

CARTOGRAPHIE ET ZONAGE DE L'ALEA D'INONDATION A TAZA (MAROC). APPLICATION DE LA « METHODE GEOMORPHOLOGIQUE INTEGREE » (*)

A. Taous, Kh. Obda, M. Amyay, M. Laouane, A. Tribak, B. Akdim⁽¹⁾
M. A. Marques⁽²⁾, G. Furdada⁽²⁾ et R. Julià⁽³⁾

(1) : Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, FLSH, Saïs – Fès, Laboratoire d'Analyses Géo-environnementales et Aménagement. : 2) Université de Barcelone, Faculté de Géologie, Département de Géodynamique et Géophysique. (3) : Institut of Earth Sciences "Jaume Almera", CSIC, Barcelone.

(*) Le présent travail est réalisé dans le cadre du projet conjoint de recherche du Comité Mixte Inter universitaire Maroc - Espagnol (projet n° : A/017001/08 de l'AECID).

Résumé

La présente étude consiste à cartographier l'aléa d'inondation dans la zone périurbaine au nord de Taza. Elle se base sur « la Méthode Géomorphologique Intégrée » dont les résultats sont approuvés et utilisés en d'autres pays. L'étude prend comme inondation de référence celle de 2000, qui est la plus dévastatrice et ayant causé un maximum de dégâts. Elle utilise les données de la photo-interprétation, de l'analyse des images satellitaires et d'observation et enquêtes de terrain.

Après avoir établi la carte géomorphologique intégrée, une carte détaillée de spatialisation de l'aléa d'inondation et de zonage du danger qui lui est associé est obtenue. Le zonage est réalisé en tenant compte de considérations géomorphologiques et hydrodynamiques (hauteur de submersion, vitesse et énergie relatives de l'écoulement). Trois niveaux de danger y sont déterminés : i) aléa très fort, ii) aléa fort et iii) aléa faible.

La méthode utilisée est peu coûteuse, facilement mise en application et peut être utilisée dans d'autres sites menacés par les inondations au Maroc. Les cartes obtenues constituent des documents très utiles pour la prévention du danger des inondations fluviales et pour la gestion et l'aménagement des espaces fluviaux marocains, souvent menacés par ce type d'aléas.

Mots – clés : aléa d'inondation ; cartographie ; Méthode Géomorphologique Intégrée ; zonage du danger ; espace fluvial ; Oued Larbaa ; Taza ; Maroc.

Abstract

Cartography and flooding risk zoning in Taza (Morocco): application of the " Integrated geomorphic method "

As in most vulnerable sites in Morocco, the out-of-town zone in the north of Taza represents, since the years 90, a more and more affected area, due to the flooding risks of the Larbaa wadi. The present survey aims to cartography the flooding risk in this sector. It adopts the "geomorphic integrated method" whose results have been approved and used as a basis of landscape planning in other countries. The survey considers as a reference the flooding of the year 2000 because it was the most devastating and have caused a maximum of damages. It uses the data of the photo-interpretation, of the analysis of the satellite pictures and the field observation data. After having established the map of integrated geomorphic areas, a map of the flooding risk extension was established and a zoning of the risk vulnerability was conceived. The geomorphic factors (height of submersion, speed and energy relative of the out-flow), context were considered. Three levels of the risk were determined: i) very strong risk, ii) strong risk and iii) weak risk. The method is pertinent due to its practical results and low cost.

Key words: risk of flooding; cartography; Integrated Geomorphic Method, zoning of the risk; fluvial space; Larbaa wadi; Taza; Morocco

ملخص

خرائطية وتنطبق خطر الفيضانات بتازة (المغرب) اعتمادا على المنهج الجيومورفولوجي المندمج منذ تسعينيات القرن الماضي تشككي الضاحية الشمالية لمدينة تازة من فيضانات واد الأربعة. وتهدف الدراسة وضع خرائط خطر الفيضانات للمجال المهدي اعتمادا على المنهجية الجيومورفولوجية المندمجة التي أعطت نتائج مهمة في عدة مواقع من العالم. للقيام بالدراسة اعتمد على فيضان 2000 كحالة مرجعية نظرا لحدته ولحجم الخسائر المترتبة. وعلى تأويل الصور الجوية وتحليل صور الأقمار الاصطناعية والملاحظة والمقابلات الميدانية. تم وضع خريطة دقيقة للمناطق المهددة بالفيضانات بناء على الخريطة الجيومورفولوجية المندمجة. وعلى هذا الأساس تم تحديد ثلاثة مستويات للخطر: مستوى الخطر الشديد القوة، مستوى الخطر القوي ومستوى الخطر الضعيف. من محاسن هذه المقاربة أنها غير مكلفة وسهلة التطبيق ويمكن استعمالها في عدة مواقع في المغرب. أما الخرائط فهي وثائق صالحة لتدبير وإعداد المجالات النهرية المعرضة لخطر الفيضانات.

Introduction

Les inondations fluviales sont un problème récurrent, affectant de grands secteurs de la population mondiale. Malgré qu'il y ait beaucoup d'initiatives pour réduire leurs effets négatifs sur les populations et leurs biens, les dommages socio-économiques qu'elles induisent continuent à augmenter autant dans les pays développés que dans le cas des pays sous-développés. Aujourd'hui, plusieurs études montrent que la cause fondamentale des dommages n'est pas directement liée à la fréquence ou la grandeur du phénomène hydrologique naturel ; elle est plutôt la cause de l'occupation croissante des zones susceptibles d'être inondées. Ces conclusions sont d'ailleurs acceptées à un niveau mondial et recueillies dans les rapports des Nations Unies, des compagnies d'assurances (Swiss-Ré, Munich-Ré, entre autres) des pays (RISKCAT, Vilaplana et Payàs, 2008) et dans de nombreux articles scientifiques spécialisés en matière d'inondation fluviale. C'est ainsi que, en Europe par exemple, le problème du danger engendré par les inondations a donné lieu à une législation spécifique sur ce type d'aléa naturel (EU, 2000 ; 2004 ; 2007).

Au Maroc, le phénomène des inondations est ressenti de plus en plus fortement surtout depuis les années 90, en raison notamment de l'extension des espaces urbains et périurbains, sur des zones fluviales inondables. Ces inondations ont été parfois très dommageables aussi bien pour les infrastructures publiques ou privées que pour l'habitat et l'agriculture. Elles ont même causé des victimes parmi la population, surtout lorsqu'il s'agit des crues torrentielles. Devant l'accroissement des menaces et des dégâts produits par ces inondations, une approche participative et concertée a été adoptée par les pouvoirs publics, afin d'établir un Plan National de Protection contre les Inondations (PNPI). Des dispositions relatives à la protection des habitations, des infrastructures, des équipements industriels et des terres agricoles ont été prises dans le cadre de ces stratégies. D'autre part, dès le début des années 2000, le gouvernement marocain a entamé des coopérations avec les pays de l'Europe (notamment avec la France et la Suisse) en matière de prévention et de gestion des risques liés aux inondations catastrophiques.

Par ailleurs, il importe de rappeler que l'idée selon laquelle les inondations pourraient être contrôlées par des mesures d'aménagement (digues, canalisations, etc.) ou d'un autre type de moyens de prévention plus moderne, comme par exemple les systèmes d'alerte, n'est pas toujours justifiée. Car, même si ces interventions peuvent diminuer localement les dommages, leurs effets positifs pourraient être neutralisés ; puisqu'il ne s'agit, en réalité, que d'une fausse sensation de sécurité apportée aux riverains. Ces interventions pourraient ainsi emmener les populations et leurs biens à s'exposer davantage au danger d'inondation. Pour cela, une règle fondamentale pour la réduction du risque d'inondation est d'éviter l'occupation des zones exposées et, notamment, d'empêcher l'installation de centres publics vitaux et spécialement sensibles, comme par exemple : mairie, pompiers, hôpitaux, écoles, etc. Ces précautions sont malheureusement négligées dans beaucoup de pays.

Pour toutes les raisons ci-dessus, les études et les plans de prévention et de gestion des risques d'inondation insistent sur l'importance de l'identification et la spatialisation des zones exposées au danger des submersions par le biais de cartes précises et facilement compréhensibles. Ces cartes doivent en effet constituer des documents de base, pouvant permettre aux politiques, aux administrateurs et aux gestionnaires de l'espace des planifications efficaces et un aménagement territorial fiable. Elles pourraient même servir à préparer des plans d'intervention et de secours adaptés à chaque zone fluviale.

Le travail que nous présentons ici s'intéresse à la cartographie de l'aléa d'inondation dans un secteur périurbain situé au nord de la ville de Taza (fig. 1 et fig. 2). En fait, depuis les années 90, ce secteur est fréquemment affecté par les crues de l'Oued Larbaa (bassin de l'Oued Inaouène) qui occasionnent des submersions menaçantes pour les habitants des douars installés de part et d'autre de l'oued (exemple des inondations de 1995, 1996, 1997, 2000, 2002, 2007, 2008, 2009, 2010). Les objectifs essentiels de ce travail visent sur 3 aspects :

- i) Présenter la « Méthode Géomorphologique Intégrée » pour l'identification et la cartographie des zones inondables en milieu fluvial.
- ii) Présenter, comme cas d'étude, un secteur périphérique au nord de Taza, très menacé par les inondations.
- ii) Offrir à la société et l'administration un document cartographique fiable, utile et relativement peu coûteux (en comparaison avec d'autres méthodes). Ce document permettra de connaître d'une

manière évidente l'extension des zones inondables et le zonage du danger lié à l'aléa, à l'échelle des tronçons fluviaux menacés. Il facilitera donc leur gestion.

