



HAL
open science

Val de tours : des enjeux importants derrière les levées de la Loire et du Cher

J. Maurin, R. Tourment, B. Beullac, A. Boulay, M. Casamitjana, F. Cebron

► To cite this version:

J. Maurin, R. Tourment, B. Beullac, A. Boulay, M. Casamitjana, et al.. Val de tours : des enjeux importants derrière les levées de la Loire et du Cher. Congrès SHF Événements extrêmes fluviaux et maritimes, Feb 2012, Paris, France. 8 p. hal-00730801

HAL Id: hal-00730801

<https://hal.science/hal-00730801>

Submitted on 11 Sep 2012

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.

VAL DE TOURS : DES ENJEUX IMPORTANTS DERRIÈRE LES LEVEES DE LA LOIRE ET DU CHER

Valley of Tours : of the important stakes behind the levees of the Loire and the Cher river

Jean MAURIN¹ ; Rémy TOURMENT² ; Bruno BEULLAC² ; Arnaud BOULAY¹ ; Michel CASAMITJANA³ ; Fabrice CEBRON³

¹ Ministère de l'écologie (MEDDTL) direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement (DREAL) du Centre - jean.maurin@developpement-durable.gouv.fr, arnaud.boulay@developpement-durable.gouv.fr

² Cemagref Aix en Provence - remy.tourment@cemagref.fr, bruno.beullac@cemagref.fr

³ BRL Ingénierie - michel.casamitjana@brl.fr, fabrice.cebron@brl.fr

Résumé :

Une étude spécifique des enjeux et de la vulnérabilité de ceux-ci aux inondations d'une zone protégée par un système d'endiguement est nécessaire dans plusieurs situations notamment dans la réalisation des études de dangers.

Il est présenté une analyse générale de la question de la caractérisation des enjeux et de la vulnérabilité aux inondations de territoires protégés par des digues, ainsi qu'une méthode de prise en compte du facteur temps dans l'évaluation de l'exposition des populations et dans l'élaboration des mesures à prendre pour protéger les populations.

L'étude de dangers du val de Tours est prise en exemple. Ce val, compris entre la Loire et le Cher, met en évidence la vulnérabilité d'enjeux importants, très divers et nombreux en cas de brèche sur la levée en amont coté Loire comme coté Cher.

Abstract :

A specific study of the stakes and the vulnerability of these to the flooding of a zone protected by a system of embankment is necessary in a few situations, particularly in the carrying out of the studies of dangers.

A general analysis of the question of the characterization of the stakes and the vulnerability to the flooding of protected territories is presented.

We present an overall analysis of the characterization of the stakes and of their vulnerability to the flooding in the case of territories protected by embankments ; a method for taking into account the time factor in the assessment of the exposure of the population, and in the design of appropriate measures is also described.

The study of dangers of the valley of Tours is taken as an example. This one, contained between the Loire and the Cher rivers, reveals the vulnerability of important stakes, numerous and varied in case of breach in the levee upstream both on the Loire and the Cher rivers.

I INTRODUCTION

L'agglomération de Tours, d'une population supérieure à 300.000 habitants, est située en bord de Loire et du Cher. La ville historique a été fondée au I^{er} siècle ap. J.C., sur un tertre de la rive gauche de la Loire. Elle se nommait alors "Caesarodunum" textuellement "la colline de César" ce qui indique que la ville s'est établie en bordure de la Loire sur un site non inondable.

C'est à l'époque moderne, au début du XX^e siècle, que Tours sort de ses fortifications et du tertre pour investir le coteau vers le Nord et surtout la plaine inondable alors protégée par les levées. L'agglomération se développe entre la Loire et le Cher, encouragée par l'absence de crue significative depuis 1866 et la perte de la mémoire du risque : la commune de Saint-Pierre-des-Corps accueille aujourd'hui une zone d'activité et ferroviaire importante alors que la ville de Tours se construit jusqu'au Cher en habitat dense.

