risques présents sur une commune (dotée d'un PPR) et les comportements (consignes) à adopter par les citoyens en cas de menaces. Le citoyen grâce à cette information « peut reconsidérer le risque, le percevant non plus comme une fata-

lité mais bien comme une réalité pour laquelle il existe des moyens de se prémunir » (Douvinet *et al.*, 2013; Vinet, 2010).

Sachant que toutes les communes du VdO (31) présentent des cavités naturelles et/ou des effondrements sur leur territoire (base de données Cavités BD CAV de la plateforme Géorisques gérée par le BRGM; voir Figure 1), le contenu normalisé (Douvinet *et al.*, 2013) du DICRIM doit inclure une cartographie des cavités souterraines pour les communes exposées à ce risque.

Figure 1. Val d'Orléans : aléa inondation du PPRi (2015) et indices karstiques (915)



À titre d'exemple, le DICRIM de la commune d'Orléans (édition 2021)² présente le risque inondation sur quatre pages avec une cartographie des zones inondables (ZI) et la localisation des repères de crue. Le risque mouvement de terrain fait aussi l'objet d'une présentation en quatre pages mais ces dernières focalisent d'une part sur les carrières souterraines situées majoritairement au nord d'Orléans (situées hors ZI) et, d'autre part, sur le risque retrait-gonflement des argiles situé surtout au nord de la Loire (hors ZI aussi). Aucune cartographie d'effondrement et/ou de cavité naturelle situé en ZI ne figure dans le DICRIM d'Orléans.

Plus généralement, l'analyse de 23 DICRIM (accessibles depuis Internet) montre que seulement 5 communes (Bou, Olivet, Saint-Denis-de-l'Hôtel, Saint-Jean-le-Blanc et Sandillon) incluent dans leur DICRIM un inventaire cartographique des cavités avec souvent un plan viaire ou IGN³ en arrière-plan.

Seule la commune de Saint-Jean-le-Blanc, située entièrement en zone inondable, présente dans son DICRIM (précédente édition de 2007, 20 pages) une carte avec dix « élément connu » (effondrement, cavité, dépression...) au-dessus de l'aléa inondation (rouge pour l'aléa très fort, orange pour l'aléa fort, jaune pour l'aléa moyen et vert pour l'aléa faible). Dans sa dernière version (2019, 2 pages)⁴, le DICRIM de Saint-Jean-le-Blanc, devenu très synthétique, ne propose plus aucune cartographie.

Si tous les DICRIM du VdO présentent relativement bien le risque inondation en tant que risque naturel majeur et les mesures de protection en cas de crise, en revanche le risque karstique fait l'objet d'un traitement généralement secondaire voire d'aucun traitement.

¹ La Direction Des Territoires du Loiret (DDT 45) et la Direction Régionale de l'Aménagement, de l'Environnement et du Logement (DREAL Centre - val de Loire).

² <https://fr.calameo.com/read/00011393898f0ce2b5cc1> (consulté le 22/02/2023).

³ Institut Géographique National.

⁴ <https://fr.calameo.com/read/0058110143d928c099e19?page=1> (consulté le 22/02/2023).

Il s'agit là d'une insuffisance des politiques et prévention des risques naturels limitant le développement d'une « culture du risque » ce qui peut aggraver les dommages potentiels et mettre en danger des vies humaines.

C'est dans le cadre de ce contexte général que le projet de recherche « PERception des Risques d'effondrements liés aux Cavités et associés aux Inondations en Val de Loire - Percival »⁵ a vu le jour avec le soutien de la région Centre-Val de Loire associant trois structures de recherche, le BRGM d'Orléans, l'UMR CNRS CITERES de l'Université de Tours et l'IRSTEA. En effet, même si la presse régionale⁶, certains médias et des publications scientifiques (Gutierrez *et al.*, 2010) font régulièrement l'écho d'effondrements de cavités ou d'affaissements de terrain dans le VdO, le projet PERCIVAL fait l'hypothèse qu'en général la connaissance par les acteurs institutionnels de ce risque naturel et de ses interactions avec les inondations est faible.

Sachant d'une part que le VdO est le siège d'une situation de multi-risque effondrement-inondation et, d'autre part, la faible prise en compte du risque karstique, seul ou en interaction, dans les DICRIM des communes du site d'étude, l'objectif de cette contribution exploratoire est l'amélioration de la communication institutionnelle (DICRIM) sur le risque karstique en lien avec celui des inondations. Ainsi, les 31 communes (mairies) du VdO, la Direction Des Territoires (DDT) du Loiret, la Direction Régionale de l'Aménagement, de l'Environnement et du Logement (DREAL Centre - val de Loire) et la Préfecture du Loiret⁷ ont été sollicitées par questionnaire pour évaluer leur perception en termes de connaissance et de prise en compte de l'aléa karstique dans les DICRIM.

La gestion des risques naturels qui s'est appuyée historiquement sur les mesures structurelles (techniques), s'intéresse ici à la vulnérabilité et aux mesures non-structurelles (Fuchs *et al.*, 2009 ; Meyer *et al.*, 2012 ; Percival, 2018) en termes de communication institutionnelle en situation de multi-risque à destination des acteurs locaux.

Après cette introduction du cadre général de l'étude, l'article sera structuré en deux parties principales. Dans la première partie, l'état de l'art sera présenté selon deux axes. Tout d'abord, des travaux, peu nombreux, de cartographie de l'aléa effondrement prenant en compte l'aléa inondation seront précisés. Ensuite, un retour sur des travaux, plus nombreux, d'étude et d'analyse, en cartographie thématique, de la variable arrière-plan par rapport au message principal de la carte sera abordé. La seconde partie sera dédiée à la présentation du protocole d'enquête par questionnaire et de ses principaux résultats. Enfin, des recommandations et perspectives seront présentées en conclusion.

ÉTAT DE L'ART

En tant que nouveau domaine d'étude relativement récent, Gill & Malamud (2014, 2016) distinguent deux catégories d'approches multi-risque. Une première catégorie classique dite « **Multi-layer single hazard** » où le « croisement » entre aléas est la conséquence d'une superposition des différentes couches correspondantes. C'est le cas de la démarche mono-aléa du PPR (PPR inondation, PPR mouvement de terrain, etc.) et où la vulnérabilité et le risque global peuvent être sous-estimés « The interaction of different hazards can lead to an impact that is greater than the sum of the single hazard effects » (Tilloy *et al.*, 2019). La seconde catégorie, dite « **Multi-hazard** » croi-

sant différents aléas (aléa global), comprend trois familles de méthodes (Tilloy *et al.*, 2019) : stochastique (e.g. multi-variée), mécanique (e.g. modèle physique) et empirique (e.g. régression).

Dans le cadre de cette dernière famille de méthodes empiriques, deux publications relativement récentes ont porté sur des tentatives de cartographie de l'aléa karstique en prenant en compte le facteur « eau » (précipitation, inondation) sur le VdO.

Dore *et al.* (2011) ont présenté une démarche géostatistique de cartographie de l'aléa « effondrement karstique » dans le VdO selon trois critères : (1) les effondrements se situent non loin des digues (la répartition spatiale montre que le nombre d'effondrements est fortement corrélé avec la distance à la digue) ; (2) les effondrements sont groupés (les événements sont fortement corrélés entre eux en termes de proximité) et (3) les effondrements sont alignés sur des axes de drainage karstique (la distribution spatiale des effondrements est fortement corrélée par rapport aux drains ou réseaux karstiques).

Dans son rapport bibliographique de 2014, le Cerema⁸ décrit à son tour une démarche exploratoire d'étude de l'influence de certains paramètres sur la répartition des événements karstiques dans le VdO. A partir d'un ensemble de cinq critères, seulement deux critères ont été retenus (l'éloignement par rapport à la Loire et la concentration des événements karstiques) et les trois restants ont été écartés car peu ou pas pertinents (la hauteur de recouvrement alluvial, la présence de paléochenaux et la présence d'axes de drainages de la nappe des calcaires de Beauce).

Devant le peu de travaux scientifiques de cartographie de l'aléa karstique en lien avec la variable « eau » et l'absence d'une démarche nationale de cartographie multi-aléa, c'est l'approche simple de superposition des deux aléas karstique (« foreground » ou « figure » : premier-plan) et inondation (« background » ou « ground » : arrière-plan) qui est retenue ici pour suggérer le lien entre ces deux aléas lors de l'étude de la perception et des préférences cartographiques.

Le précédent bref état de l'art sur les approches multi-aléa, sera complété par une analyse de travaux plus nombreux portant sur la communication cartographie (figure/arrière-plan) notamment dans le cadre de l'outil DICRIM. Quels enseignements et positionnement peut-on en tirer pour la présente contribution ?