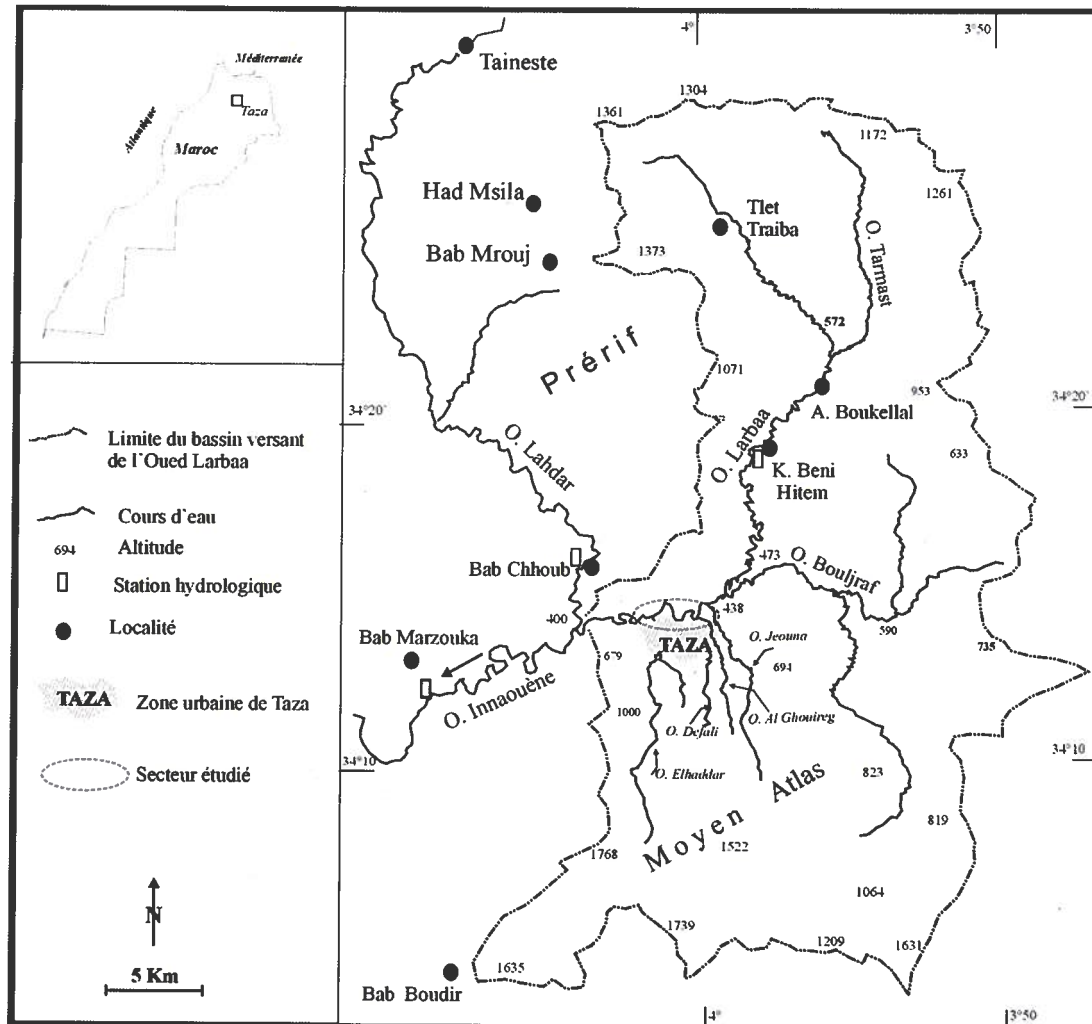


Figure 1. Carte de localisation.

1. La « Méthode Géomorphologique Intégrée » de cartographie des zones inondables

On propose d'utiliser la « Méthode Géomorphologique Intégrée » pour l'identification et la cartographie des zones inondables. Il s'agit d'une approche scientifique qui tente d'établir un zonage permettant de définir, évaluer et graduer le danger des inondations affectant un tronçon de cours d'eau. Cette méthode, mise au point par les Professeurs M.A. Marques et G. Furdada, membres du groupe RISKMAT de l'Université de Barcelone, a été exposée dans des congrès et masters. Elle a été appliquée en divers pays tels que la France, le Nicaragua, le Salvador et la République dominicaine (Fernandez-Lavado et al., 2008 ; Furdada et al., 2008). La méthode s'adapte aussi parfaitement au cas des oueds marocains.

1.1. Avantages de la méthode

La méthode peut être utilisée dans tout contexte géographique, mais elle est surtout plus prometteuse dans le cas des pays aux déficits en informations (absence de cartes détaillées, rareté des données hydrologiques, etc.). En France, on utilise la méthode dite « hydrogéomorphologique » (Ballais et al., 2005), qui a beaucoup de similitudes avec la nôtre. Les bases de cette méthode ont été introduites dès 1999 dans le guide méthodologique des inondations des Plans de Prévention de Risques (PPR) du Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement et Ministère de l'Équipement, des transports et du logement.

La «Méthode Géomorphologique Intégrée» utilisée dans ce travail présente une série d'avantages. Elle s'appuie essentiellement sur des critères qualitatifs, puisqu'il n'est pas indispensable d'avoir des données de débits ni modèles numériques de terrain, bien que l'existence de ces informations facilite le travail et apporte des précisions supplémentaires. A titre de comparaison, les autres méthodes de cartographie du risque d'inondation, comme par exemple celles de la modélisation hydraulique (HEC-RAS et semblables), requièrent des données très détaillées, coûteuses et même parfois impossibles d'obtenir à court terme : longues séries de registres quotidiens de débits ou de pluies, rugosités du chenal, coefficients d'écoulement, modèles numériques détaillés de terrain (DEM-Digital Elevation Model), etc. De plus, les résultats obtenus par ce type de méthodes quantitatives sont souvent loin de la réalité, puisque leur qualité dépend tout d'abord de celle des données initiales utilisées (Norbiato et al., 2007). Ces remarques ont été d'ailleurs soulevées par l'étude des inondations catastrophiques au sud-est de la France (Gary et al., 2002 ; Ballais et al., 2005), tout en approuvant la fiabilité de l'approche hydrogéomorphologique par comparaison aux méthodes hydrauliques – hydrologiques.

1.2. Etapes de la méthode

La «Méthode Géomorphologique Intégrée» consiste à établir une cartographie géomorphologique focalisée sur le problème des inondations en intégrant toutes les informations, rapportées aux inondations antérieures : c'est la carte géomorphologique intégrée. Ensuite, celle-ci sera la base pour classer et spatialiser les zones menacées afin d'établir la carte définitive de zonage de l'aléa «inondation». La réalisation de cette carte passe par plusieurs étapes successives et complémentaires, à savoir :

A. Encadrement de la zone d'étude : il s'agit principalement d'obtenir le maximum d'informations sur les aspects suivants :

- a) les caractéristiques physiques contrôlant le ruissellement et l'infiltration dans le bassin versant concerné (lithologie, pédologie, pentes, couvert végétal, etc.).
- b) les caractéristiques climatiques, en particulier les caractéristiques pluviométriques et la situation des stations de mesure ;
- c) les données hydrologiques, avec l'inventaire de la situation des stations hydrométriques, la longueur et la qualité des séries de débits disponibles, les fréquences des débits, etc. ;
- d) l'occupation des sols, l'aménagement du bassin versant, état de la couverture végétale, agriculture, techniques culturales, défrichements, incendies, reforestations, urbanisation, ouvrages, etc.

B. Photo-interprétation et cartographie géomorphologique : cette étape utilise des photographies aériennes verticales multi-temporelles à grande échelle. Il s'agit notamment de l'identification, dans l'espace fluvial concerné :

- a) des caractéristiques géomorphologiques en rapport avec la dynamique fluviale et les inondations, tels que les terrasses alluviales, les cônes latéraux, les phénomènes d'érosion et de sédimentation, etc. ;
- b) des ouvrages et actions anthropiques qui peuvent interférer en aggravant ou en diminuant le danger d'inondation (ponts, digues, décharges, remblais, etc.) ;
- c) des changements de chenaux au niveau du lit fluvial (chenaux abandonnés et bras morts) ;
- d) des phénomènes sur les versants pour prévoir les possibilités d'érosion et d'apport de matériel au courant fluvial (cas par exemple d'éboulements et glissement qui peuvent éventuellement former des barrages temporels faisant obstacles à l'écoulement).

C. Historique des inondations : on se base sur les données d'archive (administrations, bibliothèques, bureaux d'étude, journaux, etc.), photographies et enquêtes auprès de la population. Il s'agit d'identifier et caractériser les principales inondations connues et ayant affecté la zone d'étude : dates, débits, hauteurs d'eau, extension spatiale, dégâts. Avec ces informations, on vise à estimer la fréquence et la magnitude des inondations (occurrence et leur intensité). Cette étape est fondamentale lorsqu'on ne dispose pas de données de débits jaugés et lorsque les séries hydrologiques sont courtes. Mais, elle est aussi importante pour calibrer des résultats obtenus par d'autres méthodes.

D. Travail de terrain : cette étape permet de vérifier et compléter la photo-interprétation, notamment en ce qui concerne des précisions sur l'extension, la hauteur, les causes naturelles et anthropiques, les

dommages et les modifications antérieures et postérieures aux inondations. Dans ce domaine, il est très important de saisir les «témoins silencieux» (*silent witnesses*) ; c'est-à-dire les formes, les sédiments et les différentes traces ou laisses des crues que l'œil d'un expert peut reconnaître et qui fournissent des informations sur la dynamique des écoulements au moment des submersions. Finalement, on peut aussi procéder à l'étude de coupes et à la prise d'échantillons de sédiments déposés par des inondations pour les analyses et des datations.