Si le risque inondation a été oublié, il existe toujours malgré l'enfoncement du lit de la Loire de près de trois mètres par endroit et la présence du barrage de Villerest qui réduisent l'effet des fortes crues. Les études hydrauliques montrent que la probabilité de risque de surverse des digues est inférieure à 1/500 chaque année. Ce niveau de protection n'est qu'apparent. En effet une étude sur les niveaux de sûreté [Maurin et al., 2011] montre que le risque de rupture des levées a une probabilité inférieure à 1/100 chaque année. Ces premiers résultats devraient être confirmés par l'étude de dangers en cours.



Figure 1 : carte du val de Tours et des levées – Scan 25 ® IGN©

II L'ETUDE DE DANGERS : BIEN CONNAITRE LES ENJEUX EST PRIMORDIAL

La réglementation sur la sécurité des ouvrages hydrauliques (décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 et arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues) amène le propriétaire d'une digue à décrire l'environnement lié à son ouvrage dans le cadre d'une analyse de risque.

La caractérisation des enjeux présents dans une zone protégée par des digues s'aborde généralement du point de vue des dommages que ces derniers sont susceptibles de subir en cas d'inondation.

Les dommages éventuels, associés à des phénomènes dangereux donnés, dépendent directement de la nature des enjeux potentiellement exposés qui sont présents dans la zone que l'on considère. La nature des dommages pris en compte dans l'étude dépend donc notamment : du type d'enjeux effectivement présents (humain, matériel, environnement, bâti...), de la volonté du maître d'ouvrage quant aux types d'enjeux à considérer dans l'étude, des choix méthodologiques sur la manière de caractériser les dommages (en termes économiques, sociaux, environnementaux...).

Dans le cadre des premières études de dangers des digues de classe A¹ de la Loire Moyenne et notamment celle de Tours, le parti a été pris de ne s'intéresser qu'au dommage direct sur la population humaine. Les analyses économiques, environnementales et patrimoniales ont donc été écartées sans être omises puisque prises en compte dans le cadre d'études d'aménagement du territoire menées en parallèle.

L'inondation liée à une rupture de digue est quant-à-elle simulée dans le val de Tours via un modèle numérique permettant de déterminer les valeurs des paramètres « hauteurs d'eau » et « vitesse d'écoulement » dans les deux dimensions planimétriques de l'espace. Cette simulation intervient après une analyse des zones de faiblesse de l'ouvrage de protection et une caractérisation du risque de rupture en termes de probabilité d'occurrence.

Le croisement de l'aléa inondation et de la vulnérabilité des enjeux permet d'accéder à la gravité des scénarios de rupture de digue qui sont simulés.

III LA METHODOLOGIE DE CARACTERISATION DES ENJEUX APPLIQUEE A TOURS

Comme évoqué précédemment, nous nous intéressons exclusivement au dommage potentiel aux vies humaines.

Il peut résulter de deux actions :

- celle directe liée à l'inondation proprement dite,
- celle indirecte liée aux impacts de l'inondation sur certains types d'enjeux qui peuvent augmenter la dangerosité du phénomène (exemple : les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement-ICPE).

La première étape de cette étude repose sur l'analyse des bases de données existantes : CORINE Land Cover et la BD TOPO® de l'IGN pour l'occupation du sol, la base de données BASIAS du BRGM pour les données I.C.P.E. et la base de données SIRENE® de l'INSEE pour les données d'effectifs des entreprises.

¹ Population protégée par la digue supérieure ou égale à 50 000 habitants et hauteur > 1 m

La seconde étape consiste en l'exploitation des données de l'Agence Régionale de Santé, des préfectures ou des communes, le recensement de population INSEE ou encore les données des Conseils Généraux pour accéder à la « population exposée ».

