

## Problèmes méthodologiques liés à la cartographie des phénomènes d'inondation dans deux bassins versants marocains

Emmanuel Reynard<sup>1</sup>, Gabriela Werren<sup>1</sup>, Mohamed Lasri<sup>2</sup> & Khalid Obda<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Institut de Géographie, Université de Lausanne, Bât. Anthropole, CH – 1015 Lausanne ;  
emmanuel.reynard@unil.ch, +41 (0)21 692 30 65

<sup>2</sup> Laboratoire d'Analyses Géo-Environnementales et d'Aménagement (LAGEA),  
Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université de Fès-Saïs, Route d'Imouzzer, M – 30000 Fès

### Résumé

*La cartographie des phénomènes constitue une étape essentielle de la réalisation de cartes de dangers. Cet article présente les problèmes méthodologiques liés à la réalisation d'une carte des phénomènes d'inondation dans les bassins versants des agglomérations de Fès et Beni Mellal au Maroc. L'étude s'est notamment heurtée à la nécessité d'élaborer une légende adaptée au milieu semi-aride méditerranéen, à l'indigence des données hydrologiques, à la qualité très variable des fonds topographiques, à l'urbanisation rapide et à la taille différente des deux bassins versants étudiés.*

**Mots clefs:** *Risque d'inondation, cartographie des phénomènes, Maroc.*

### 1. Introduction

En Suisse, l'élaboration de cartes de dangers est devenue au cours des dernières décennies un instrument incontournable de la protection contre les dangers naturels (ZIMMERMANN *et al.*, 2005 ; KUNZ & HURNI, 2008). Sur fond de changement climatique mais aussi socio-politique et démographique, la question des risques naturels se pose de plus en plus dans les pays en voie de développement tels le Maroc (EL FOUNTI, 2003). Dans ce cadre, une initiative de la Direction du Développement et de la Coopération suisse (DDC) vise un transfert de savoir-faire dans le domaine, par le développement de cartes de dangers d'inondation dans des bassins versants urbanisés.

Cet article est centré sur la mise en œuvre de la méthodologie développée en Suisse et sur les adaptations nécessaires dans un environnement naturel et socio-économique si différent. Quels défis faut-il relever et dans quelle mesure la méthode s'adapte-t-elle à la réalité marocaine ? Nous développons cette thématique en analysant les résultats de la première phase du projet qui a visé l'élaboration d'une carte des phénomènes d'inondation.

### 2. Le projet et les terrains d'étude

La DDC est engagée au Maroc depuis 2008 dans des projets destinés aux migrants de passage et des mesures de prévention des catastrophes naturelles. Dans ce second domaine, les actions portent principalement sur la prévention, la mise en place d'équipes locales de sauvetage (ZUMSTEIN, 2010) et le transfert de savoirs. L'un des volets du programme de la DDC au Maroc vise à élaborer une carte indicative des dangers hydrologiques dans les bassins versants des agglomérations de Fès et Beni Mellal (fig. 1).

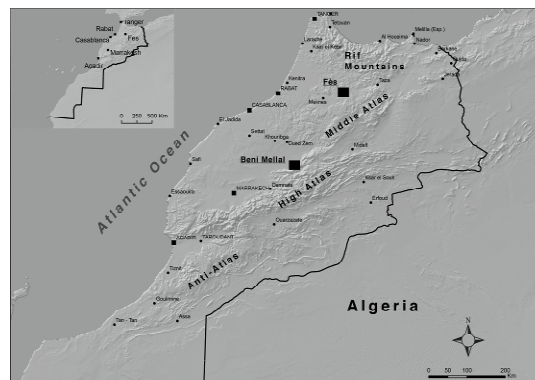


Fig. 1 : Situation des deux bassins versants étudiés.

L'étude a été confiée conjointement au Laboratoire d'Analyses Géo-Environnementales et d'Aménagement (LAGEA) de l'Université de Fès et à l'Institut de Géographie de l'Université de Lausanne (IGUL). Elle est réalisée en plusieurs étapes : (1) l'élaboration d'une carte des phénomènes, (2) l'analyse hydrologique des bassins versants, (3) l'élaboration d'une carte de la vulnérabilité et, finalement, (4) d'une carte indicative des dangers d'inondation au 1 : 25'000. L'étude doit aboutir à la rédaction de recommandations en vue de la gestion des risques d'inondation.