E. Caractérisation et classification des inondations : il s'agit ici de caractériser puis classer les inondations passées, repérées d'après les informations précédentes. Lorsqu'on dispose des débits maximums annuels et leur fréquence, la classification se fait sur ce critère. Malheureusement, il est rare d'avoir des données suffisantes et de qualité (plus court le nombre de données moins fiable le résultat). Les données sur la pluie présentent les mêmes problèmes. C'est ainsi que la classification des inondations peut se faire en se basant sur l'extension spatiale, les dommages, les victimes, et, si possible, la hauteur atteint par le flot lors de la submersion. Dans le cas où les données hydrologiques sont suffisantes, on peut même estimer la fréquence des inondations. Il est aussi très intéressant d'identifier ce qu'on appelle **l'inondation de référence** (Furdada et al., 2008 ; MAE et METL, 1999); c'est-à-dire la submersion la plus importante ayant affecté la zone et dont on dispose d'informations. Celle-ci est souvent utilisée comme étant le niveau le plus grave du danger induit par l'inondation. Elle est spécialement utile lorsque les données de débits maximums annuels sont insuffisantes ou peu précises pour calculer les fréquences relatives aux inondations. Enfin, dans cette étape, toutes les informations doivent être soigneusement analysées pour éliminer celles qui sont peu fiables. Il faut aussi considérer d'éventuelles inondations qui n'ont pas eu de témoins, comme par exemple le cas des zones non urbanisées au moment de l'inondation.

F. Élaboration de la Carte Géomorphologique Intégrée : cette étape compile, classe et cartographie toutes les données obtenues avec des critères géomorphologiques focalisés sur le phénomène d'inondation. La superposition de toute cette information permet la reconstitution du cadre géomorphologique de la zone d'étude et de l'inondation de référence, ainsi que la connaissance de la dynamique de la rivière concernée. Un premier critère géomorphologique de base dans cette approche est de considérer les hauteurs relatives des terrasses qui dominent la rivière. Ces hauteurs sont utilisées comme niveaux de référence, puisque chaque terrasse peut être inondée ou non par une crue bien déterminée. De plus, le niveau de l'eau atteint sur une terrasse, connu grâce aux recherches sur le terrain et aux enquêtes, peut être extrapolé ou interpolé en utilisant le niveau de référence de la même terrasse. Sur ce point, il est très important de valider les données des témoins oculaires, de façon plus exhaustive plus l'inondation soit ancienne. Autres indicateurs importants sont les chenaux excavés pendant les crues de haute énergie et magnitude. En fait, ceux-ci pourraient agir comme des chenaux de circulation préférentielle qui facilitent les débordements dès le dépassement du débit à plein - bord.

G. Établissement des niveaux de danger ou d'aléa : ils sont établis selon l'occurrence/fréquence et la magnitude/intensité relatives de l'inondation. Les niveaux établis devront s'adapter aux caractéristiques du tronçon fluvial considéré puisqu'ils peuvent changer d'une zone à l'autre au sein du bassin en fonction de la distribution des pluies, des caractéristiques morphologiques du tronçon et des actions anthropiques qui changent la dynamique fluviale. C'est pourquoi le niveau de danger doit s'établir en fonction de la fréquence et la magnitude relatives de l'inondation pour chaque tronçon fluvial relativement homogène. Par ailleurs, comme on l'a expliqué en référence à la classification des inondations, généralement il n'est pas toujours possible (ou conseillable) d'appliquer des méthodes probabilistes ou de systèmes de simulation numérique pour établir la fréquence des crues inondantes afin de réaliser des cartes de zonage fiables. La détermination des niveaux de danger, c'est à dire les aléas et leur classification doivent être qualitatives, par exemple : inondation fréquente, rare, exceptionnelle ; quoique parfois on peut arriver à proposer à titre indicatif des résultats quantitatifs. Un autre critère essentiel est celui qui utilise la hauteur de submersion, auquel peut s'ajouter la vitesse d'écoulement et la durée de submersion. Finalement, la combinaison de ces paramètres peut se concrétiser par exemple en trois niveaux : i) négligeable ou faible, ii) moyen et iii) fort (Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1999).

H. réalisation de la carte d'aléas ou de zonage des niveaux de danger d'inondation : elle dérive directement de la « Carte géomorphologique intégrée » et représente le résultat final de la méthode. Cette carte spatialise cartographiquement les différents niveaux d'aléas, classés selon l'approche décrite ci-dessus. Elle peut être complétée par d'autres informations, telle la localisation de points critiques ou de danger induit, considérés importants pour la gestion du risque d'inondation ; il s'agit là par exemple d'inclure les endroits où l'action de l'homme peut déclencher ou augmenter la vulnérabilité d'un site et les dommages d'une inondation (ponts, pistes, etc.).

I. Utilisation d'images satellitaires et photos - aériennes détaillées comme base cartographique : c'est un support très intéressant à utiliser lorsque les cartes topographiques disponibles n'ont pas une échelle convenable pour apporter des précisions requises pour le zonage du danger d'inondation. En effet, ce type de support, outre le détail et la facilité qu'il apporte pour la cartographie, présente d'autres avantages, puisqu'il permet de produire des documents facilement saisissables par tous les utilisateurs (population, administration, techniciens, etc.) et concernant divers aspects d'inondabilité, comme par exemple ceux des habitats, des routes, des ponts, etc. Les documents cartographiques obtenus par cette approche favorisent ainsi la communication entre les différents acteurs engagés.

Il faut souligner enfin que, l'importance relative de chacun de ces volets est ensuite fonction des caractéristiques propres du secteur à étudier, à savoir le mode de fonctionnement du bassin versant, le type de crues, l'existence d'enjeux (vulnérabilité), la nature, le nombre et l'intérêt des données disponibles, etc.

2. Caractéristiques de la région de l'étude

2.1. Géomorphologie du bassin versant de l'Oued Larbaa

En amont de Taza, l'Oued Larbaa parcourt un trajet d'environ 70 km de long, son bassin versant draine une superficie estimée à 300 Km² (fig.1). Sur le plan géologique, ce bassin s'inscrit entièrement dans les terrains du Prérif où prédominent des matériaux tendres, essentiellement marneux, marno-gréseux et marno-calcaires du Crétacé et du Tertiaire (Eocène, Oligocène et Miocène). Ces terrains sont fragilisés par une structure de nappes de charriages, affectées de failles et de contacts anormaux divers (Leblanc, 1979). Ils sont parfois injectés de formations marno-argileuses salifères triasiques, notamment en amont de la vallée, dans le bassin de l'Oued Tarmast. Les sommets montagneux sont souvent armés de séries gréseuses ou conglomératiques résistantes.

Les parties amont du bassin versant s'inscrivent dans un domaine de moyenne montagne dont les crêtes peuvent dépasser 1300 m d'altitude. Ici, les vallées sont relativement profondes et dominées par des versants de fortes pentes, dépassant 25 %. Dans la partie médiane du bassin, entre Ain Boukellal et la confluence avec l'Oued Bouljraf, le cours d'eau traverse progressivement des paysages de basses montagnes (700 - 900 m), puis de collines peu élevées (500 - 600 m). Il rejoint ensuite le couloir de Taza (Sillon Sud-rifain) où se trouvent les altitudes minimales du bassin versant (440m à 420m). Le cours d'eau reçoit à cet endroit, les eaux de petits affluents de rive gauche qui drainent la bordure septentrionale du Moyen Atlas et qui traversent la zone urbaine de Taza (Oueds Jeouna, Al Ghouireg, Defali et El Haddar).

Le bassin versant de l'Oued Larbaa est situé en contexte morphoclimatique méditerranéen semi-aride ; il est peu végétalisé et directement exposé aux effets de l'érosion agressive, générée par les pluies intenses et le ruissellement. Sa dégradation spécifique est très élevée, estimée à plus de 2100 t/km²/an (Sibari et al., 2001). Les versants marneux fragiles y sont en effet soumis à un ravinement important caractéristique des paysages de badlands (Tribak, 2000). Ce ravinement est associé à des processus érosifs variés, tels les glissements de terrains, les solifluxions, les coulées boueuses et le colluvionnement. Cette dynamique érosive est fortement activée lors des averses intenses, produisant d'énormes quantités de matériaux détritiques qui sont entraînées par le ruissellement vers le bas des pentes et le réseau hydrographique. Elle génère ainsi un important potentiel détritique qui alimente l'écoulement torrentiel des oueds du bassin versant. Par ailleurs, au niveau du lit fluvial de l'Oued Larbaa, l'effet érosif des crues occasionne de fréquents sapements de berges, ce qui renforce la surcharge détritique du lit et par conséquent les possibilités de débordements (Taous et al., 2004).

À l'échelle du bassin versant, notons que le cours supérieur de l'Oued Larbaa présente une forte pente (supérieur à 0,5 %). Il subit l'influence directe du relief et la tendance est au chargement en sédiments provenant des versants et à leur transport. L'oued développe de ce fait un style préférentiel en tresse et à chenaux divagants (Taous et al., *Ibid.*). Au fur et à mesure qu'on descend la vallée, la

penne s'assagit (en moyenne 0,4 % entre Ain Boukellal et la confluence avec l'Oued Bouljraf), la vallée s'élargit et le cours impose sa dynamique fluviale par le jeu de méandres. Arrivé dans le couloir de Taza, l'oued évolue sur une faible pente (0,3%) au sein d'un fond de vallée large de quelques centaines de mètres. Il développe d'amples méandres qui sapent les berges et les versants facilement érodables.

2.2. Le régime pluviométrique

Situé dans un contexte climatique méditerranéen, le bassin versant de l'Oued Larbaa se caractérise par une grande variabilité spatio-temporelle des précipitations. De façon générale, les versants de l'ouest, exposés aux masses d'air océaniques chargées d'humidité sont bien arrosés, tandis que ceux de l'est reçoivent moins de pluies, puisqu'ils sont situés en position d'abri. Par exemple, selon les données de Tribak (2000, 2004, 2006), des moyennes annuelles de 673 mm à Taineste (station située au nord du bassin), de 660 mm à Taza et seulement 394 mm à Ain Boukellal ont été enregistrées durant la période 1960-1996 (Tribak, 2000). La distribution des précipitations mensuelles montre que les mois de novembre à mars constituent la période humide (moyennes mensuelles oscillant entre 78 et 104 mm à Taza et entre 73 et 98 mm à Taineste). Durant cette période de l'année, les pluies maximums mensuelles varient entre 215 et 380 mm à Taza et entre 260 et 505 mm à Taineste. La période sèche dure de juin à septembre et correspond à un temps sec et chaud, où les pluies sont quasiment absentes, sauf de rares exceptions. Quant à la distribution des pluies journalières, elle indique que la région est sujette à des hauteurs maximales exceptionnelles, pouvant dépasser 100 mm. Des exemples très démonstratifs peuvent être cités à ce propos : 101mm le 30 janvier 1987 à Had Msila (33,3% du module mensuel), 100 mm le 13 octobre 1979 à Taineste (43,4% du module mensuel) et 113 mm à Taza le 14 mars 2004 (61,7 % du module mensuel).