Les enjeux liés au dommage direct aux populations sont notamment les *secteurs de bâti homogène*, les *enjeux sensibles* (les bâtiments rassemblant des personnes très vulnérables tels que des crèches et des établissements scolaires, des centres de santé, des prisons, etc.), les *axes de transports* principaux (routiers et ferroviaires) et nous considérons également les *enjeux participant à la gestion de crise* qui sont des éléments essentiels à l'organisation des secours.

Chaque type de bâti comporte ses spécificités, notamment en termes de potentialité de présence humaine. La première étape de l'étude du bâti consiste donc à identifier et classer les différents secteurs de bâti homogène : les zones d'habitation (individuelle, collective, mixte) ; les zones d'activité industrielle et commerciale, les zones d'activité agricole et les zones d'équipement et de service.

L'état d'exposition des populations au sein de secteurs de bâti homogène est directement fonction de la capacité des populations à se mettre à l'abri des effets de l'inondation. Plus les populations ont la possibilité de gagner en altitude pour se réfugier au sein même du bâtiment qu'elles occupent et moins les "populations exposées" sont importantes aux étages inférieurs. Afin de prendre en compte ce facteur dans l'identification des enjeux, des sous classes de bâti sont établies correspondant à un découpage zonal des secteurs de bâti homogène en fonction du nombre de niveaux de plancher des bâtiments qu'ils contiennent (R+0 ; R+1 et > R+2.)

L'impact d'une inondation peut également s'exprimer au travers des dommages à la population résultant des effets directs de l'inondation sur certains éléments de la zone protégée.

Les I.C.P.E. peuvent être le siège de la réalisation de sur-accidents, comme notamment le transport de produits dangereux par l'eau, sous l'effet d'une inondation.

La détérioration des I.C.P.E. sera fonction de leur capacité à résister aux différentes intensités des phénomènes dangereux impliqués par les inondations. Chaque installation majeure est donc localisée, de façon ponctuelle, et caractérisée par des "seuils de dégradation" correspondant aux différentes "classes d'intensité d'inondation" exposée ci-après.

Ces "seuils de dégradation" peuvent correspondre à des zonages traduisant la surexposition et l'impact potentiel aux différents autres enjeux à dommage indirect aux populations. Ces zonages peuvent éventuellement s'étendre en dehors de la zone protégée.

Le val de Tours compte un grand nombre d'activités et d'industries. Parmi elles, trois sont classées SEVESO dont deux dépôts d'hydrocarbure et une usine d'embouteillage de gaz avec deux sphères de stockage de gaz juste en arrière de la levée de la Loire. Un sur-accident, lié à une explosion, est possible si la brèche se produisait devant cette usine.