L'article de Douvinet *et al.* (2013) intitulé « L'information sur les risques majeurs à l'échelle communale », s'est attaché à réaliser un inventaire des DICRIM (318) des communes de quatre départements français (la Loire, le Loiret, la Loire-Atlantique et le Vaucluse) montrant un décalage avec les DICRIM recensés (113) par une base de données nationale dédiée (BD DICRIM). Ensuite, la comparaison du contenu (« le sommaire ») de 142 DICRIM (au format numérique) avec celui normalisé par la loi de 1987, montre une grande hétérogénéité dans le rendu final de ces documents. Enfin, l'étude de critères institutionnel (implication des acteurs), géographique (nombre de risques par commune) et démographique (population communale) ne permet pas de dégager clairement des facteurs explicatifs sur l'occurrence et le contenu du DICRIM. Non seulement « il n'y a finalement pas de données essentialistes qui conditionnent un territoire à développer une politique d'information préventive » mais aucune évaluation de la qualité du contenu informatif (efficacité du message textuel et cartographique) du DICRIM n'a été réalisée.

⁵ BRGM (resp. sc.), UMR CNRS CITERES, IRSTEA. (2018 à 2021) - PERception des Risques d'effondrements liés aux Cavités et associés aux Inondations en Val de Loire - PERCIVAL. APR IR 2017. <http://citeres.univ-tours.fr/spip.php?article2973> (consulté le 22/02/2023).

⁶ « Des centaines d'Orléanais vivent avec ce risque d'effondrement, sans parfois même le savoir. Une autre particularité du sous-sol orléanais est en effet de présenter des cavités karstiques... » https://www.larep.fr/orleans-45000/actualites/vivre-avec-le-risque-deffondrement_12394844/ (22/02/2023).

⁷ La DDT et la Préfecture (ministère de l'Intérieur) agissent à l'échelle départementale pendant que la DREAL CVL (ministère de la Transition Écologique et Solidaire et ministère de la Cohésion des Territoires) intervient à l'échelle régionale.

⁸ Le centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.

Ferrer & Tacnet (2018) se sont fixés pour objectif l'évaluation aussi de l'efficacité de la forme d'un échantillon de 30 DICRIM (région PACA, France) par une méthode de notation binaire (0, 1) de critères de fragilités (« failles ») tels que la pertinence de l'association du texte avec un arrière-plan, la typographie des paragraphes, la taille de la police du texte, la présence et la taille de photos, la typographie et la couleur des titres. Bref, il s'agit d'évaluer par des spécialistes (et non des utilisateurs finaux) l'ergonomie et l'attractivité visuelle du document mais pas nécessairement sa compréhension (intégration cognitive).

Chesneau (2009) propose un processus automatique d'amélioration, par un spécialiste (un cartographe), du contraste coloré de cartes de risques (cartes de différents phénomènes naturels, d'enjeux et de risques). Le constat de départ de ce processus est basé sur des effets de superposition et de chevauchement entre de nombreuses informations plus une forte densité graphique surtout sur le fond de la carte (représenté par un plan topographique de l'IGN avec des maisons, routes, courbes de niveau, toponymes). L'amélioration du contraste et donc de la lisibilité de la carte est le fruit d'un processus itératif basé sur une meilleure utilisation par l'expert de la variable visuelle couleur (Teinte Saturation Luminosité -TSL) au service des relations sémantiques de différence (teintes éloignées), d'association (teintes proches) et d'ordre. Ici, l'arrière-plan des cartes traitées sert d'élément de contexte au phénomène naturel placé au premier-plan (la figure), il n'y a aucun lien apparent d'interdépendance entre la figure et son arrière-plan.

Dans une publication plus récente et en partant d'une trentaine de DICRIM, Chesneau *et al.* (2014) font le constat que les cartes sont peu mobilisées pour présenter des données historiques et qu'elles sont généralement en format statique. Pour sensibiliser la population aux risques majeurs passés, ces auteurs ont proposé cette fois-ci une application cartographique interactive sur l'histoire des risques à Saint-Étienne (France) intégrant des documents et images d'archives plus une frise chronologique recensant les événements passés. Dans leur première carte interactive, ces auteurs ont utilisé un nombre élevé de signes ponctuels évocateurs qui se réfèrent aux pictogrammes définis par le Ministère de l'environnement (MEEM, 2016) pour représenter les événements passés à Saint-Etienne (pas moins de huit aléas naturels, climatiques et industriels). Cette première représentation s'apparente à une cartographie « **multi événement** » (multi aléa) survenus sur le site d'étude mais sans considération des interactions possibles entre ces événements. Enfin, les auteurs ont testé par enquête auprès de quelques sujets l'intérêt d'une visualisation de ces événements historiques sur des arrière-plans de la même époque. Avec des retours très partagés entre experts et non experts en risques, c'est finalement un arrière-plan plus classique (plan topographique de l'IGN ou OSM) qui accompagne les prototypes de cartographie interactive des événements passés.

À côté de ces études sur les DICRIM et d'une manière plus générale, la carte en tant qu'outil de communication a fait l'objet de nombreux travaux d'amélioration de sa conception pour un rendu final plus lisible et efficace.

Dans « Visual organization and thematic map communication », Dent (1972) met en avant la nécessité d'une **perception cartographique totale** intégrant le message principal à son arrière-plan: « The figure is the object of attention whereas the ground recedes in importance ». Ainsi, dans le cadre de la convention selon laquelle « darker symbols means more », McGranaghan (1989) a montré que l'arrière-plan (noir, gris et blanc) peut affecter l'ordre apparent des symboles de cartes choroplèthes (5 classes de symboles du bleu clair au bleu foncé) ce qui rend difficile à certains sujets une interprétation correcte de la carte testée.

Deeb *et al.*, (2015) se sont attachés à l'étude de l'influence d'arrière-plans (cartes choroplèthes et topographiques en blanc, dégra-

dé de gris, couleurs vives et froides) sur les préférences d'utilisateurs face à différentes typologies d'étiquettes (taille, forme, orientation et texture) correspondant au message principal de la carte. Cependant, les auteurs concluent que l'arrière-plan n'a pas d'impact significatif sur les préférences des utilisateurs face aux différentes options typographiques des étiquettes. Panchaud & Lorenz (2018) se sont intéressés aussi à l'évaluation de cartes selon différents arrière-plans dont un appelé « smart background » conçu en améliorant le contraste (couleurs) entre les différentes couches.

Dans leur revue de littérature Andre & Wickens (1995), soulignent des résultats de **dissociation** entre préférence et performance dans différents domaines (couleur, image 3D, interface d'affichage, etc.). Ainsi, des utilisateurs préfèrent souvent l'emploi de la couleur qui n'est pas toujours appropriée (données quantitatives, situation où le pouvoir attractif de la couleur n'est pas nécessaire) et des images en 3D pour des raisons esthétiques, etc.

En plus de l'importance de la conception de la carte – image (figure/arrière-plan), Carter (1988) ajoute que l'efficacité de la perception d'une carte dépend aussi de l'environnement de perception de celle-ci (temps et support de lecture) et des connaissances et motivations de l'utilisateur. Concernant ce dernier facteur, l'étude empirique (Fabrikant *et al.*, 2010) d'enregistrement des mouvements oculaires (30 étudiants non-initiés à la cartographie) face à des cartes météorologiques où le sens du vent (figure) est la conséquence d'un système de pression atmosphérique (arrière-plan), montre comment la saillance visuelle seule (contraste fort, couleur vive : conception de la carte) ou associée à une formation préalable des sujets (connaissances de l'utilisateur) influence la lecture cartographique impactant l'efficacité du message de la carte.

Dans le cadre de la Directive Inondation, Fuchs *et al.* (2009) puis Meyer *et al.* (2012) ont évalué différentes cartes européennes (aléa, dommage et risque inondation) par une analyse de l'attractivité visuelle des éléments constitutifs des cartes tests (enregistrements des mouvements oculaires de volontaires européens) complétée par une enquête cognitive sur la compréhension du message. Différents paramètres ont été testés : échelle spatiale, titre, position et densité de la légende, arrière-plan (plan topographique, ortho photographie en infrarouge), etc. Certaines recommandations de ces auteurs devraient être utilisées pour améliorer les cartes d'aléas contenues dans les DICRIM (Ferrer *et al.*, 2018).

La perception visuelle (Wood, 1993) de nature **ascendante** des cartes tests (« bottom-up » ou « (image) data-driven » processing) bénéficie de processus cognitifs et sémantiques **descendants** (« top-down » ou « concept-driven » processing) acquis après une initiation à la cartographie et à la météorologie (Fabrikant *et al.*, 2010) ou par la mise en œuvre d'une enquête cognitive (Fuchs *et al.*, 2009; Meyer *et al.*, 2012).

Du précédent état de l'art sur le DICRIM et la carte en tant qu'outils de communication, on peut en déduire deux principaux enseignements.