Cependant, il importe de signaler que la région connaît des orages fréquents notamment en fin d'été et le début d'automne. C'est ainsi qu'après la période de sécheresse estivale, des averses intenses de quelques dizaines de mm peuvent se manifester brusquement, en quelques heures seulement. L'exemple du 29 septembre 1997 à Taza est très significatif (Tribak, *ibid.*) : 68 mm en 40 minutes seulement, ce qui donne une intensité moyenne de 102 mm/h. Ces orages génèrent des crues violentes, parfois inondantes. Outre ces orages, des pluies de hauteurs moins élevées, mais successives dans le temps peuvent générer aussi des crues débordantes. Des records très significatifs de précipitations peuvent être atteints en jours consécutifs : par exemple, 156 mm ont été déversés en 2 jours seulement à Had Msila (cas de décembre 1981) ; soit 50% du module mensuel. La même station a reçu 175,8 mm en 3 jours (cas de janvier 1987) et 287mm en 13 jours consécutifs (cas de décembre 1996).

2.3. Le régime hydrologique

L'Oued Larbaa présente un régime hydrologique de type pluvial méditerranéen caractéristique, avec une grande variabilité interannuelle du débit et de fortes distorsions entre les débits de crues et les débits d'étiage. Les crues sont souvent brutales en raison des fortes pentes, de la lithologie imperméable et de l'absence des réservoirs souterrains importants dans le bassin.

Comme le montre les débits enregistrés à la station de Kasbat Beni Heitem (253 km²) à l'amont de Taza et ceux de la station d'aval de Bab Marzouka (1373 Km²), installée sur l'Oued Inaouène et qui contrôle aussi le bassin de l'Oued Lahdar, les étiages sont sévères en été, puisque la moyenne interannuelle de l'écoulement mensuel durant les mois secs (juin-août) reste très faible (environ 0,2 m³/s à la station de Kasbat Beni Heitem). Par contre, les apports les plus importants de l'oued ont lieu en hiver, saison d'abondance des pluies. A, à la station de Kasbat Beni Heitem, l'Oued Larbaa enregistre son maximum au mois de décembre, avec une moyenne mensuelle de 1,853 m³/s (période 1987/88 - 2006/07). A la station de Bab Marzouka, le maximum est enregistré au mois de février, avec 12,197 m³/s.

Par ailleurs, la fréquence des apparitions des crues reste variable selon les saisons. L'analyse des débits maximums journaliers d'une série de 37 ans à la station de Kasbat Beni Heitem offre les données suivantes : 54% des crues apparaissent en hiver (dont 30 % au mois de décembre), 32,5 % au printemps et 13,5 % en automne. Toutefois, les crues qui occasionnent des inondations catastrophiques apparaissent principalement en début d'automne.

D'autre part, il faut remarquer que la forme du réseau hydrographique est propice à la genèse des crues rapides et à l'apparition d'inondation dans le secteur au nord de Taza. Le bassin de l'Oued

Larbaa, inscrit dans le Prérif, présente une forme sub-arrondie (indice de compacité de Gravelius $K = 1,27$). Ceci implique de forts débits de pointe à l'exutoire en raison du temps d'acheminement plus court des crues de ce type de réseau. De plus, les apports des affluents qui drainent la partie Est du bassin (O. Bouljraf) et ceux qui descendent du versant septentrional du Moyen Atlas (Jeouna, Al Ghouireg, Dfali, El Haddar) viennent s'ajouter à ceux de l'Oued Larbaa et renforcer de ce fait la submersion dans le tronçon de fond de vallée étudié.

2.4. L'anthropisation du bassin versant

Le bassin versant de l'Oued Larbaa, comme d'ailleurs toute la montagne du Prérif, constitue un vieux foyer de sédentarisation humaine. Mais, malgré la forte empreinte anthropique sur le milieu, la population autochtone avait su conserver, jusqu'au 19^{ème} siècle un certain équilibre entre ses activités, ses besoins et les ressources offertes par le milieu (Tribak et al., 2008). Au cours du 20^{ème} siècle, cette situation va connaître une rupture en raison d'importantes mutations dans la région (accroissement démographique, mise en valeur des terres agricole et dégradation du couvert végétal). La plupart des versants ont été alors totalement dénudés et mis en culture, exception faite de certains sommets encore boisés aujourd'hui. Depuis le milieu des années 70, la déprise rurale qui a touché la région a renforcé l'instabilité et l'érosion du milieu, après l'abandonnement des terrains qui retournent en friche, alors qu'ils étaient entretenus auparavant. Mais, malgré l'allègement dû à ces mouvements migratoires, aujourd'hui, les densités dans le bassin versant restent élevées pour le Maroc. Elles atteignent un record de 100 h/km² dans certaines communes, avec une densité moyenne de 76 h/km² pour l'ensemble de la région.

Parallèlement, la population de Taza a augmenté rapidement : le nombre d'habitants est passé de 55157 en 1971 à 77171 en 1981, à 120171 en 1994 et à 137 686 en 2004, soit un taux d'accroissement moyen de 3,38 (HCP, 2004). C'est ainsi que depuis la deuxième moitié des années 70, l'affluence des ruraux vers la ville a livré de grands espaces inondables à la prolifération des habitats insalubres. Dès le début des années 80, de nombreux habitats se sont alors développés dans la zone périurbaine au nord de Taza, de part et d'autre du lit de l'Oued Larbaa. C'est le cas par exemple des douars Al Malha, Asdour et Chlouh (fig. 2 et photo 1, planche I). Les données d'enquête de terrain sur le nombre de familles dans ces douars (Kejjaj, 2007) ont apporté les informations indicatives suivantes : 214 familles pour Douar Al Malha, 219 familles pour Douar Asdour et 142 familles pour Douar Chlouh.

3. Historique des inondations à Taza

Le bassin de l'Oued Larbaa a connu dans le passé plusieurs cas d'inondations ayant causé des dégâts économiques et humains. A remarquer qu'il n'existe que des informations fragmentaires sur les inondations d'avant 2000. Ce n'est qu'à partir de cette année qu'on a commencé à avoir des informations plus précises sur la réalité des événements (débits de pointes, réalités des dégâts, ...). Effectivement, en raison de sa submersion et de l'ampleur des dégâts matériels et pertes humaines qu'elle a engendrés, cette inondation a marquée la population locale et a attiré par conséquent l'attention des pouvoirs publics. Nous présentons ci-dessous succinctement les inondations de l'Oued Larbaa les plus connues depuis les années 60 dans le secteur de Taza :

a) Inondations des années 60 : les inondations de 1963 et de 1969 ont affecté plusieurs secteurs dans le bassin versant, mais les dégâts enregistrés ont concerné surtout les terres agricoles et le bétail (Mathieu, 1964).

b) Inondations des années 70 : le risque a commencé à menacer sérieusement les habitations des centres ruraux et certains quartiers périphériques de la ville de Taza. Par exemple, les inondations successives de 1978 et de 1979 ont affecté des habitats installés sur l'Oued Al Ghouireg, affluent de rive gauche de l'Oued Larbaa (Agoumy, 1979).

c) Inondation des années 90 : après la sécheresse des années 1980, les inondations deviennent plus menaçantes et plus fréquentes durant les années 90. Les quartiers périurbains, installés de part et d'autre de l'Oued Larbaa, sont alors affectés presque chaque année (Akdim et al., 2003). Par exemple, en septembre 1995, l'inondation générée par des orages a affecté les douars Al Malha, Chlouh et Asdour et d'autres quartiers périurbains de Taza. Ensuite, le 29 décembre 1996 l'inondation est survenue lors d'une période humide, pendant laquelle 420 mm de pluie sont enregistrés durant seulement 19 jours consécutifs de pluies à Taza (Tribak, 2006). Les douars Al Malha, Chlouh et Asdour et d'autres quartiers périphériques de Taza ont été concernés par la submersion de cette

inondation. L'année suivante, le 26 décembre 1997, le bassin de l'Oued Larbaa a connu des pluies orageuses exceptionnelles durant les premières heures de la journée. Une hauteur de 210 mm est enregistrée à 8h du matin à la station de Kasbat Beni Heitem (soit 68 mm pendant 10 min). Une intensité moyenne de 120 mm/h a été enregistrée à Taza (Tribak, *Ibid.*). Ces précipitations ont engendré une inondation qui a submergé une superficie de l'ordre de 13 hectares dans le fond de vallée de l'Oued Larbaa. La hauteur d'eau a dépassé 1m à Douar Al Malha. Cette submersion a engendré, en plus d'autres dégâts matériels, la coupure des chemins menant aux Douars.