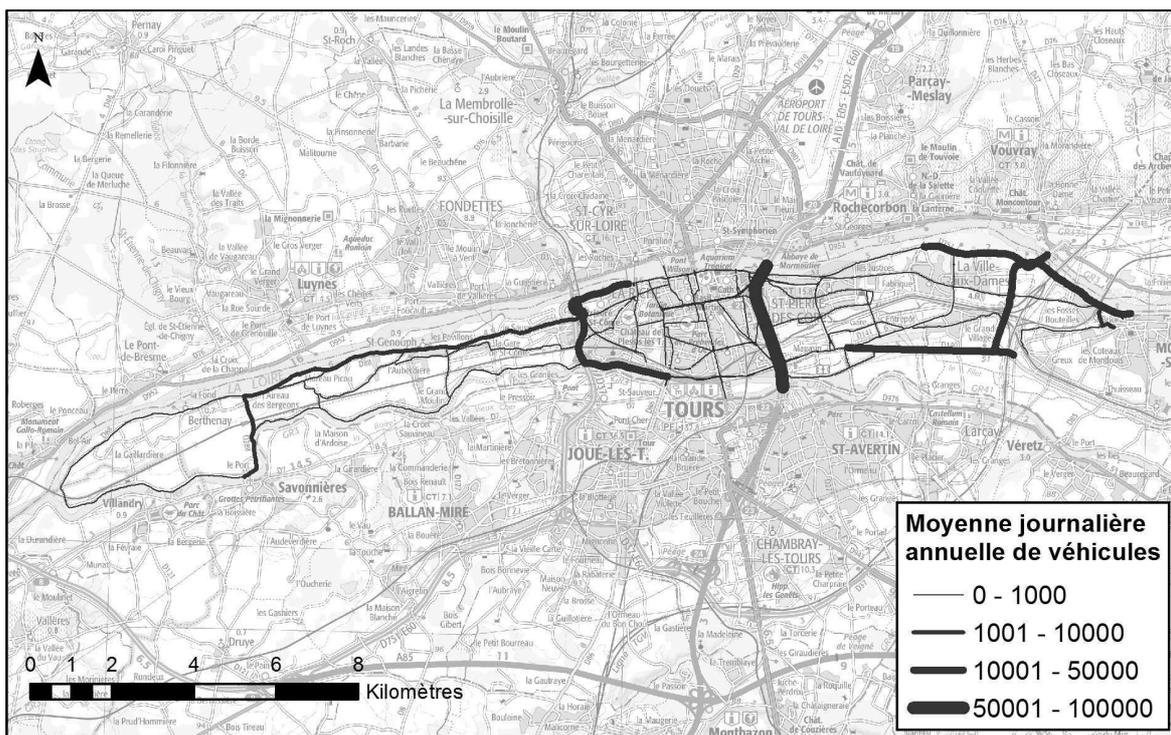


Figure 3 : cartographie des principaux axes routiers dans le val de Tours - BRLi

Cependant un effet modulateur ou amplificateur de l'incidence du phénomène inondation par rupture de digue sur les enjeux est la soudaineté des événements (temps d'arrivée de l'onde de crue, temps de montée des eaux,...). Celle-ci s'exprime différemment selon les secteurs de la zone considérée et les événements étudiés (position de la brèche dans le système d'endiguement). Les populations peuvent être plus ou moins sensibles aux mêmes aléas selon que les phénomènes sont soudains, qu'il est possible de se mettre à l'abri ou qu'une possibilité d'évacuation connue existe.

IV CLASSES D'INTENSITE D'INONDATION ET DANGEROUSITE

De manière classique, dans les PPRi, les paramètres utilisés pour déterminer des classes de dangerosité sont la *Hauteur d'eau* et la *Vitesse d'écoulement*.

Ceci étant, dans le cas des crues de submersion des Vals de Loire qui résulteraient d'une défaillance des digues, l'exposition des populations est aussi liée au temps que peuvent avoir les populations concernées pour se mettre à l'abri ou pour être évacuées avant de subir une hauteur d'eau ou une vitesse de l'eau trop importantes.

En supposant les délais d'alerte, de mise à l'abri et d'évacuation connus, le temps dont peuvent disposer les populations concernées dépend de l'arrivée des premiers écoulements de crue et, à partir du moment où la crue est arrivée, de la durée de montée des eaux.

Afin de déterminer des classes d'intensité d'inondations de sorte qu'elles puissent « servir » de manière opérationnelle les études de dangers, sans s'écarter de l'état de l'art et des pratiques en la matière, notamment dans l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Inondation (PPRi), nous proposons de travailler sur la base d'un croisement de classes « Hauteur-Vitesses ». Puis nous déterminerons le niveau d'exposition des populations et le confronterons à la différence entre les temps : d'arrivée du flot, de montée des eaux, de mise à l'abri et d'évacuation.