Tout d'abord, les quelques travaux sur les DICRIM ont concerné l'analyse de la forme et du contenu du DICRIM par rapport à celui imposé par la loi. En dehors du travail de cartographie « multi événement » historiques avec un arrière-plan classique (Chesneau *et al.*, 2014), aucune amélioration du message porté notamment par les carto – graphies du DICRIM n'est réalisée.

De plus ces études qui s'intéressent à la vulnérabilité non-structurale à travers l'évaluation de la perception des dispositifs institutionnels de communication préventive (DICRIM), ne considèrent pas le cas de territoires concernés par la conjonction de plusieurs aléas en interactions.

Ensuite, les travaux de type « figure/arrière-plan » ont généralement pour objectif de concevoir la « meilleure combinaison » possible entre le message principal et son arrière-plan pour satisfaire aux exigences d'une communication plus lisible et efficace. Ces travaux s'attachent le plus souvent à améliorer des aspects cartographiques particuliers (contraste, couleur, typographie, etc.) et ne s'intéressent pas aux interactions possibles entre la figure et son arrière-plan, ce qui est le cas dans cette publication.

L'objectif de cette contribution exploratoire est l'évaluation par les acteurs locaux du site d'étude de la perception en termes de connaissance et de prise en compte de l'aléa karstique (mouvement de terrain et cavités naturelles) en lien avec les inondations dans une perspective d'amélioration de la communication institutionnelle (DICRIM) sur ces aléas.

Ainsi, les 31 communes du VdO (mairies, services techniques municipaux) plus la Direction Des Territoires (DDT) du Loiret, la Direction Régionale de l'Aménagement, de l'Environnement et du Logement (DREAL) et la Préfecture du Loiret⁹ ont été interrogées à l'aide d'une enquête par questionnaire pour évaluer, à l'échelle communale, des cartes de l'aléa karstique (figure) selon quatre arrière-plans (aléa inondation, trame viaire schématique, OpenStreetMap et orthophoto en couleurs). Ces quatre combinaisons cartographiques ont été réalisées par simple superposition des couches spatiales sous un Système d'Information Géographique (« multi-layer single hazard »).

Si l'aléa inondation est bien connu et documenté (crues historiques de la Loire du 19^e siècle), en revanche quel est le niveau de connaissance de l'aléa karstique par les acteurs majeurs et quelles sont les préférences de ces derniers en matière de cartographie « multi-aléa » ?

L'hypothèse de départ est basée sur une faible connaissance par les acteurs du phénomène d'effondrement se matérialisant par une faible (voire une absence de) prise en compte de l'aléa karstique seul ou en lien avec les inondations dans la communication institutionnelle (DICRIM) des communes du VdO.

ENQUÊTE PAR QUESTIONNAIRE, RÉSULTATS ET ANALYSES

Structure du questionnaire

La seconde partie de cet article sera consacrée à la présentation du protocole d'enquête (la structure du questionnaire et les sujets tests) et l'analyse des résultats obtenus. Ces derniers feront l'objets d'analyses statistiques complétées par les commentaires et appréciations des répondants.

Le questionnaire développé sollicite les acteurs interrogés selon trois parties: (1) la perception et la prise en compte du risque effondrement, (2) l'évaluation globale du DICRIM en tant qu'outil de communication à destination de la population et (3) l'évaluation de cartes communales d'aléa karstique avec différents arrière-plans.

Après une brève description (1 page) du contexte général de l'étude et des objectifs du questionnaire, la première partie de ce dernier (2 pages) permet tout d'abord au répondant (acteur institutionnel) de préciser les conséquences éventuelles des effondrements survenus récemment notamment lors de la crise météorologique de 2016 (Noury et al., BRGM/RP-66462-FR, Juin 2017) sur les principaux enjeux localisés de la commune (écoles, entreprises). Ensuite, le répondant est interrogé à la fois sur son propre niveau de perception

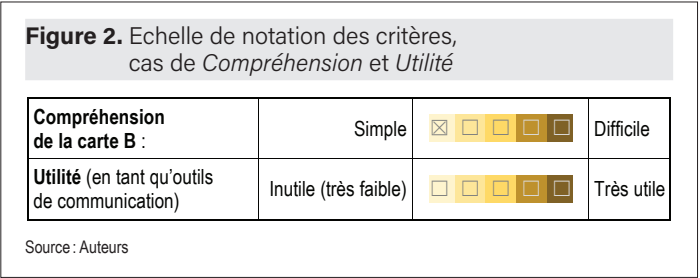
et de prise en compte de ce risque et sur celui de la population de sa commune.

La deuxième partie du questionnaire (2 pages) s'intéresse à une évaluation qualitative du DICRIM en termes de compréhension, d'utilité, de précision, d'accessibilité, de rythme et de format de mise à jour.

La troisième partie expose dans un ordre variable quatre modèles de cartes des mouvements de terrain et cavités naturelles par commune du VdO (8 pages en vis-à-vis) où seul l'arrière-plan est différent: aléa inondation (PPRi 2015), schématique (trame viaire), OpenStreetMap (OSM) et ortho-photographie en couleurs (voir Figure A1). Le répondant doit préciser et justifier (1 page) ses préférences parmi les 4 cartes qui ont été évaluées préalablement.

Ainsi, chaque carte est évaluée en deux étapes:

- une première question de contrôle teste l'aptitude de lecture et de compréhension de la carte par le sujet en l'interrogeant sur le nombre d'effondrements recensés dans sa commune. La réponse à cette question figure dans la légende et peut être vérifiée directement par comptage sur la carte.
- la seconde question invite le répondant à évaluer quatre critères à savoir la (1) Compréhension de la carte, (2) la Densité d'information, (3) l'Aspect et (4) l'Utilité de la carte selon une échelle allant de 1 (très faible) à 5 (très fort).



L'évaluation de ces 4 critères fait appel à une même échelle de notation allant de 1 à 5 (échelle de Likert). Sachant que 2.5 est la note moyenne et 3 est la médiane, la note (réponse) 1 est qualifiée de Très Faible, 2 de Faible, 3 de Moyenne, 4 Fort et 5 Très Fort. L'appréciation de la Compréhension est inverse de celle des 3 autres critères. À titre d'exemple, pour Compréhension, la note 1 (sur 5) signifie que la carte est simple à comprendre alors que pour Utilité, elle est très faible ou inutile (voir Figure 2 ci-dessus).

Enfin, la dernière page du questionnaire recueille d'une manière anonyme des informations générales sur chaque répondant (statut, niveau d'études, etc.).

Les réponses (voir Tableau A1) aux quatre cartes feront l'objet d'analyses statistiques univariées (coefficient de variation, boîtes à moustaches), bivariées (corrélation de Spearman) puis les préférences cartographiques des répondants seront discutées.

Echantillon des répondants (23 + 3)

Le questionnaire a été adressé aux services municipaux des 31 communes du VdO en charge de l'environnement, des risques naturels, de l'aménagement et/ou de l'urbanisme et aux principaux acteurs majeurs (Préfecture du Loiret, DREAL CVL et DDT du Loiret) concernés à différents degrés par cette thématique. Les 3 acteurs majeurs situés tous sur le territoire de la commune d'Orléans ont évalué le questionnaire relatif à la ville d'Orléans.

⁹ La DDT et la Préfecture (ministère de l'Intérieur) agissent à l'échelle départementale pendant que la DREAL (ministère de la Transition Écologique et Solidaire et ministère de la Cohésion des Territoires) intervient à l'échelle régionale.

Parmi les 23 répondants communaux, 13 sont des élus dont 2 sont aussi membres des services techniques municipaux. 13 sont membres des services techniques dont 3 sont en charge¹⁰ des risques naturels. Certains répondants ont donc différentes responsabilités (4 sont à la fois des élus et membres des services techniques). Ainsi, le taux de réponse des communes est de **74 %** (23 mairies sur 31) plus les réponses des 3 acteurs majeurs (Préfecture du Loiret, DREAL CVL et DDT du Loiret) impliqués dans la prévention et gestion des risques naturels.

Le niveau d'études de ses répondants est très hétérogène allant d'un niveau Master (5 répondants) à un niveau de technicien ou technicien supérieur (8) en passant par un niveau intermédiaire de licence (1). Certains répondants (3) exercent d'autres fonctions (professeur, sapeur-pompier, gérant d'entreprise) et d'autre encore sans formation particulière (1). Enfin, d'autres réponses sont imprécises (3) ou inexistantes (2).

Analyses des résultats et préférences cartographiques

La Figure 3 ci-dessous regroupe pour les 23 sujets municipaux les boîtes à moustaches des 4 critères (*Compréhension*, *Densité*, *Aspect* et *Utilité*) pour la cartographie de l'aléa karstique avec l'aléa inondation en arrière-plan. Cette figure montre que ces 4 boîtes à moustaches (en vert) ont des dimensions très variables.