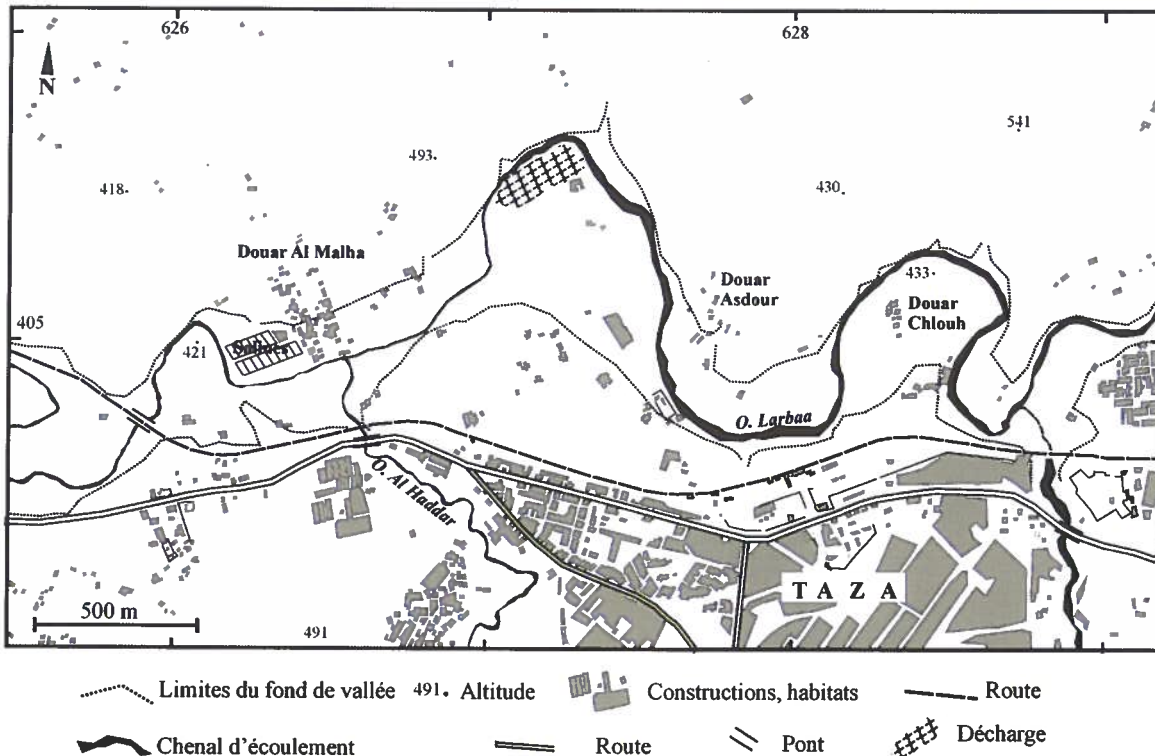


Figure 2. Occupation du fond de vallée de l'Oued Larbaa au nord de Taza.

d) Inondations des années 2000 : selon les témoignages, l'inondation du 27 septembre 2000 est la plus violente connue par la population du bassin de l'Oued Larbaa. Les habitants des douars Al Malha, Asdour et Chlouh ont été affectés sérieusement. L'inondation est générée par des pluies intenses d'orage ; le débit de l'Oued Larbaa et ces affluents (notamment Oued El Haddar) a augmenté rapidement durant 1h30 seulement (DRH-Sebou, 2000, 2008). Cette inondation est la plus grave des dernières années, on la prend comme inondation de référence, et sera développée en détail au paragraphe 4.3. Par la suite, l'inondation du 22 novembre 2002 est survenue après des précipitations intenses, elle a affecté l'Oued Larbaa et tous les affluents dans le secteur de Taza. D'après l'Agence urbaine de Taza (2002), le débit maximum de l'Oued Larbaa a atteint 120 m³/s à la station de Beni Heitem et un débit de 825 m³/s pour l'Oued Inaouène à Bab Merzouka. L'inondation a submergé les douars Al Malha, Chlouh et Asdour et la submersion a concerné environ 300 hectares et a duré depuis 20 h jusqu'à 1h. Le 18 avril 2007 enregistre une remarquable inondation, ayant eu lieu après une période de précipitation prolongée. Elle a provoqué la submersion totale du pont menant au Douar Al Malha et a affecté aussi les habitations de ce douar, où le niveau d'eau a dépassé 1 m de hauteur. Enfin, le 3 septembre 2008, la vallée de l'Oued Larbaa a connue une inondation qui a eu, selon les témoignages, la même extension et les mêmes effets que celle de 2007.

4. Cartographie géomorphologique intégrée

La photo-interprétation sur les photos aériennes des missions de 1982 (1/17 500) et spécialement celles de 1991 (1/20 000) et le travail sur le terrain ont permis de reconnaître une série de formes et matériaux, naturels et anthropiques, en rapport avec la dynamique fluviale et avec tout facteur contrôlant et conditionnant l'inondabilité dans l'espace étudié. Cependant, pour la réalisation de la carte géomorphologique intégrée (**voir carte**) avec le logiciel ArcGis, le fond cartographique

utilisé est l'image satellitaire Google 2009, puisqu'il n'existe pas de cartes topographiques détaillées de la zone étudiée et aussi pour les raisons expliquées auparavant en méthodologie. En fait, cette image, obtenue par le logiciel Google professionnel, est fondamentale car elle permet d'augmenter l'échelle d'observation progressivement, jusqu'à un grand détail. L'image permet ainsi de voir le détail du paysage, son occupation actuelle et de mieux comprendre son évolution durant les dernières décennies (en comparant aux photos aériennes).

4.1. Eléments géomorphologiques

Au nord de Taza, la rivière décrit de vastes méandres ancrés et de forte sinuosité dans lesquels le processus d'érosion des berges concaves engendre la migration latérale du chenal principal, depuis la berge concave vers l'extérieur (voir carte géomorphologique). Ces berges sont des escarpements abrupts, taillés dans les versants marneux ou dans les terrasses fluviales. Par contre, sur les berges convexes évoluent différentes générations de barres de méandres qui relient graduellement des formations alluviales récentes, organisées en terrasses juxtaposées. D'autre part, du point de vue sédimentaire, la caractéristique de ce tronçon méandriforme est la présence de dépôts limoneux pouvant dépasser 5 m de puissance et qui forment des basses terrasses dans le fond de vallée. Ces limons, qui surmontent souvent une série grossière basale, témoignent des grands apports successifs au moment des crues. Ils dénotent une forte sédimentation qui surcharge le chenal et réduit par conséquent sa capacité de contenir les eaux des crues. Par exemple, dans le secteur du Douar Asdour, la crue de 2000 a favorisé un colmatage limoneux d'environ 0,60 m sur le lit majeur qui porte des oliviers (point d'information Pi 7 et photo 2, planche D).

L'analyse du paysage fluvial du fond de vallée a permis de définir trois unités géomorphologiques fondamentales, nécessaires pour la réalisation de la carte géomorphologique intégrée :

- i) La première correspond au lit mineur qui est limité normalement par les berges qui portent parfois la ripisylve. Cet espace correspond au lit des écoulements ordinaires et d'étiage, espace de divagation inclus (bande active). Il est généralement dépourvu de végétation puisqu'il est drainé et remanié par des débits fréquents et non débordants. Cette première unité est désignée par le terme terrasse T1.
- ii) La seconde unité correspond au lit majeur ou la terrasse T2. Elle domine la T1 de 3,50m et constitue l'unité géomorphologique la plus importante en extension mais aussi en matière de gestion et prévention du risque d'inondation. Car il s'agit d'un espace très attractif et progressivement occupé par les habitats ces dernières décennies. Cet espace se caractérise fréquemment par une morphologie fluviale de barre de méandres, avec des zones déprimées de chenalisation secondaire, favorables au déclenchement des débordements sur T2 au moment des crues. Ces zones se connectent au chenal principal et constitueraient des sites potentiels par où commencerait le débordement lorsque le débit à plein bord est dépassé. Comme on va le décrire dans le paragraphe 4.3, il est important de souligner ici que la T2 a été inondée à plusieurs reprises depuis 1995.
- iii) La troisième unité est la terrasse T3. Elle se présente préférentiellement sur les bords les plus externes du fond de vallée sous forme de petits replats isolés, dominant généralement la terrasse T2 par un talus progressif. A ce jour, aucune indication ne montre que la T3 a été affectée auparavant par des inondations de l'Oued Larbaa. Mais notre analyse estime qu'elle pourrait être effectivement inondée dans des événements exceptionnels futurs. Aujourd'hui cette terrasse porte de la céréaliculture et l'arboriculture (oliviers). D'après les photographies aériennes, cet espace n'a pas éprouvé de changements importants dans le type d'occupation du sol depuis l'année 1982, exception faite pour certains secteurs qui ont montré une progression des habitations (exemple du secteur NE du Douar Al Malha).

Notons enfin que des niveaux de terrasses perchés et plus anciens (niveaux quaternaires d'après la carte géologique de Taza), dominent l'ensemble des unités définies ci-dessus par un haut talus bien marqué dans le paysage. Ces niveaux ont été groupés en une seule unité morphologique, considérée non menacée par les inondations de l'Oued Larbaa. Ils se trouvent bien conservés surtout sur la rive gauche de l'Oued Larbaa, là où s'est développée une partie de la « ville basse » de Taza. En revanche, sur la rive droite ce sont les versants marneux pré-rifains qui s'imposent dans le paysage.

4.2. Eléments anthropiques

Le tronçon fluvial étudié porte les marques d'une forte anthropisation. Les éléments anthropiques qui sont à considérer et à noter sur la carte géomorphologique intégrée sont ceux qui peuvent entraver les écoulements et donc influencer les débordements ; c'est-à-dire ceux qui peuvent modifier le danger de l'aléa d'inondation tels que les digues, les ponts, les remblais et les décharges publics. Dans notre cas il s'agit essentiellement de trois types de faits :

- i) Les ponts mis en place par la population locale sur le chenal de l'Oued Larbaa (ex : ponts menant aux douars Al Malha et Asdour) sont sous - dimensionnés, très mal adaptés et faisant obstacles à la circulation de l'eau lors des crues ; leur obstruction est souvent aggravée par divers déchets emportés par le flot (Pi 4 et photo 3, planche I). Ceux-ci proviennent principalement de la grande décharge publique de Taza, installé sur la T2 à l'amont du Douar Al Malha. Par leur effet de barrage, ces ponts provoquent une surélévation du niveau du flot au moment des crues et, lorsqu'ils ne résistent pas à l'impulsion de l'eau accumulée derrière, ils sont emportés. Cela génère une puissante vague d'eau qui devient dévastatrice à l'aval (Akdin et al., 2003) ; c'est le cas par exemple du pont de la briqueterie près du Douars Asdour (Pi 8).
- ii) Les remblais constituent une autre forme d'impact anthropique favorable à l'inondation. Les observations de terrain et la photo-interprétation montrent que le fond de vallée de l'Oued Larbaa au nord de Taza est de plus en plus envahis par des accumulations de remblais variés (limons, débris, déchets de construction...). Celles-ci progressent en fait préférentiellement sur l'espace fluvial que représente la terrasse T2 et dont la morphologie originelle est très modifiée. Cette intervention anthropique conditionne beaucoup l'inondabilité dans le secteur, puisqu'elle implique la diminution de l'écrêtement des crues au niveau du lit majeur et favorise par conséquent la submersion sur des espaces localement favorables (souvent rives opposées aux sites des remblais) ; mais aussi dans les secteurs situés à l'aval (cas du remblai en face du Douar Al Malha ; photo 4, planche I). De plus, même si ces remblais sont suffisamment hauts dans certains cas et ne sont pas submergés par les eaux des crues, ils sont facilement érodables et s'incorporent au flux d'eau en augmentant la charge solide et par conséquent les conditions de débordement et d'inondation.
- iii) La décharge publique de Taza est une accumulation spécialement remarquable (Pi 5 et photo 5, planche I). En fonctionnement depuis les années 50, elle occupe actuellement une superficie d'environ 35000 m². Son volume continue à s'accroître (épaisseur dépassant 2m) en gagnant sur les terrasses T2 et T1, où elle est sapée par le courant. D'après les témoignages de la population locale, cette décharge constitue un facteur essentiel dans les phénomènes d'inondation dans le secteur. Car, au début, lors de la montée des crues, elle fait barrage à l'écoulement ; mais elle cède ensuite, en générant de puissantes crues débordantes et dévastatrices à l'aval.