Les résultats préliminaires ont fait l'objet de deux publications présentant les principales caractéristiques hydrogéomorphologiques des deux bassins versants (LASRI *et al.*, 2011 ; WERREN *et al.*, 2011). Les deux bassins versants sont très différents du point de vue de la surface et des caractéristiques géomorphologiques et hydrologiques.

Le bassin versant de l'oued Fès couvre une surface de 879 km<sup>2</sup> et se compose de trois unités topographiques différentes (fig. 2) : le causse du Moyen Atlas au sud, formé de plateaux étagés du sud au nord entre 2020 et 1000 m, le plateau du Saïs, qui représente la partie la moins élevée du bassin versant (600 à 400 m) avec une douce inclinaison (0.1 %) du sud vers le nord, et les Rides préifaines, au nord, qui forment une montagne d'altitude moyenne (900 m), surplombant la vallée de l'oued Fès (alt. minimale 200 m) par des versants raides et ravinés.

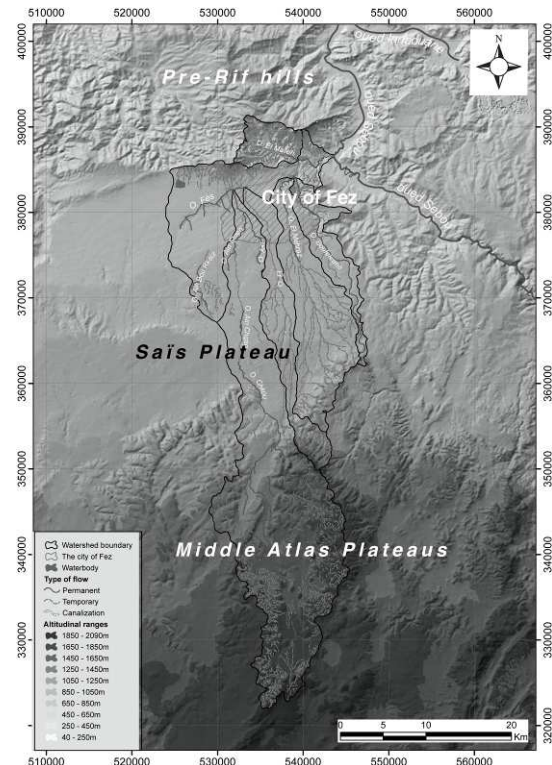


Fig. 2 : Caractéristiques hydrologiques et géomorphologiques du bassin versant de l'oued Fès.

La pluviométrie moyenne est comprise entre 979 mm par an sur le causse au sud et 500 mm à Fès, avec une très forte irrégularité intra- et interannuelle. Le temps de concentration des oueds est compris entre 1h et 5h selon les affluents de