La boîte à moustaches du critère *Compréhension*, comprise entre Q1=1 et Q3=3.5 (intervalle interquartile), est la plus étendue témoignant de la plus forte hétérogénéité des réponses pour 50 % des

communes. Le coefficient de variation (CV) de ce critère est le plus élevé (55%). Cette hétérogénéité (boxplot et CV) souligne une grande diversité dans l'appréciation de la carte-AI. Autrement dit, la présentation des effondrements et cavités naturelles avec l'aléa inondation (PPRI 2015) communal comme arrière-plan génère des appréciations très variables.

Cette hétérogénéité est synonyme d'une certaine divergence dans l'évaluation de ce critère :

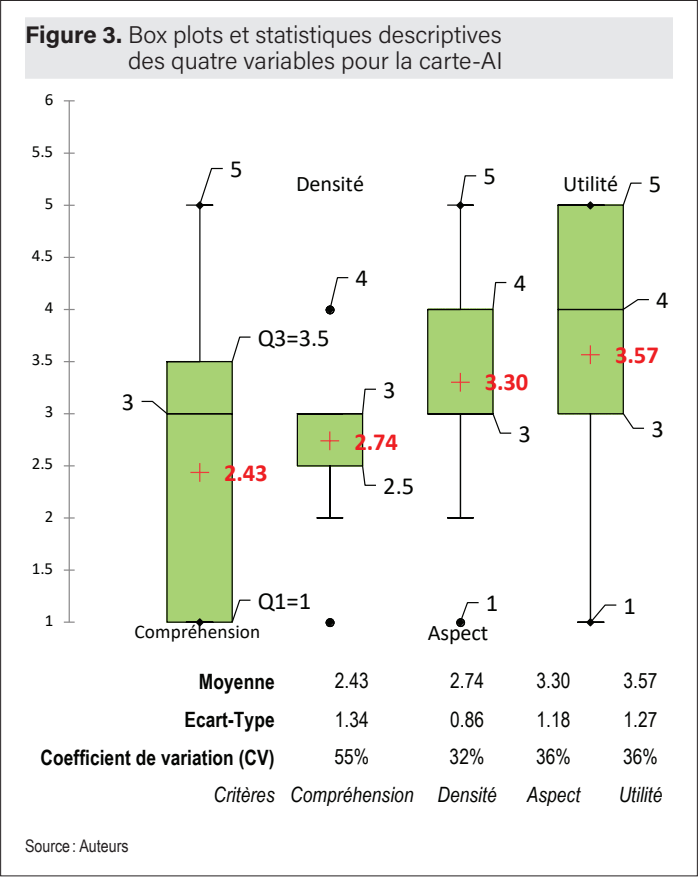
« Carte plus difficile à comprendre pour les personnes les plus novices (commune de Férolles) » ; « La densité des couleurs ne permet pas une lecture évidente (Saint-Jean-Le-Blanc) » ou encore « La carte ne démontre pas le lien entre effondrements et inondations : peu d'utilité (DDT du Loiret) ».

En revanche, la boîte du critère *Densité*, comprise entre Q1=2.5 et Q3=3, est la plus petite indiquant la plus forte homogénéité des réponses enregistrées pour 50 % des communes. 14 communes (61 % des répondants) ont attribué un score égal à 3 à ce critère, score à peine supérieur à la moyenne 2.74, suggérant une certaine difficulté à évaluer ce critère.

Les deux derniers critères, *Aspect* et *Utilité*, présentent des boîtes intermédiaires entre les deux précédentes.

Avec un intervalle interquartile égale à 2 (Q1=3 et Q3=5), *Utilité* présente la deuxième plus forte hétérogénéité des réponses pour 50 % des communes après celle de *Compréhension*. Au même moment, ce critère enregistre la note moyenne la plus élevée (3.57) :

« Permet d'expliquer le lien entre Inondation et MVT (Orléans) » ou encore « ... Cette carte permet d'un « simple coup d'œil » d'obtenir des informations sur les différentes zones d'aléa inondation et les effondrements qui y ont été constatés : point positif (DREAL CVL) ... ».



Après l'exemple de la boîte à moustaches ci-dessus (carte-AI) et d'une manière plus globale, le graphique (Figure 4 ci-dessous) représente, pour les 23 sujets municipaux, les moyennes des 4 critères (*Compréhension*, *Densité*, *Aspect* et *Utilité*) pour les 4 arrière-plans (AI, Schématique, OSM et Orthophoto).

Au regard simultanément des deux critères *Aspect* et *Utilité*, la Figure 4 montre que les deux cartes OSM et Orthophoto dominent les deux autres (AI et Schématique).

Si l'*Utilité* (3.57) de la carte-AI est aussi forte que celles d'OSM (3.65) et d'Orthophoto (3.52), en revanche la carte-AI affiche une moyenne (2.43) de *Compréhension* la plus élevée¹¹ et la seconde plus forte *Densité* (2.74). Associant les deux aléas naturels effondrement et inondation, la carte-AI est considérée comme étant la plus difficile à comprendre (plus la note ou la moyenne de *Compréhension* est élevée plus la carte est considérée comme difficile et inversement).

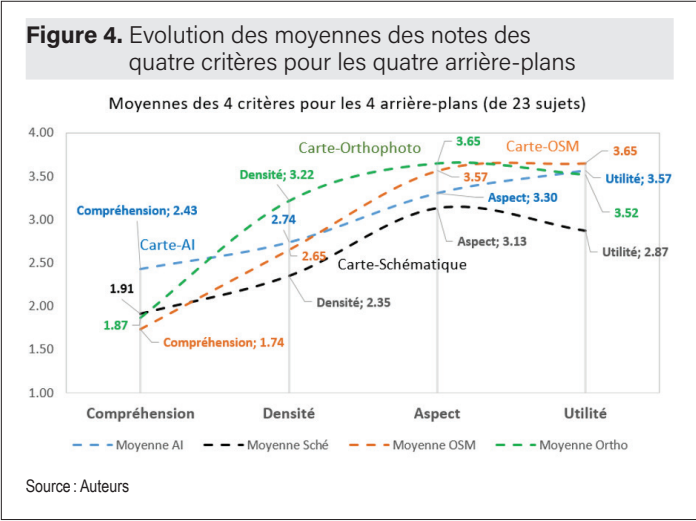
Même si *Compréhension* et *Densité* bénéficient d'une évaluation favorable (respectivement 1.91 et 2.35), les faibles moyennes des cri-

¹⁰ Les 3 répondants en charges des risques naturels correspondent aux communes d'Orléans (chef de projet risques majeurs), Olivet (ingénieur environnement) et La Chapelle-Saint-Mesmin (5 années au Bureau de la Protection et la Défense Civile de la Préfecture du Loiret).

¹¹ Comme il s'agit de comparer des séries quantitatives de deux échantillons appariés dont l'effectif total est inférieur à 30 individus, c'est le test statistique non paramétrique de Wilcoxon qui s'impose (risque d'erreur de 5%). (W(2.43) > (1.91), p(0.028) < 0.05) : les 2 échantillons (des deux moyennes) sont différents

ères *Aspect*¹² et *Utilité*¹³ indiquent que la *carte-Schématique* est la moins plébiscitée.

Malgré une forte *Densité*¹⁴ la carte Orthophoto affiche une *Compréhension* favorable (1.87) de même niveau que les deux cartes Schématique¹⁵ et OSM¹⁶. Les deux critères *Densité* et *Compréhension* sont quasi décorrélés ($r = -0.080$; Figure 4 ci-dessous) pour la carte Orthophoto. Ainsi, malgré une densité d'information maximale (3.22), l'arrière-plan orthophoto bénéficie d'une bonne évaluation de *Compréhension* (1.87) qui peut être expliquée par un environnement visuel proche du réel vécu et/ou perçu par les utilisateurs. En effet, l'arrière-plan Orthophoto montre les caractéristiques environnementales (forêts, étendues d'eau, etc.) et urbanistiques (bâtiments, réseaux, etc.) facilitant l'appropriation et la « compréhension » de la carte Orthophoto.



Après les analyses de la boîte à moustaches pour la carte-AI et des notes moyennes des quatre arrière-plans, la dernière analyse statistique correspond à l'étude de la relation deux-à-deux des critères de *Compréhension*, *Densité*, *Aspect* et *Utilité* par des corrélations de **Spearman**¹⁷ (Figure 5 ci-dessous).

Ainsi, le graphe de corrélations (Figure 5) représente uniquement les coefficients de Spearman significatifs (dont la p-valeur est inférieure au seuil d'erreur de 5 %) des couples de critères *Aspect-Utilité* pour les quatre cartes, *Compréhension-Utilité* pour la carte Orthophoto et *Densité-Aspect* pour les deux cartes AI et OSM.