Sur la carte géomorphologique intégrée (voir carte géomorphologique), en plus des actes ci-dessus, on a marqué plusieurs points avec un symbole signalant des sites particuliers de danger. Il s'agit principalement de routes ou chemins qui peuvent être facilement atteints et/ou interrompus par les inondations, ainsi que les ponts qui peuvent faire effet de barrage.

4.3. Inondation de référence

L'inondation du 27 septembre 2000 est considérée comme « inondation de référence ». Elle a été étudiée auparavant dans une perspective globale, qui traite principalement les causes de la genèse des inondations et leurs effets à l'échelle du bassin du l'Oued Larbaa (Akdin et al., 2003). D'après la DRH du Bassin du Sebou (DRH-Sebou, 2000 ; 2008), la crue est générée par le passage d'une perturbation orageuse localisée sur la région de Taza. Les pluies étaient concentrées dans le temps (depuis 15h45 mn jusqu'à 17h) et accompagnées par des chutes de grêle (tab.1).

Ces précipitations ont généré un écoulement torrentiel dans le bassin versant et ces affluents. Le niveau d'eau de l'Oued Larbaa a commencé d'augmenter vers 16 h pour atteindre son maximum à 17h30 min. La crue a été très brutale, détruisant la station hydrologique de Kasbat Beni Heitem (hauteur d'eau 3,5m). Vers l'aval, le flot de crue a dépassé dans certains endroits 7 m de hauteur. Le pic de crue arrive à la station de Bab Merzouka installée sur Oued Inaouène (à l'aval de la confluence avec l'Oued Lahdar) vers 2h du matin du 28 septembre 2000. Ici, la hauteur maximale a atteint 7 m, ce

qui correspond à un débit de 1786 m³/s et un volume d'eau estimé à plus de 47 Millions de m³ (DRH-Sebou, 2000). Notons cependant que ces données hydrologiques ne sont pas tout à fait représentatives de l'écoulement dans le tronçon que nous avons étudié ; puisque la station se trouve à l'aval du bassin de l'Oued Larbaa, intégrant aussi le bassin de l'Oued Lahdar. A ce propos, les rapports des études réalisés donnent des résultats différents pour le débit maximal à la station de Bab Merzouka, qui peut varier de 825m³/s à 1786 m³/s, ce qui correspondrait à une période de retour allant successivement de 9 à plus de 100 ans. Dans cette situation, on ne peut pas se confier à ces résultats pour bien caractériser l'inondation de référence (débit maximum réel, période de retour). De plus, même si ces données étaient cohérentes, la forte anthropisation du lit fluvial étudié déconseille à notre avis leur exploitation.

Quant aux dégâts et d'après la presse nationale cette inondation a affecté un total de 239 habitats et a provoqué 22 décès. Par contre, le rapport officiel n'a fait état que de 6 décès, en plus des hospitalisations. Les dégâts matériels étaient important et ont concernés divers secteurs (cultures, élevage, habitat, infrastructures, commerce, etc.) ; ils sont estimés officiellement à plus de 40 millions de dirhams (tab. 2).

Pour mieux caractériser cette inondation, il a fallu donc une recherche plus exhaustive sur le terrain afin de préciser notamment les hauteurs et les limites d'extension maximale. C'est ainsi qu'à partir des données des enquêtes sur le terrain, on a pu identifier le niveau atteint par l'eau de l'inondation de référence 2000 en une série de points. A ces endroits, l'eau submergeait les habitations installées sur la T2 sur des hauteurs d'environ 1,5 à 2 m selon leur localisation ; ce qui correspond à une hauteur de 5 à 7 m par rapport au niveau du lit mineur (Pi 1, 2, 3, 6 et 9 ; planche photos II).

Localité	Précipitations mm
Ain Boukallal	38
Bab Chhoub	31,7
Bab Mrouj	22
Bab boudir	17
Bab Marzouka	11,2
Had Msila	4
Taineste	3
Taza	3

Tableau 1. Les précipitations du 27 septembre 2000 dans la région de Taza (DRH - Sebou, 2000).

Secteur		Coût des dégâts (en dhs)
Immobilier	Habitat	8 770 000
	Commerce	2 040 000
Agriculture	Cultures	5 733 000
	Elevage	1 097 300
	Apiculture	552 000
	Céréales et fourrages	427 600
	Infrastructures	3 240 420
	Autres équipements	477 460
Infrastructure	Infrastructure routière	8 000 000
	Infrastructure ferroviaire	4 000 000
	Télécommunication	100 000
Dégâts privés	Pertes en meubles et produits	7 355 000
Total		41 793 680

Tableau 2. Les dégâts matériels occasionnés par l'inondation du 27 septembre 2000 (Province de Taza, 2000).

5. Classification et établissement des niveaux de danger : carte de zonage de l'aléa d'inondation

Comme on l'a signalé auparavant, il est difficile de se baser directement sur les données hydrologiques concernant les débits pour établir une classification raisonnable des niveaux du danger d'inondation dans le secteur d'étude. Il en est de même pour les pluies, car celles-ci sont souvent très localisées dans le bassin versant et, par conséquent, les débits maximums peuvent être différents d'un oued à l'autre au sein du même bassin. De plus, il s'agit de régimes torrentiels très irréguliers et les résultats de l'analyse statistique des séries hydrologiques pourraient être très peu représentatifs. D'autre part, les changements dans le lit de l'Oued Larbaa, en raison de la sédimentation naturelle et de l'anthropisation, représentent un autre problème pour faire la liaison entre débits - volumes en transit et le risque d'inondation. Car le comblement de l'espace fluvial par les remblais et les décharges réduit la capacité du lit, favorise des débordements et influence de ce fait le zonage du danger d'inondation.

C'est ainsi que pour faire la classification et la détermination spatiale des niveaux d'aléas, en tenant compte de toutes les constatations et contraintes citées précédemment, on s'est basé principalement sur les données historiques, les enquêtes de terrain et la carte géomorphologique intégrée. Dans cette approche on a tenu compte surtout de considérations de fréquence relative et de conditions hydrodynamiques significatives, telles la hauteur de submersion et l'énergie du courant) :

a) Les fréquences d'inondation ont été différenciées du point de vue qualitatif en 3 classes : i) très fréquent, ii) fréquent et iii) peu fréquent. De toute évidence, ces classes correspondent respectivement aux terrasses T1, T2 et T3 : le lit mineur (T1) est le plus fréquemment inondé (submersion très fréquente) ; la terrasse T2 a été affectée de plus en plus fréquemment depuis 1995 et elle a été atteinte successivement par les crues de 2000, 2002, 2007 et 2008 (submersion fréquente) ; la différence entre ces inondations réside en fait principalement dans la variation de la hauteur de la submersion sur la T2 (hauteur variant entre 0,5 m et 2m à Douar Al Malha, par exemple). Nous avons estimé que la terrasse T3 pourrait être éventuellement submergée dans le futur par des inondations exceptionnelles, lorsque les crues seront plus puissantes que celle de 2000 (submersion peu fréquente ou exceptionnelle).

Enfin, cette classification considère que les terrasses alluviales anciennes de rive gauche et les versants qui délimitent le fond de vallée sur la rive droite, représentent des «espaces non inondables » par les écoulements de l'Oued Larbaa.

b) Conjointement, pour établir une classification encore plus précise de l'aléa inondation, on a fait aussi appel à la dynamique du courant en tenant compte de deux variables hydrodynamiques essentielles : la hauteur de la submersion et la vitesse relative du courant. On a ainsi établi 3 classes de dynamiques : i) très forte pour T1 ; ii) forte pour T2 et iii) faible pour T3. Selon cette classification, l'énergie hydrodynamique maximale correspond à T1 où se concentrent les flux de vitesse maximale, et où la hauteur d'eau peut dépasser 3,5 m lors du débordement. Sur la terrasse T2, d'après l'inondation de référence, la hauteur de submersion est supérieure à 1 m et peut atteindre 2 m ; il s'agit donc d'une zone de moindre hauteur/vitesse par comparaison à la T1. La terrasse T3 n'a pas été submergée par la crue de référence, puisque elle est plus élevée et éloignée de l'axe principal de concentration des écoulements ; dans le cas d'une éventuelle submersion, la hauteur du flot et la vitesse du courant seraient minimales sur cette terrasse.

c) En tenant compte des considérations ci-dessus et des critères suivis par Fernandez et al. (2008) et ceux proposés en France pour les PPR d'inondation (op. cit.), la classification définitive retenue est utilisée sur la carte de zonage de l'aléa établie avec ArcGis (voir carte aléa), est la suivante :

i) zone d'aléa très fort : inondation très fréquente avec une hauteur de submersion supérieure à 3,5m et une très haute énergie ;

ii) zone d'aléa fort : inondation fréquente, avec une hauteur de submersion pouvant atteindre 2 m et une haute énergie ;

iii) zone d'aléa faible : inondation probable peu fréquente, avec hauteur de submersion et vitesse minimales (faible vitesse et faible énergie).