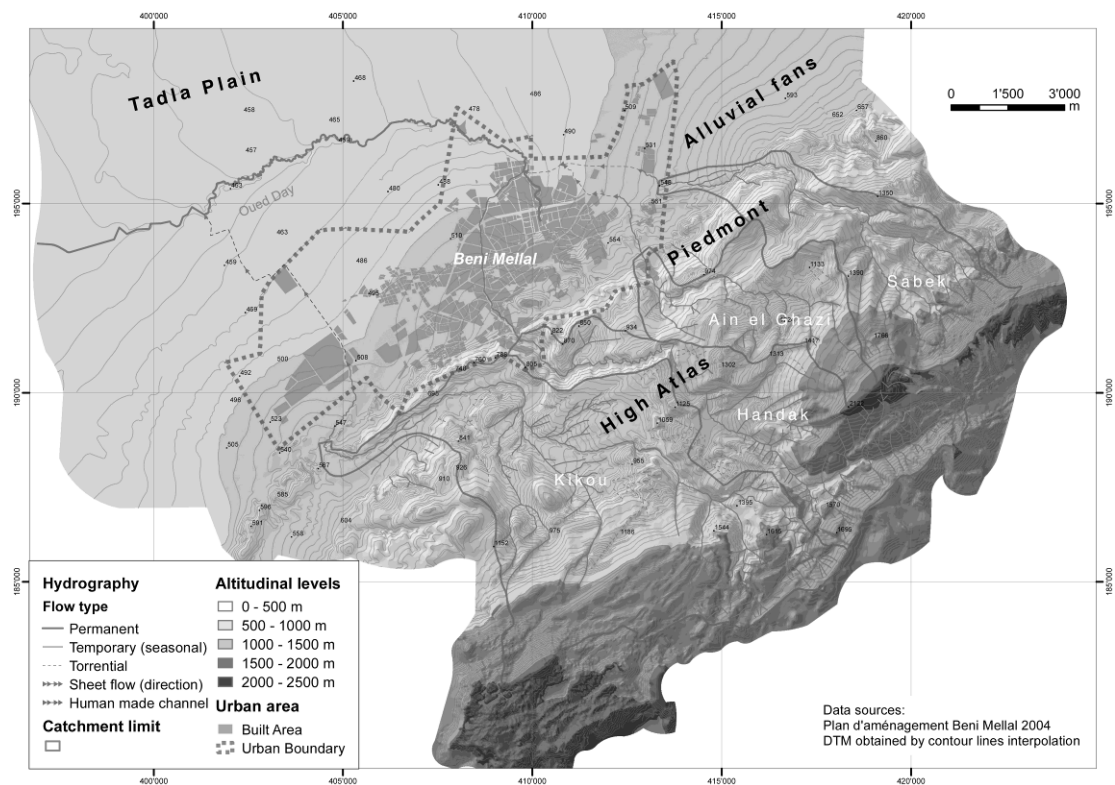


Fig. 3 : Caractéristiques hydrologiques et géomorphologiques des bassins versants de la région de Beni Mellal.

l'oued Fès (LASRI *et al.*, 2011).

La ville de Beni Mellal est située à l'exutoire de quatre petits bassins versants de montagne (fig. 3), d'est en ouest, les oueds Sabek (26.1 km<sup>2</sup>), Aïn El Ghazi (14 km<sup>2</sup>), El Handak (31.1 km<sup>2</sup>) et Kikou (63.7 km<sup>2</sup>). Les altitudes sont comprises entre 2411 m et 450 m. Les quatre oueds ont creusé des canyons spectaculaires, avec des vallées amont aux versants très raides et à la végétation très dégradée (WERREN *et al.*, 2011). La pluviométrie est relativement abondante, avec des moyennes annuelles de l'ordre de 617 mm par année à El Ksiba (1050 m) et de 415 mm à Beni Mellal (537 m). Comme dans le bassin de l'oued Fès la variabilité intra- et interannuelle est très élevée, mais ici, vu la taille et la compacité des bassins versants, ainsi que la dégradation des versants, les temps de concentration des crues sont très courts, de l'ordre de 15 à 30 minutes.

### 3. La carte des phénomènes

#### 3.1 L'élaboration de la carte

La cartographie des phénomènes a pour but une analyse détaillée des témoins laissés par des événements à forte intensité et en même temps, elle sert à désigner les sites critiques du point de vue du danger naturel (KIENHOLZ & KRUMMENACHER, 1995). Dans les deux bassins versants étudiés, la carte des phénomènes joue un rôle central en vue de l'élaboration de la carte indicative des dangers d'inondation dans la mesure où le manque de données hydrologiques limite les possibilités de modélisation hydrologique et hydraulique. Deux approches complémentaires ont été adoptées.

La première est la méthode suisse de cartographie des phénomènes (KIENHOLZ & KRUMMENACHER, 1995). La seconde est la méthode hydrogéomorphologique, développée en France, qui consiste à étudier finement la morphologie des plaines alluviales et à retrouver sur le terrain les limites physiques associées aux différentes gammes de crues qui les ont façonnées (MASSON *et al.*, 1996 ; BALLAIS *et al.*, 2005). A partir de cette double base méthodologique, une légende spécifique a été élaborée, qui tient compte des caractéristiques hydrogéomorphologiques des deux terrains étudiés. Elle met en évidence les éléments naturels et anthropiques représentatifs pour la compréhension de la problématique des inondations dans chacun des cas.