La méthode de travail consisterait ainsi à :

- déterminer des classes par croisement Hauteur/Vitesses, et cartographier le Val selon ces classes,
- déterminer les temps d'arrivée de l'onde de crue et les temps de montée de l'eau, en chaque point de la zone d'étude,
- déterminer des temps de mise à l'abri et d'évacuation sur la zone considérée

- déterminer un classement qui donne le niveau d'exposition des enjeux modulé en tenant compte des temps d'arrivée de l'onde de crue et de montée des eaux, par rapport à l'alerte, au délai mise à l'abri et d'évacuation des populations.

Dans ce qui suit, nous illustrons le propos en montrant l'incidence sur un croisement hauteur-vitesse de la prise en compte de ces facteurs aggravants. Les cartographies d'exposition tenant compte des délais d'alerte, de mise à l'abri ou d'évacuation restent à l'heure actuelle à élaborer.

La hauteur de submersion (H) est la hauteur d'eau maximale atteinte lors d'une inondation en un point donnée. La fonction Dangerosité f(H) est croissante.

Dans le cas du val de Tours, et sur les simulations effectuées, ces hauteurs de submersion sont comprises entre 0 et 4,5 m, avec des limites de classes :

- H = 0,5 m pour la première limite de dangerosité,
- H = 1 m impossibilité de se déplacer « à pied » pour tous,
- H = 2 m nécessité d'avoir trouvé un refuge pour survivre à une crue de durée significative,
- H = 3 m les personnes se trouvant dans un bâtiment sans étage sont piégées



Figure 4 : carte de l'agglomération de Tours avec la reconstitution des hauteurs d'eau de la crue de 1856.[Pasquet, 2006]

La vitesse d'écoulement (V) est la vitesse de déplacement de l'eau. La fonction Dangerosité = f(V) est croissante.

Dans le cas du val de Tours, et sur les simulations effectuées, les vitesses d'écoulement sont comprises entre 0 et 3 m/s, avec des limites de classes :

- V = 0,25 m/s : un enfant a des difficultés à se mouvoir,
- V = 0,75 m/s : un adulte non sportif a des difficultés à se mouvoir,
- V = 1 m/s : une embarcation sans moteur est entraînée par le courant,
- V = 1,25 m/s : dangers supplémentaires liés aux flottants et aux chocs

Le croisement des classes de hauteur et de vitesse nous permet d'aboutir à 8 classes, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

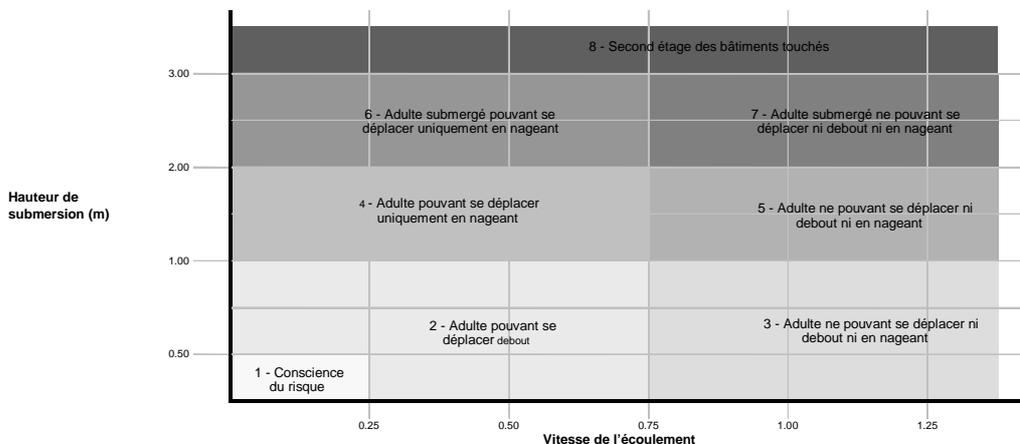


Figure 5 : classes d'intensité d'inondation à partir du croisement hauteur - vitesse

Au-delà de ces paramètres Hauteur d'eau – Vitesse d'écoulement, l'utilisation du paramètre « *temps* » va permettre une modulation des classes d'intensité présentées ci-dessus.