Il importe de signaler qu'en tenant compte de l'échelle utilisée pour cartographier et des moyens disponibles, même si les grandes accumulations de remblais ont été cartographiées, leurs effets sur l'aléa d'inondation n'ont pas été considérés. Pour aborder ces effets et connaître les probabilités de submersion des zones à remblais, il faudrait travailler à une échelle beaucoup plus détaillée, afin de préciser notamment la hauteur de ces matériaux et d'autres caractéristiques (granulométrie, compactage, résistance, etc.).

Conclusion

L'application de la « Méthode Géomorphologique Intégrée » au cas de la zone périurbaine de Taza a permis de réaliser une carte de zonage du danger de l'aléa d'inondation. Celle-ci est basée sur la carte géomorphologique intégrée et en s'appuyant sur des observations de terrain, enquêtes, photo-interprétation et images satellitaires. Elle permet d'apporter des indications précises sur la spatialisation des submersions lors des phénomènes d'inondation et de graduer le danger qui leur est associé.

L'étude du cas de Taza montre que la méthode utilisée peut être facilement adaptée et appliquée à d'autres sites menacés par les inondations, que ce soit dans le bassin versant du Sebou ou dans d'autres bassins du Maroc.

La carte obtenue en utilisant ArcGis peut être considérée comme outil de base pour orienter des décisions en matière de prévention de l'aléa inondation, d'aménagement, de gestion et d'établissement de réglementations d'occupation fiables pour l'espace fluvial étudié.

Cependant, l'application de la méthode au cas de la zone périurbaine de Taza nous a permis de tirer certains enseignements, à savoir :

- i) Les précisions apportées sur la carte du zonage d'aléa inondation restent relatives et valables pour l'échelle du fond utilisé pour cartographier l'ensemble du tronçon fluvial concerné par l'étude.
- ii) La méthode géomorphologique intégrée et l'image satellitaire *Google Earth* professionnel permettent en effet une cartographie à des échelles encore plus détaillées, lorsqu'on s'intéresse par exemple à un site bien précis (par exemple, préciser le zonage de la submersion dans un seul quartier).
- iii) La carte du zonage d'aléa d'inondation fournie dans ce travail est valable seulement pour la date de sa réalisation. En effet, la forte anthropisation de l'espace fluvial étudié, notamment la progression de remblais, implique des modifications rapides et significatives dans l'extension et la morphologie des unités hydrogéomorphologiques considérées pour spatialiser et graduer le danger associé à l'aléa d'inondation. L'occupation rapide et croissante du secteur étudié peut donc affecter et modifier dans l'avenir les limites de graduation et zonage établies dans cette étude. Ces considérations conseillent donc des révisions périodiques.

Références

- Agence Urbaine de Taza, 2000.** Rapport portant sur les inondations survenues à Taza le 27 septembre 2000. Rapport interne, 6p.
- Agence Urbaine de Taza, 2002.** Rapport analytique de crue de 22 Novembre 2002, 16p.
- Agoumy T., 1979.** La croissance de la ville de Taza (Maroc) et ses conséquences sur la disharmonie urbaine. Thèse de 3ème cycle, Univ. de Tours, 240 p.
- Akdim B., Laouane M., Taous A et Obda K., 2003.** Les risques d'inondation dans la région de Taza: genèse, conséquences et problèmes d'aménagement. *Geomaghreb*, 1, 47- 60.
- Ballais, J.-L., Garry, G. et Masson M., 2005.** Contribution de l'hydrogéomorphologie à l'évaluation du risque d'inondation : le cas du Midi méditerranéen français. *C.R. Geosciences*, 337, 1120-1130.
- DRH-Sebou, 2000.** Crue du 27 /09/2000 dans la ville de Taza et région. Rapport, 6p.
- DRH-Sebou, 2008.** Etude de délimitation des zones inondables dans le bassin du Sebou. Etude hydrologique. Rapport INGEMA, 52p.
- Ek C. Mathieu L., 1964.** Quelques observations sur les effets de pluies violentes de janvier 1963 dans le Moyen Atlas et le Prérif. *Travaux géographiques de Liège*, 148, 281-299.
- EU, 2000.** Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, 72 p.
- EU, 2004.** Communication de la Commission du 12 juillet 2004, « Gestion des risques liés aux inondations - prévention, protection et mitigation des inondations », COM (2004), 472 final, 13 p.
- EU, 2007.** Directive 2007/60/CE du Parlement Européen et du conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation, 8p.

- Fernández-Lavado, C., Furdada, G., Marqués, M. A. 2008.** Geomorphological method in the elaboration of hazard maps for flash-floods in the municipality of Jucuarán (El Salvador). *Natural Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 455- 465
- Furdada, G., Calderon, L.E. & Marques, M. A., 2008.** Flood hazard map of La Trinidad (NW Nicaragua). Method and results. *Natural Hazards*. 45, 183-195.
- Gary G. Ballais J-L. et Masson M., 2002.** La place de l'hydrogéomorphologie dans les études d'inondation en France méditerranéenne. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*. 1, 5-16.
- HCP (Haut Commissariat au Plan), 2004.** Aspects démographique et socio-économique de la région de Taza-Al Hoceima –Taouante. 47p.
- MAE et METL (Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement), 1999.** Plans de prévention des risques naturels (PPR). Risques d'inondation : guide méthodologique, Paris. La documentation française, 123p.
- Munchener Rück, Munich Re Group, 2005.** Topics Geo. Retrospective des catastrophes naturelles survenues en 2004. Collection Connaissances. Munich, 54 p.
- Munchener Rück, Munich Re Group, 2006a.** Topics Geo. Retrospectiva Catástrofes naturales 2005. Edición Saber. Munich, 56p.
- Munchener Rück, Munich Re Group, 2006b.** Topics Geo. Retrospective des catastrophes naturelles survenues en 2005. Collection Connaissances. Munich, 52 p.
- Munchener Rück, Munich Re Group, 2007a.** Topics Geo. Retrospectiva Catástrofes naturales 2006. Edición Saber. Munich, 54 p.
- Munchener Rück, Munich Re Group, 2007b.** Topics Geo. Catastrophes naturelles 2006. Analyses-Evaluation-Position. Collection Connaissances. Munich, 54 p.
- Norbiato D. , Borga M., Sangati M. Et Zanon F., 2007.** Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern italian Alps and the august 29, 2003 flash flood. *Journal of hydrology*, 345, 149-166.
- Kajjaj A. 2007.** Gestion des risques naturels dans le cadre de l'aménagement urbain et périurbain de la ville de Taza. Mémoire Master, FLSH Sais-Fès, 168p. (En arabe).
- Leblanc D., 1979.** Etude géologique du Rif externe oriental au Nord de Taza (Maroc). Notes et Mémoires, Service Géologique Marocain, Rabat, 281, 1-159.
- Province de Taza, 2000.** Rapport sur les inondations survenues le 27 septembre 2000. Rapport interne, 22p.
- Sibari H., Haidi S., et Aït Fora A., 2001.** Typologie des crues et érosion mécanique dans un bassin versant de zone semi – aride : Bassin versant de l'Inaouène, Maroc. *Sécheresse*, 12, 3, pp. 187- 193.
- Taous A., Tribak A., Laouane M. et Akdim B., 2004.** L'impact des cônes de déjection sur le comportement hydro-morphodynamique actuel des oueds pré-rifains. Cas de l'Oued Larbaa. *Rev. Géogr. Alpine*, 1, pp. 17-28.
- Tribak A. 2000.** L'érosion hydrique en moyenne montagne du Pré-rif oriental (Maroc), étude des agents et des processus d'érosion dans une zone de marnes tertiaires. Thèse de doctorat d'état, Univ. Chouaib Doukali, Eljadida.
- Tribak A. 2006.** Impacts des phénomènes pluviométriques exceptionnels sur les milieux montagnards marocains : cas du Pré-rif oriental ; Actes du XIXème colloque de l'AIC "Les risques liés au temps et au climat", Epernay France, Setembre 2006. pp. 526-531.
- Tribak A., Obda Kh., Laouane M. et Taous A., 2008.** L'érosion anthropique entre emprise et déprise humaines en moyenne montagne du Pré-rif au Nord de Taza (Maroc). L'érosion anthropique au Maroc : Méthodes d'étude, extension et processus. Actes de la rencontre scientifique du groupe Pars-Géo 14, 23-24 Déc. 2005, Univ. Kénitra, 41-55.
- Vilaplana, J.M. et Payàs. B., 2008 .** RISKCAT : els riscos naturals a Catalunya. Los riesgos naturales en Cataluña. *Natural risks in Catalonia*. Generalitat de Catalunya. CADS (Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible), Barcelona. 226 p. et CD.

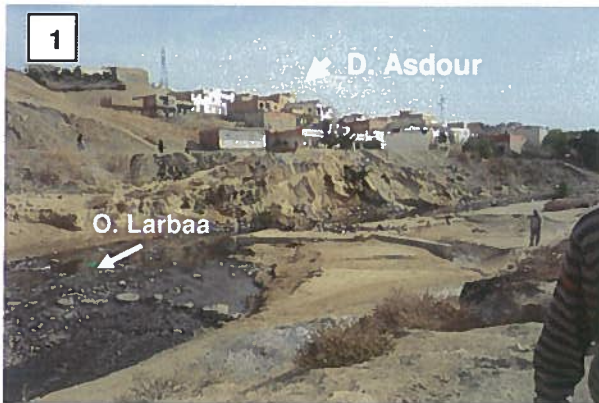


Planche photos I.

Photo 1. Occupation de l'espace fluvial : cas du Douar Asdour.