Trois contextes hydrogéomorphologiques ont été distingués : le contexte de vallée (commun aux deux terrains), les plaines alluviales (sur l'oued Fès) et les cônes alluviaux (spécifiques à Beni Mellal). Pour chaque type d'environnement, des formes spécifiques ont été cartographiées. Différents éléments anthropiques ont également été cartographiés, notamment les objets obstruant les écoulements, les remblais, les canaux artificiels et les différents types d'occupation du sol, ainsi que les principales voies de communication. Ces objets sont très utiles pour la mise en évidence des sites critiques qui, en zone urbanisée, sont souvent liés à une interaction entre les formes anthropiques et le fonctionnement naturel des hydrosystèmes.

Dans les deux cas, les traces d'un épisode de référence récent ont également été repérées lors de campagnes de terrain et l'extension spatiale de cette crue de référence a été cartographiée. A Fès, il s'agit de l'inondation de mars 2010 qui a provoqué des dégâts importants et affecté de nom-

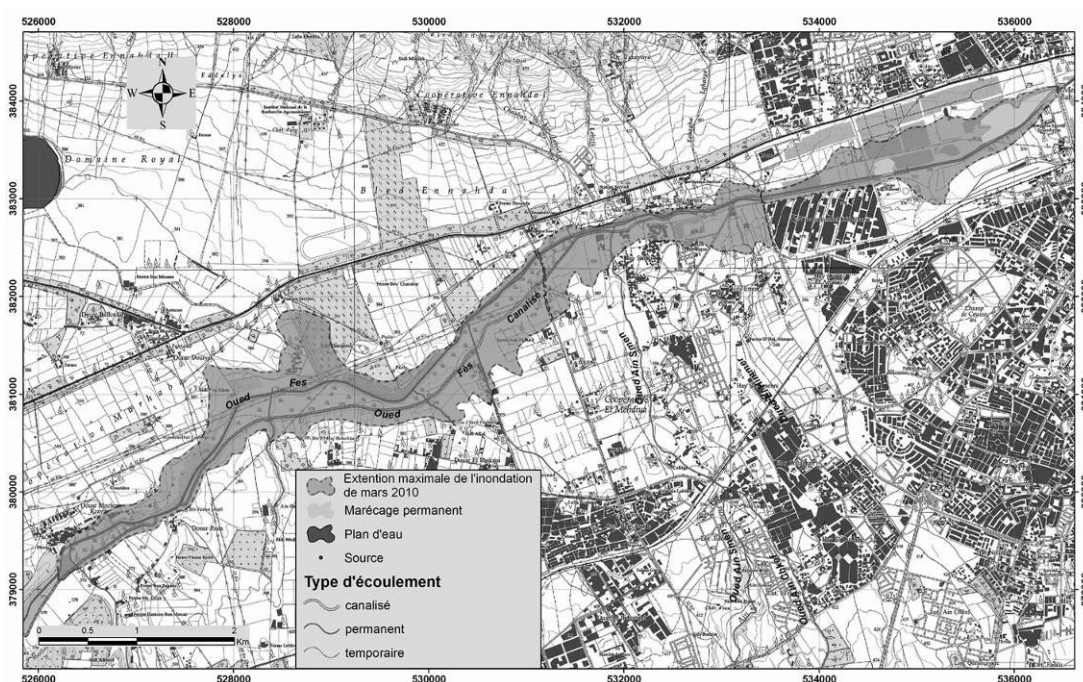


Fig. 4 : Extension spatiale de l'inondation de mars 2010 à la périphérie de Fès.