Aspect et *Utilité* sont fortement et positivement liés pour les quatre cartes (0.515 AI, 0.657 Schématique, 0.677 OSM et 0.763 Orthophoto). Cette évolution positive est de plus en plus forte en passant de la carte AI à Orthophoto (26 %, 43 %, 45 % et 58 % respectivement). De plus, on a vu (Figure 4) que les deux cartes OSM et Orthophoto dominent les deux autres (AI et Schématique) au regard des moyennes des deux critères *Aspect* et *Utilité*. Ces deux derniers critères sont déterminants dans les préférences cartographiques des répondants largement en faveur des deux cartes OSM et Orthophoto (voir plus loin).

¹² ($W(3.13) < (3.57)$, $p(0.042) < 0.05$)

¹³ ($W(2.87) < (3.52)$, $p(0.041) < 0.05$)

¹⁴ ($W(3.22) > (2.74)$, $p(0.027) < 0.05$)

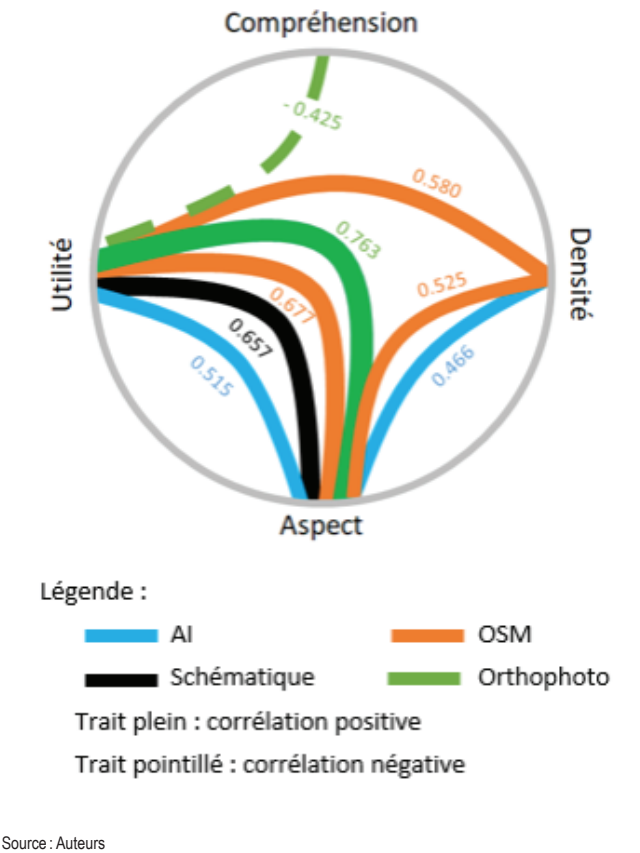
¹⁵ ($W(1.87) < (1.74)$, $p(0.655) > 0.05$) : les 2 échantillons (des deux moyennes) suivent la même loi de distribution

¹⁶ ($W(1.87) < (1.91)$, $p(0.923) > 0.05$)

¹⁷ Comme il s'agit de l'étude de la relation (corrélation) entre les critères deux-à-deux (variables ordinales appariées) dont l'effectif est inférieur à 50, c'est le test statistique non paramétrique de **Spearman** qui s'impose (risque d'erreur de 5 %).

¹⁸ Rappelons que, si l'évaluation de ces 4 critères fait appel à une même échelle de notation allant de 1 à 5, en revanche l'appréciation de *Compréhension* est inverse de celle des 3 autres critères. À titre d'exemple, pour *Compréhension*, la note 1 (sur 5) signifie que la carte est facile à comprendre alors que pour *Utilité*, elle est inutile.

Figure 5. Coefficients (r_s) de corrélation significatifs de Spearman (p -valeur $< 5\%$) des critères deux-à-deux pour les quatre cartes (largeur du trait proportionnelle à r_s)



Compréhension (considérée comme une variable dépendante) et *Utilité* (variable indépendante ou explicative) de la carte Orthophoto présentent une corrélation négative (-0.425). Dans ce cas, *Utilité* évolue en sens inverse de *Compréhension*. Cette évolution inverse s'explique par le système de notation de *Compréhension* précisé ci-dessus¹⁸. La moyenne faible (favorable) de *Compréhension* (1.87) et élevée pour *Utilité* (3.52) de la carte Orthophoto (Figure 4) confirment cette explication.

Utilité (variable dépendante) et *Densité* (explicative) sont corrélés positivement pour la seule carte OSM (0.580). Le potentiel explicatif de *Utilité* par *Densité* s'élève à 33 % pour la carte OSM. C'est pour cette dernière que *Densité* réalise les plus « fortes » corrélations avec les deux autres critères (*Utilité* et *Aspect*). Ainsi, la *densité* d'information affichée par la carte OSM semble constituer le meilleur compromis parmi les 4 autres alternatives proposées.

Aspect (variable dépendante) et *Densité* (explicative) entretiennent une corrélation positive pour les deux cartes AI et OSM (0.466 et 0.525 respectivement). Cependant, le potentiel explicatif du critère *Aspect* par celui de *Densité* reste faible (respectivement 22 % et 27 %).

Enfin, il n'y a aucune corrélation significative entre *Compréhension* d'une part, *Densité* ou *Aspect* d'autre part pour les quatre cartes. Rappelons que la *Compréhension* est corrélée positivement (et significativement) uniquement avec l'*Utilité* de la carte Orthophoto.

Des analyses statistiques précédentes, on peut en déduire les principaux résultats suivants :

- Avec les plus petits intervalle interquartile et CV, le critère *Densité* montre une homogénéité de notation témoignant d'une difficulté d'appréciation.
- Les critères *Utilité* et *Aspect* entretiennent les plus fortes corrélations (jusqu'à 58 % pour Orthophoto). Ces deux critères sont déterminants pour les préférences cartographiques des communes.
- Le critère *Compréhension* fait l'objet d'une hétérogénéité d'appréciation et ne présente qu'une seule corrélation (négative) avec *Utilité* d'Orthophoto. Ce critère aura un rôle limité dans les préférences cartographiques.
- Les cartes OSM et Orthophoto dominent les deux autres au regard des deux critères *Aspect* et *Utilité*.

Avant de conclure cet article, la dernière étape correspond à la discussion des préférences cartographiques des sujets.

La dernière question de la troisième partie du questionnaire invite les répondants à préciser leurs préférences entre les quatre cartes AI, Schématique, OSM et Orthophoto. Rappelons que l'ordre des quatre cartes varie d'une commune (d'un questionnaire) à une autre (à un autre).

Le Tableau 1 ci-dessous montre que 52 % des communes préfèrent la carte Orthophoto et 35 % la carte OSM. Notons que trois communes (sur 23) ont choisi simultanément deux cartes sur les quatre proposées. Sur ces trois communes, deux ont sélectionné à la fois les cartes OSM et Orthophoto.

Tableau 1. Préférences cartographiques des communes (23) et acteurs majeurs (3)

Acteurs majeurs et communaux	Préférences
Préfecture du Loiret, DDT du Loiret	carte-OSM
DREAL Centre-Val de Loire	carte-AI
4 communes (17%) : Bou, Neuvy-en-Sullias et Saint-Denis-de-l'Hôtel, Mardié	carte-AI
8 communes (35%) : Chaingy, Châteauneuf-sur-Loire, Jargeau, La Chapelle-Saint-Mesmin, Orléans, Saint-Hilaire-Saint-Mesmin, Saint-Jean-de-Braye, Vienne-en-Val	carte-OSM
12 communes (52%) : Châteauneuf-sur-Loire, Chécy, Combleux, Darvoy, Férolles, La Chapelle-Saint-Mesmin, Mareau-aux-Prés, Olivet, Saint-Jean-de-La-Ruelle, Sandillon, Saint-Jean-Le-Blanc, Saint-Cyr-en-Val	carte-Orthophoto
2 communes (8%) : Chaingy, Saint-Denis-en-Val	carte-Schématique

Source : Auteurs

Ainsi, plus de 78 % des communes (18) préfèrent la carte Orthophoto et/ou OSM, résultat qui nous éloigne de l'objectif de l'étude (et du projet PERCIVAL) qui est d'initier une cartographie de l'aléa karstique (figure) associé à l'aléa inondation (arrière-plan). Certaines communes expliquent ces préférences par :

« Carte en couleur qui présente une bonne perception de la Ville, la Forêt et la Loire (Châteauneuf-sur-Loire) » ou encore par une « Bonne visualisation des sites d'effondrement (Férolles) ».

Ce qui rejoint :

« Specialists in risk mapping focus their attention on the content of the map and less into the display while laypersons spent more time in random acquisition of the data and had a certain interest into colored information. (Fuchs et al., 2009) ».

Malgré les interactions entre les deux aléas naturels effondrement et inondation, seulement un ensemble de quatre (17%) communes plus

seul acteur majeur (DREAL CVL) a préféré la carte de l'aléa karstique avec l'aléa inondation en arrière-plan.

Le choix de la carte AI par la DREAL CVL a été motivé par le fait qu'elle

« permet d'un « simple coup d'œil » d'obtenir des informations sur les différentes zones d'aléa inondation et les effondrements qui y ont été constatés : point positif » et par « l'objectif de croiser les informations sur le risque inondation et le risque cavités ».