Celui-ci peut être décliné en trois critères pouvant être pris en compte dans l'établissement de classes d'intensité d'inondation afin de qualifier la dangerosité du phénomène :

Durée de submersion : sur le Val de Tours, la durée de submersion est de l'ordre de 24 à 48 heures pour les crues étudiées. Pour ce qui est relatif à la sécurité des populations, il n'existe pas de différence significative entre les durées de submersion observées.

Ce critère n'est donc pas retenu ici.

Temps d'arrivée de l'onde : dans le cas du val de Tours, et sur les simulations effectuées, les temps d'arrivée de l'onde sont compris entre 0 et 24 heures. Quand ce temps est suffisamment long, et qu'il y a une alerte, le temps d'arrivée de l'onde peut être mis à profit pour se mettre à l'abri.

Nous pouvons donc moduler le croisement Hauteur-Vitesse, en fonction des seuils suivants :

- ▶ Temps d'arrivée de l'onde < Temps d'alerte + Temps de se mettre à l'abri : l'onde arrive avant que la population n'ait été alertée ou n'ait eu le temps de se mettre à l'abri. La dangerosité de l'inondation reste donc inchangée par rapport au classement précédent.
- ▶ Temps d'arrivée de l'onde > Temps d'alerte + Temps de se mettre à l'abri : les populations averties ont eu le temps de se mettre l'abri (lieu de rassemblement sécurisé tel que défini dans les Plans Communaux de Sauvegarde ou a minima dans un bâtiment « dur »).

Passé ce seuil, nous pouvons admettre que le facteur « vitesse d'écoulement » n'entre plus en compte pour définir la dangerosité du phénomène.

- ▶ Temps d'arrivée de l'onde > Temps d'alerte + Temps d'évacuation : les populations ont été averties et ont eu le temps d'être évacuées des zones à risque. Nous pouvons alors dire que la dangerosité de l'inondation est nulle ou résiduelle puisqu'il n'y a théoriquement plus personne sur site.

Le tableau ci-dessous illustre l'incidence de la prise en compte du paramètre « temps d'arrivée de l'onde » et des seuils définis ci-dessus sur le croisement hauteur – vitesse :

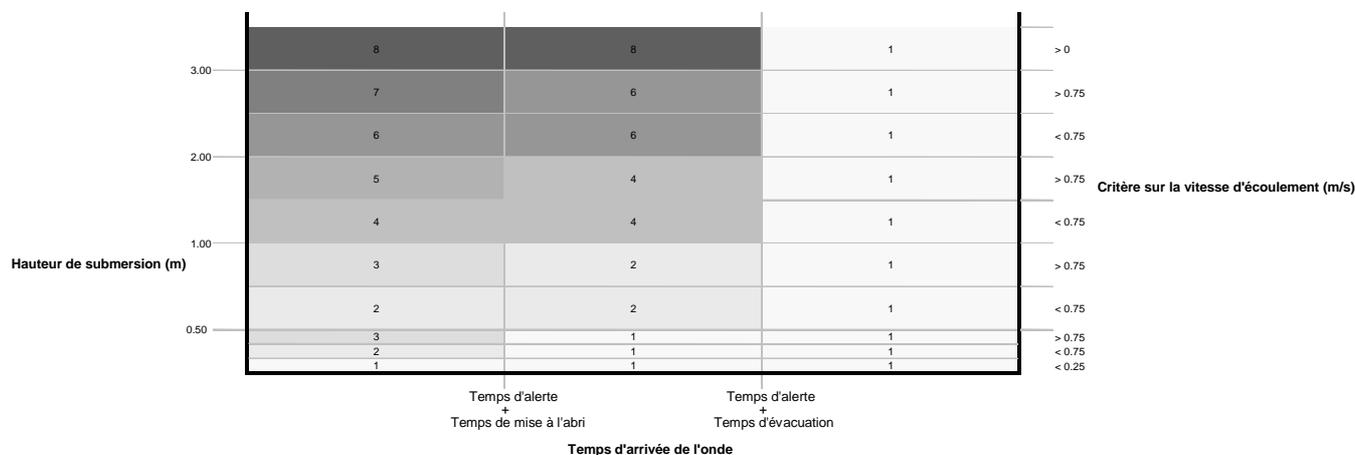


Figure 6 : classes d'intensité d'inondation modulées par le facteur temps d'arrivée de l'onde