Photo 2. Limons de débordement aux pieds des oliviers de la terrasse T2.

Photo 3. L'obstruction des ponts sous-dimensionnés par les déchets aggrave l'inondation. Ici le cas du pont menant à Douar Al Malha.

Photo 4. Progression des remblais sur le lit majeur de l'Oued Larbaa (T2). Cas pris sur la rive gauche en face Dr Al Malha.

Photo 5. La décharge publique de Taza.

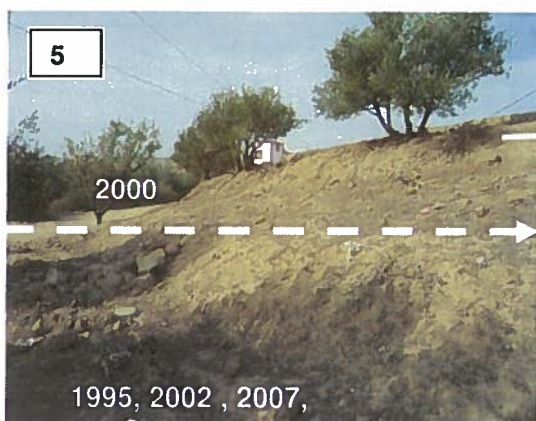
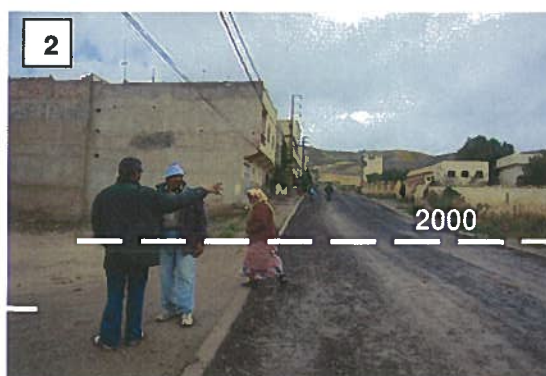
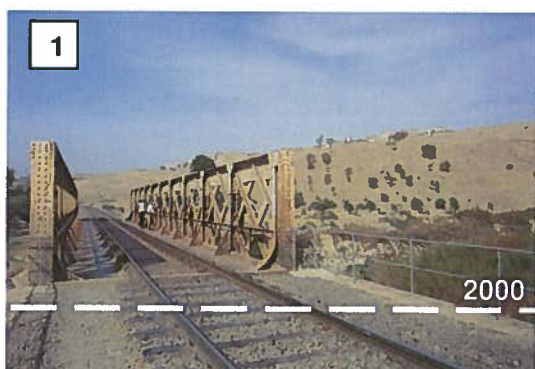


Planche photos II.

Photo 1. Le pont de l'ONCF à l'aval du Douar Al Malha : ici la hauteur d'eau de l'inondation de 2000 a dépassé 6 m et le pont a été submergé sur environ 60 cm.

Photo 2. La ligne indique le niveau atteint par l'inondation de référence sur la route traversant le Douar Al Malha.

Photo 3. Habitat au Douar Al Malha : on indique ici les niveaux atteints par les submersions de 2000 et de 2007 ; le niveau de l'inondation de 2002 se place entre les deux.

Photo 4. Le niveau atteint par la submersion de 2000 à Douar Asdour.

Photo 5. Talus dominant la terrasse T2 à l'amont du Douar Asdour. La première ligne indique le niveau atteint par la submersion de 2000. Selon les témoins locaux, les niveaux d'autres inondations (cas de 1995, 2002, 2007...), se situaient en contrebas, à l'emplacement indiqué par la deuxième ligne sur la terrasse T2.

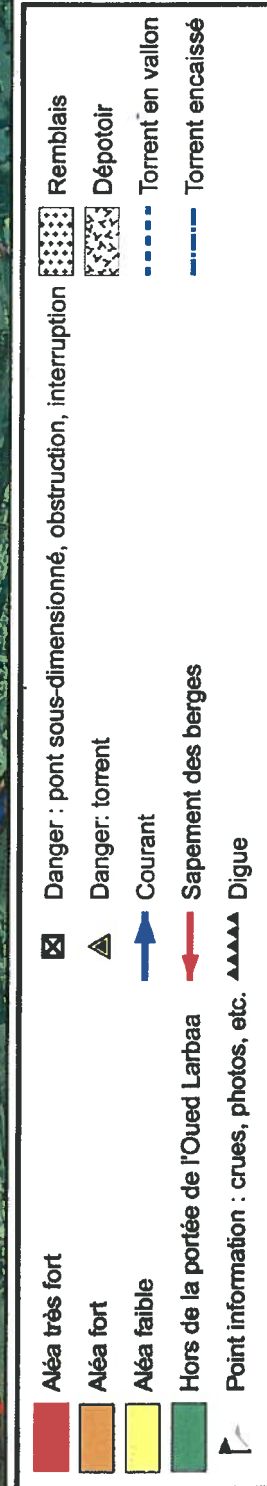
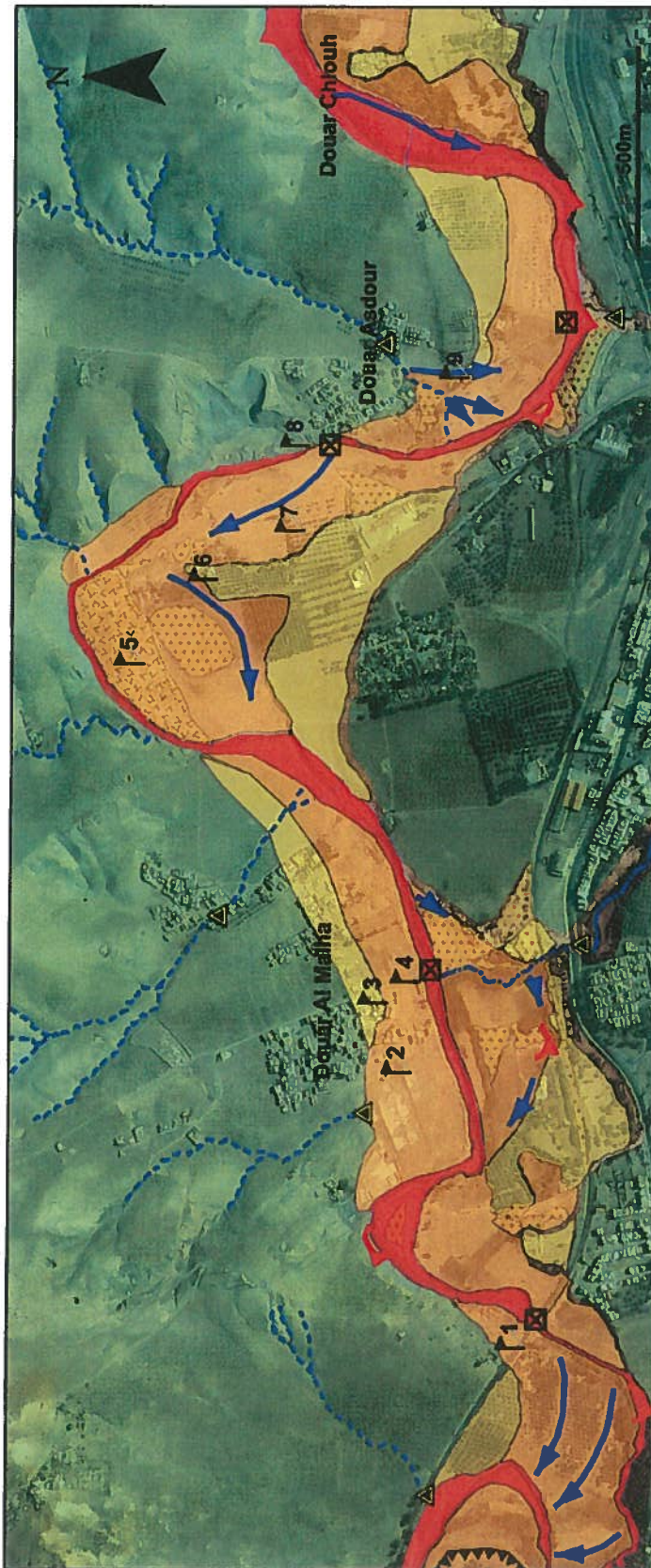
Carte géomorphologique intégrée du secteur périphérique au nord de Taza



Terrasse 1	Remblais	Courant	Point information : crues, photos, etc.
Terrasse 2	Dépotoir	Torrent encaissé	Danger: torrent
Terrasse 3	Escarpement terrasse	Torrent en vallon	Danger : pont sous-dimensionné, obstruction, interruption
Niveaux haut	Escarpement majeur	Sapement des berges	
Versant mameux	Digue	Inondation 2000 avec termoins	

Carte réalisée dans le cadre du projet conjoint de recherche du Comité Mixte Inter universitaire Maroc - Espagnol (projet n° : A.017001/08 de l'AFECTD) ;
 Equipe espagnole : M. A. Marrero (2), G. Furdada (2) et R. Juliá (3) ; Equipe marocaine : A. Taous, Kh. Oubda, M. Amygy, M. Larouane, A. Tribak, B. Aldim (1)
 (1) LAGEA, USMBA, P&S - (2) Groupe RISKINAT, Univ. Barcelone (3) : Inst. of Earth Sciences "Jaume Almera", CSIC, Barcelone.

Carte de zonage de l'aléa d'inondation de l'Oued Larbaa dans le secteur périphérique au nord de Taza



Carte réalisée dans le cadre du projet conjoint de recherche du Comité Mixte Inter universitaire Maroc - Espagnol (projet n° : A/017001/08 de l'AEICID) :
 Equipe espagnole : M. A. Marques (2), G. Furdada (2) et R. Julià (3). Equipe marocaine : A. Taouss, Kh. Obula, M. Amyay, M. Laouane, A. Tribak, B. Akdim (1)
 (1) LAGEA, USMBA, Fés - (2) Groupe RISKINAT, Univ. Barcelone (3) : Inst. of Earth Sciences "Jaume Almera", CSIC, Barcelone