Ainsi, le but de ce travail rejoint les préférences de seulement un acteur majeur (DREAL CVL) plus quatre communes (Bou, Neuvy-en-Sullias, Saint-Denis-de-l'Hôtel et Mardié).

Parmi ces dernières communes trois (Bou, Saint-Denis-de-l'Hôtel et Mardié) ont été déclarées lors de la crise météorologique de 2016 en état de catastrophe naturelle à la fois pour inondation et mouvements de terrain (Noury et al., BRGM/RP-66462-FR, 2017). Saint-Denis-de-l'Hôtel a précisé dans le questionnaire que son territoire a été touché par des effondrements entre 2007 et 2016. Mardié a précisé aussi l'apparition de quatre effondrements en 2016 et l'inondation d'environ 80 maisons. Ainsi, le choix de l'aléa inondation comme arrière-plan témoigne d'une certaine prise de conscience du risque effondrement par ces quelques communes (4 sur 23) et la volonté de le considérer.

En revanche, d'autres communes du site d'étude, ont été déclarées aussi en état de catastrophe naturelle en 2016 dont Chécy qui préfère la carte Orthophoto et Gidy n'a pas répondu à notre questionnaire. Ce qui témoigne d'un faible niveau de connaissance et de prise en compte de l'aléa effondrement et de ses interactions avec « l'eau » (précipitation, inondation).

Contrairement à la DREAL CVL, la Préfecture et la DDT du Loiret préfèrent la carte OSM.

Il est intéressant de constater que la DREAL qui préfère la carte AI est chargée notamment de la prévision et la prévention des risques naturels. En revanche, la Préfecture et la DDT du Loiret, préférant la carte OSM qui met plus en avant le réseau routier, sont chargées respectivement de la sécurité civile (gestion de crise) et des transports (éducation et sécurité routières). Ainsi, les choix de ces acteurs majeurs paraissent cohérents avec certaines de leurs missions, la prise en compte de l'environnement par la DREAL CVL, la gestion des transports et du réseau routier par la Préfecture et la DDT du Loiret.

Les précédents résultats montrent l'importance d'une cartographie proche du réel vécu et/ou perçu par les utilisateurs. Un arrière-plan de type Orthophoto ou OSM montre les caractéristiques environnementales (forêts, espaces vert, lacs, etc.) et urbanistiques (bâti-

ments, infrastructures, etc.) facilitant le repérage et l'appropriation de la carte par le lecteur.

Ce résultat rejoint ceux de travaux récents dont celui de Hegarty *et al.* (2009) qui avait notamment pour objectif : « We assessed whether users prefer certain display enhancements (e.g., animation) over others (e.g., 3D) and whether they think that more enhanced displays are always better » et qui finalement montre aussi que « The results of this study are consistent with earlier studies showing that people prefer realistic displays even when their performance is impaired by these displays ». D'où l'idée de « naïve cartography: desire for realism in our intuition results and a slowing with realism in the performance results ».

Les répondants au questionnaire indiquent aussi que la population est beaucoup moins préoccupée par ce risque de mouvement de terrain que par les inondations. Des événements telle que la crise météorologique de mai-juin 2016 constitue une **opportunité** pour une meilleure prise en compte des interactions entre les deux phénomènes naturels par les acteurs locaux (vers un DICRIM multi-risque) dans l'intérêt à terme des populations communales.

CONCLUSION

Cette contribution exploratoire focalise sur la nécessité de prendre en compte le risque effondrement de cavités naturelles en lien avec l'aléa inondation à travers : (1) l'analyse de la perception de l'aléa karstique dépassant l'approche classique opposant déni et acceptation du risque (Dournel *et al.*, 2012) et (2) l'amélioration du contenu du DICRIM en tant qu'outil de communication institutionnelle par l'intégration des besoins et préférences (Meyer *et al.*, 2012) des acteurs locaux en matière de cartographie de ces risques naturels.

Avec des questions semi-ouvertes et d'autres ouvertes, le questionnaire déployé s'est attaché dans une première partie à mettre la lumière à la fois sur les enjeux majeurs localisés (population, écoles, entreprises, infrastructures, etc.) et l'ampleur des effondrements communaux notamment lors de la crise météo de 2016. Ensuite, les répondants devaient évaluer leur niveau de perception du risque effondrement (perception directe) et le degré de préoccupation de la population par ce dernier (perception indirecte).

Dans sa seconde partie, le questionnaire s'est attaché tout d'abord à évaluer la qualité du DICRIM en termes de compréhension, d'utilité et de précision. Ensuite, le répondant est invité à évaluer quatre propositions de cartographie des effondrements de cavités naturelles (désordres communaux) recensés dans la base de données des cavités naturelles (BD CAV) de la plateforme Géorisques (BRGM, Cerema). Cette BD CAV est essentielle pour la connaissance de l'aléa karstique. Ces alternatives cartographiques se distinguent seulement par un arrière-plan différent (zones inondables du PPRI, trame viaire, OpenStreetMap ou Orthophoto).

L'évaluation de ces variantes cartographiques commence par une question de contrôle sur la lecture et la compréhension de la carte.

L'analyse préliminaire des questionnaires montre que la majorité des répondants préfèrent l'Orthophoto ou OSM comme arrière-plan. Les répondants expliquent ces préférences d'abord par la recherche d'une communication adaptée et large et ensuite par une carte plus facile à comprendre. Ce qui rejoint l'idée de « naïve cartography » (Hegarty *et al.*, 2009).

Ainsi, un DICRIM type pourrait présenter une carte communale avec une superposition des deux phénomènes inondation et effondrement. Synthétique, cette carte devrait être visuellement attractive (Chesneau, 2009) et cognitivement reconnaissable (limites communales, principaux axes routiers) par le citoyen (Serrhini *et al.*, 2008,

2016). Par ailleurs, des répondants ont suggéré les principales améliorations suivantes :

1. sur le volet carto - graphique : accentuer les principaux axes de circulation, le trait de limite de la zone inondable, de jouer sur le centrage (emplacement de la commune par rapport à son environnement), hiérarchisation des effondrements (taille, origine). Au niveau de l'arrière-plan, Saint-Hilaire-Saint-Mesmin propose de faire apparaître les réseaux routiers et les parcelles cadastrales.
2. sur le volet règlementaire : se conformer strictement aux documents officiels (PPRI 2015, arrêté autorisant le système d'endiguement du VdO du 22 octobre 2019) pour la représentation des digues et de l'aléa inondation notamment des cours d'eau secondaires (Dhy, le Canal, le Cens).

La gestion des risques naturels (inondation, séisme, etc.) qui s'est appuyée historiquement sur les mesures structurelles (digues, barrages, comblement de cavités, etc.), s'intéresse ici aux mesures non-structurelles en termes de communication institutionnelle (DICRIM) en situation de multi-risque à destination des acteurs locaux.

L'ensemble des outils institutionnels de prévention et gestion des risques naturels (DDRM, PPR, PCS, Plan ORSEC, DICRIM) instrumentent le rapport de force (Goutx, 2012) entre les représentants du gouvernement aux échelles départementale et régionale (DREAL, DDT, Préfecture) et les acteurs locaux. Cette organisation hiérarchique verticale qui demeure malgré les différents actes de décentralisation, est en soi un facteur limitant la résilience et le développement d'une véritable « culture de risque » locale.

En plus des difficultés inhérentes à cette organisation institutionnelle verticale, les deux autres principales limites concernent d'une part la relative faiblesse de l'échantillon des répondants composé de seulement 23 communes (sur les 31 du site d'étude) plus 3 acteurs majeurs et, d'autre part, la réalisation de cette enquête exclusivement par courriers électronique et postal.

Enfin, en termes de perspectives, le questionnaire nécessite d'être mieux préparé en associant en amont certains acteurs (réfèrent sur les risques naturels, acteur majeur en charge de l'environnement) au niveau de la conception même des cartes tests multi-aléa. Ces dernières seront évaluées ensuite par un panel large d'acteurs locaux et de citoyens volontaires (terrain d'étude plus large). Vers quel.s modèle.s de cartographie multi-aléa effondrement et inondation ?