Vitesse de montée des eaux : la vitesse de montée des eaux (V_m) est la vitesse à laquelle l'eau « monte » en un point donné. Une fois que la crue est arrivée, plus la vitesse de montée est importante, plus les niveaux de dangerosité élevés seront atteints rapidement. C'est un facteur aggravant de la dangerosité, si les personnes n'ont pu se mettre à l'abri ou être évacuées.

Il a sur le croisement hauteur-vitesse le même type d'effet que le temps d'arrivée de la crue. Dans la démarche, il pourrait d'ailleurs lui être aggloméré sous la forme d'un temps « arrivée de la crue + temps de montée jusqu'au niveau de 0,5 m », puisque ce seuil est le niveau d'eau à partir duquel les populations sont vulnérables.

La détermination de ces seuils pour le paramètre « temps d'arrivée de l'onde » reste toutefois délicate et éminemment liée à la gestion de crise.

En mode opérationnel, nous proposons le protocole suivant :

- Détermination du temps de mise à l'abri selon ci-dessus,
- Adoption d'un temps d'évacuation très conservatif,
- Cartographie des classes « Hauteur-Vitesse »,
- Cartographie des secteurs où le temps d'arrivée de la crue + temps d'alerte est inférieur au temps d'alerte + mise à l'abri, supérieur au temps d'alerte + évacuation, compris entre les deux.
- Superposition des deux cartographies.
- Calcul des populations dans les différentes aires de différentes catégories ainsi déterminées.

V CONCLUSIONS

La situation de l'agglomération de Tours est critique vis à vis du risque inondation au regard des enjeux considérables qu'elle contient. Il est donc indispensable que les levées de Loire et du Cher tiennent quelle que soit la crue extraordinaire qui pourrait se produire. L'étude de dangers, en cours, devra préconiser le renforcement des levées à l'amont du val et la gestion des surverses afin que l'eau pénètre dans le val sans détruire les digues.

Enfin compte tenu des résultats existants, il apparaît qu'une mise à l'abri et l'évacuation de la population doit être organisée. La méthodologie d'évaluation de l'exposition de la population à l'inondation développée plus haut, tient compte du facteur temps et des possibilités des solutions de refuge et d'évacuation ; elle permettra de déterminer les priorités pour l'organisation de la gestion de crise et de quantifier ses effets en termes de population exposée.

Tableaux et Figures

Figure 1 : carte du val de Tours et des levées.

Figure 2 : cartographie des densités de population dans le val de Tours.

Figure 3 : cartographie des principaux axes routiers dans le val de Tours.

Figure 4 : carte de l'agglomération de Tours avec la reconstitution des hauteurs d'eau de la crue de 1856.

Figure 5 : classes d'intensité d'inondation à partir du croisement hauteur – vitesse.

Figure 6 : classes d'intensité d'inondation modulées par le facteur temps d'arrivée de l'onde.

VI REFERENCES ET CITATIONS

DIREN Centre (2002) - MNT Lidar de la Loire Moyenne.

Equipe pluridisciplinaire du plan Loire Grandeur Nature, Hydratec (1998) - modèle Loire Moyenne.

Maurin J., Boulay A., Schumacher M. (2011) - Étude des niveaux de sûreté des digues de la Loire.

Pasquet F. (2006) - Étude des niveaux d'eau dans Tours lors de la crue de 1856.