RÉFÉRENCES

- Addinsoft, (2022). XLSTAT statistical and data analysis solution. Paris, France. <https://www.xlstat.com/fr>
- Andre A. D. & Wickens Ch. D., (1995). When users want what's not best for them, *Ergonomics in design*, 10-14. <https://doi.org/10.1177/106480469500300403>
- Carter J. R., (1988). The map viewing environment: a significant factor in cartographic design, *The American Cartographer*, 15:4, 379-385. <https://doi.org/10.1559/152304088783886810>
- Chesneau E., (2009). Un processus automatique d'amélioration des contrastes colorés sur les cartes de risques, *Mappemonde*, n° 96 (4).
- Chesneau E., Clément A., Lieghio E., (2014). Cartographie interactive historique pour informer sur les risques : application avec le DICRIM de la Ville de Saint-Étienne, *Développement durable et territoires*, Vol. 5, n°3. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.10597>
- Deeb R., Ooms K., Van Eetvelde V., De Maeyer Ph., (2015). Towards a Deeper Understanding of Cartographic Text Visualisation: Assessment of User Preferences and Colour Influence, *The Cartographic*

Journal, 52:4, 325-335. <https://doi.org/10.1080/00087041.2015.1108660>

Dent D., (1972). Visual organisation and thematic map communication, *Annals of The Association of American Geographers*, vol.62, p.79-93. DOI:10.1111/J.1467-8306.1972.TB00845.X

Dournel S., Servain-Courant S., Sajaloli B., Yengué J-L, Andrieu D., (2012). Le risque d'inondation, moteur de nouveaux paysages urbains ? Le cas des villes de Loire moyenne (Orléans, Tours). Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques, 135-8, 35-50.

Douvinet J., Pallares R., Genre-Grandpierre C., Gralepois M., Rode S., Servain S., (2013). L'information sur les risques majeurs à l'échelle communale. Occurrence et facteurs explicatifs du DICRIM, un outil préventif sous-utilisé, *Cybergeo: European Journal of Geography*. Espace, Société, Territoire 658. p. 24. ISSN: 1278-3366. DOI: 10.4000/cybergeo.26112

Fabrikant S. I., Hespanha S. R., Hegarty M., (2010). Cognitively inspired and perceptually salient graphic displays for efficient spatial inference making, *Annals of the Association of American Geographers*, (2010), Vol. 100, 13-29. <https://doi.org/10.1080/00045600903362378>

Ferrer L., Curt C. & Tacnet J.-M., (2018). Analysis of a risk prevention document using dependability techniques: a first step towards an effectiveness model, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 1201-1221.

Fuchs S., Spachinger K., Dorner W., Rochman J. and Serrhini K., (2009). Evaluating cartographic design in flood risk mapping, *Environmental Hazards*, 8, 52-70, doi:10.3763/ehaz.2009.0007.

Gill J. C. & Malamud B. D., (2016). Hazard interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies, *Earth System Dynamics*, 7(3), 659-679.

Gill J. C. & Malamud B. D., 2014. Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards, *Reviews of Geophysics*, 52(4), 680-722.

Gombert P., Orsat J., Mathon D., Alboresha R., Al Heib M., & Deck O., (2015). Rôle des effondrements karstiques sur les désordres survenus sur les digues de Loire dans le val d'Orléans (France), *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(1), 125-140.

Goutx D., (2012). Rôle des individus dans la prévention des risques d'inondation et la gestion de crise. 23^e Journées Scientifiques de l'Environnement - Risques environnementaux: détecter, comprendre, s'adapter. Créteil, France.

Gutierrez A. & Binet S., (2010). La Loire souterraine: circulations karstiques dans le Val d'Orléans, *Geosciences*, 2010, 12, 42-53.

Hegarty M., Smallman H.S., Stull A.T., Canham M. S., (2009). Naïve cartography: how intuitions about display configuration can hurt performance, *Cartographica*. 171-186.

Ledoux B., (2006). La gestion du risque inondation. Editions Lavoisier, Paris, 770 p.

McGranaghan M., (1989). Ordering Choropleth Map Symbols: The Effect of Background, *The American Cartographer*, 16:4, 279-285.

Meyer V., Kuhlicke C., Luther J., Fuchs S., Priest S., Dorner W., Serrhini K., Pardoe J., McCarthy S., Seidel J., Palka G., Unnerstall H., Viavattene C., and Scheuer S., (2012). Recommendations for the user-specific enhancement of flood maps, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1701-1716, 2012-a. <https://nhess.copernicus.org/articles/12/1701/2012/>

Ministère de la Transition Écologique et Solidaire MTES, 2013. Maquette nationale du DDRM, du TIM et du DICRIM. <https://side.developpement-durable.gouv.fr/NORM/digital-viewer/c-225832> (consulté le 22/02/2023)

Ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer MEEM, (2016). Prévention des risques majeurs, la démarche française. 12 p.

<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/pr%C3%A9vention%20des%20risques%20majeurs%20d%C3%A9marche%20fran%C3%A7aise%20ed%202016.pdf> (consulté le 22/02/2023)

Noury G., Védie E., Clement F., Husson E., Respaud C., Azemard P., Dore L., Haussard S., Perrin J., Aléa mouvements de terrain liés au karst: contextes, méthode et cas type traités en vue d'un guide. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur - Lyon 2020*. <https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-02944842> (22/02/2023)

Noury G., Perrin J., Gourdière S., Raucoules D., avec la collaboration de: Dewez T., Masson F., Greffier C., Negulescu C., Peter M., Langlois D., Munerot J., Cantaloube O., Mathon D., Ksibi I., (2017). Retour d'expérience sur les mouvements de terrains liés à des cavités survenus dans le Loiret suite à la crise météo du printemps 2016. Rapport final. BRGM/RP-66462-FR, 317 p. <https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-65474-FR.pdf> (consulté le 22/02/2023)

Panchaud N. H. & Lorenz H., (2018). Smart Cartographic Background Symbolization for Map Mashups in Geoportals: A Proof of Concept by Example of Land use Representation, *The Cartographic Journal*, 17 p. <https://doi.org/10.1080/00087041.2017.1414019>

Rasse G., (2008). Les plans de préventions des risques: la prévention des risques majeurs par la maîtrise de l'usage des sols, *édition Tec & doc*, 61 p.

Serrhini K., Rochman J., Fuchs S., Dorner W. and Spachinger K., (2008). Sémiologie graphique expérimentale et cartographie du risque d'inondation. In Pinet F. & Miralles A. (eds.) Actes de l'Atelier « Systèmes d'Information et de Décision pour l'Environnement ». *Proc. XXVI^e Congrès INFORSID - Fontainebleau* (27-30 Mai).

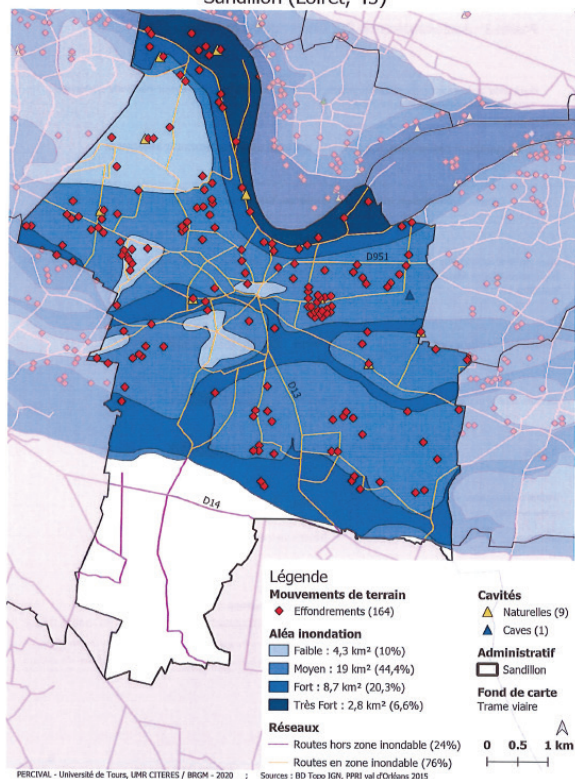
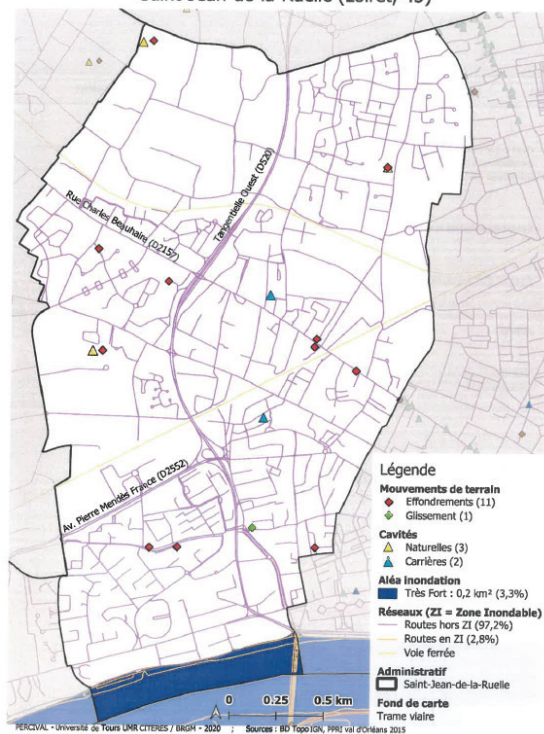
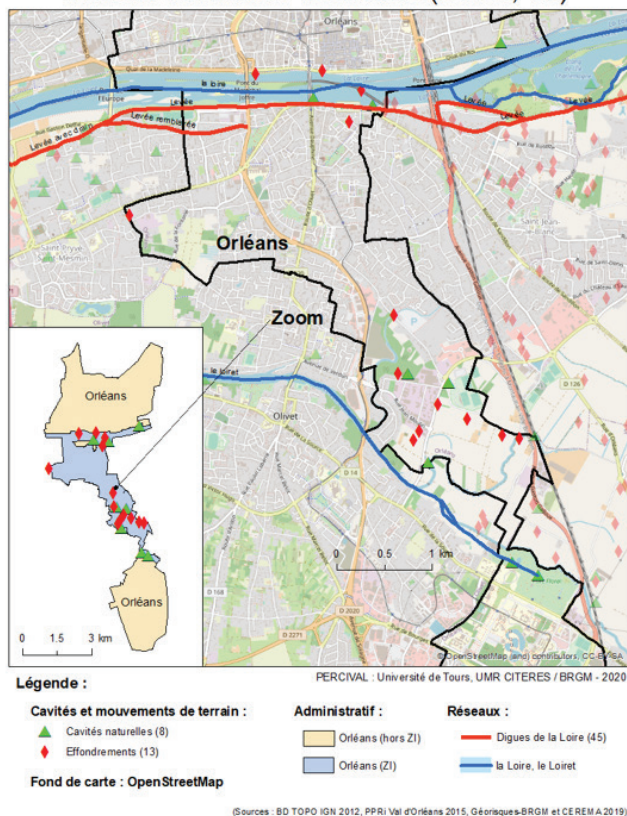
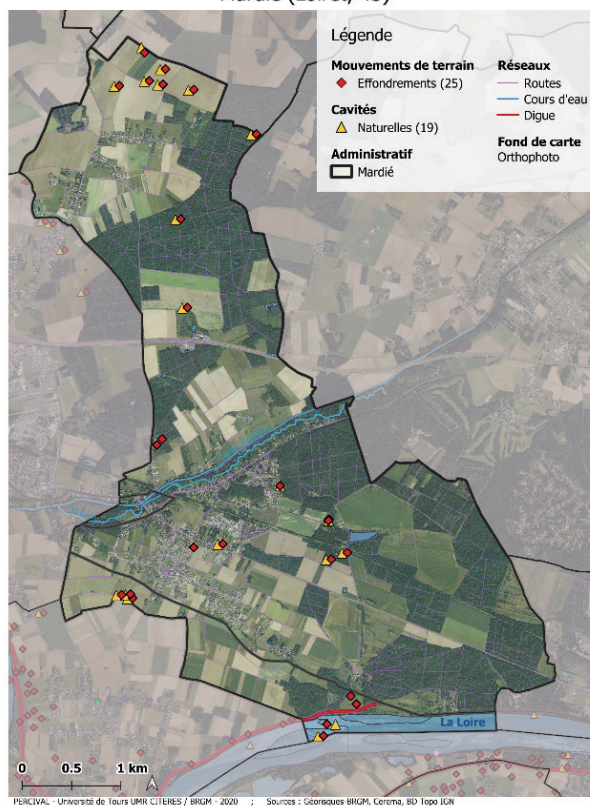
Serrhini K., Palka G., Lavandier C., Dominguez C., Gomez S., Andrieu D., (2016). Amélioration de la cartographie des ambiances sonores urbaines. SAGEO'2016, Nice 6-9/12/2016.

Service Interministériel Régional des Affaires Civiles et Économiques de Défense et de Protection Civile, (2018). Dossier Départemental des Risques Majeurs du Loiret DDRM. Préfecture du Loiret, 84 p.

https://www.loiret.gouv.fr/content/download/36904/266368/file/DDRM_2018_integral.pdf (consulté le 22/02/2023)

Tilloy A., Malamud D.B., Winter H., Joly-Laugel A., (2019). A review of quantification methodologies for multi-hazard interrelationships, *Earth-Science Reviews*, volume 196, 20 p. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102881>

Vinet F. (2010). Le risque inondation, *Diagnostic et gestion*. Edition Lavoisier, Paris, Collection Sciences du danger, série Innovations, 328 p.

Figure A1. Exemples de cartes tests de quatre communes différentes du val d'Orléans**Carte A : Aléa inondation dans la commune de Sandillon (Loiret, 45)****Carte D : Mouvements de terrain et cavités dans la commune de Saint-Jean-de-la-Ruelle (Loiret, 45)****Carte C : Mouvements de terrain et cavités dans la commune d'Orléans (Loiret, 45)****Carte A : Mouvements de terrain et cavités dans la commune de Mardie (Loiret, 45)**

Source : Auteurs

Tableau A1. Évaluations des quatre cartes AI, Schématique, Orthophoto et OSM

Arrière-plan :	Communes	Aléa Inondation (AI)				Schématique				OSM				Orthophoto			
		Compréhension	Densité	Aspect	Utilité	Compréhension	Densité	Aspect	Utilité	Compréhension	Densité	Aspect	Utilité	Compréhension	Densité	Aspect	Utilité
1	Bou	3	3	3	5	2	2	3	4	3	2	4	3	3	2	3	3
2	Chaingy	1	3	3	4	1	3	4	5	2	4	4	5	3	5	1	2
3	Chateaufort-sur-Loire	3	3	3	3	1	2	2	2	1	3	5	5	2	4	5	5
4	Chécy	4	3	3	5	1	2	3	1	1	2	4	5	2	3	5	5
5	Combleux	3	3	4	5	1	3	5	5	3	3	3	3	3	3	4	4
6	Darvois	1	3	4	4	1	3	4	4	2	3	3	5	1	3	5	4
7	Férolles	4	3	2	3	2	3	3	3	2	3	4	3	2	3	4	3
8	Jargeau	4	4	4	3	3	4	4	3	4	4	4	4	2	3	4	4
9	La Chapelle-Saint-Mesmin	1	3	4	4	1	3	4	4	1	3	4	4	1	3	3	4
10	Marceau-aux-Prés	1	3	5	5	1	2	2	2	1	1	2	2	1	3	4	4
11	Neuvy-en-Sully	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	5	2	1
12	Olivet	5	3	3	3	5	3	1	1	3	3	3	3	1	3	3	5
13	Orléans	2	3	4	4	2	2	3	3	2	3	4	4	3	4	3	2
14	Saint-Denis-de-l'Hôtel	1	3	5	5	1	3	5	5	1	3	5	5	1	3	5	5
15	Saint-Hilaire-Saint-Mesmin	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	3	3	3	2	3	2
16	Saint-Jean-de-Braye	4	3	2	2	5	3	2	1	1	2	2	1	4	3	2	2
17	Saint-Jean-de-la-Ruelle	2	2	3	3	4	2	2	2	2	3	4	5	1	4	4	5
18	Saint-Jean-Le-Blanc	3	2	2	3	3	1	2	3	1	1	4	3	1	2	3	3
19	Sandillon	3	2	3	5	2	3	4	2	2	2	3	3	3	3	3	3
20	Vienne-en-Val	4	4	4	3	1	2	2	3	1	3	3	4	1	4	3	2
21	Mardié	1	1	5	2	1	1	5	2	1	3	5	4	1	3	5	4
22	Saint-Cyr-En-Val	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	2	3	5	4
23	Saint-Denis-En-Val	1	4	5	5	1	2	5	5	1	3	5	5	1	3	5	5
Moyenne		2.43	2.74	3.30	3.57	1.91	2.35	3.13	2.87	1.74	2.65	3.57	3.65	1.87	3.22	3.65	3.52
Ecart-Type		1.36	0.79	1.14	1.28	1.36	0.82	1.19	1.41	0.91	0.88	1.00	1.28	0.999	0.851	1.099	1.273
Coefficient de variation (CV)		56%	29%	34%	36%	71%	35%	38%	49%	52%	33%	28%	35%	53%	26%	30%	36%
Acteurs gouvernementaux :																	
DDT Loiret (45)		4	4	3	1	2	1	2	2	1	3	4	4	1	5	2	1
DREAL Centre-Val de Loire		1	4	4	4	1	4	3	2	1	2	4	3	1	2	3	3
Préfecture Loiret (45)		2	3	4	4	3	3	3	4	1	3	4	4	2	3	3	4
Moyenne		2.33	3.67	3.67	3.00	2.00	2.67	2.67	2.67	1.00	2.67	4.00	3.67	1.33	3.33	2.67	2.67
Ecart-Type		1.53	0.58	0.58	1.73	1.00	1.53	0.58	1.15	0.00	0.58	0.00	0.58	0.58	1.53	0.58	1.53
Coefficient de variation (CV)		65%	16%	16%	58%	50%	57%	22%	43%	0%	22%	0%	16%	43%	46%	22%	57%

Source : Auteurs