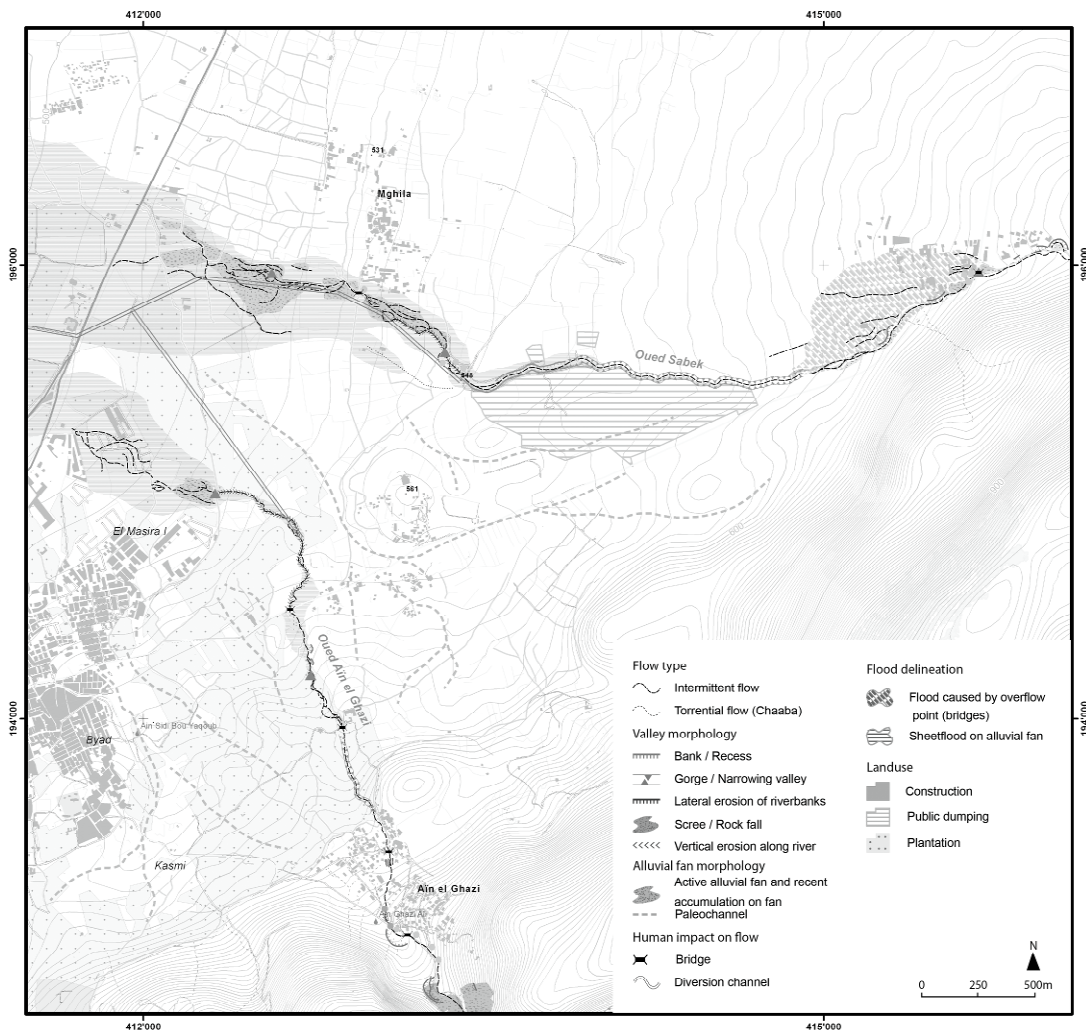


Fig. 5 : Extrait de la carte des phénomènes de Beni Mellal.

breuses zones habitées (LASRI *et al.*, 2011 et fig. 4). A Beni Mellal, il s'agit de la crue du 29 septembre 2009, qui a touché les quatre bassins versants débouchant sur la ville et dont l'ampleur est considérée comme exceptionnelle (WERREN *et al.*, 2011). La crue du 8 mars 2010 a également été documentée. La délimitation de ces crues servira à la vérification des résultats issus des travaux de modélisation hydrologique (deuxième phase de la recherche).

Les deux cartes générales ont été élaborées sur support informatique au moyen du logiciel SIG ArcMap. La carte générale des phénomènes a été réalisée à une échelle de 1 : 15'000 pour le terrain de Beni Mellal et 1 : 20'000 pour celui de Fès.

### 3.2 Des approches différenciées

Les caractéristiques hétérogènes des deux terrains ont imposé des choix méthodologiques différents. Dans le cas de Fès, dont le bassin versant couvre une surface d'environ 800 km<sup>2</sup>, les cours d'eau ont mis en place des plaines alluviales dans lesquelles la méthode hydrogéomorphologique française est la plus adaptée. La cartographie a été

réalisée sur le terrain, à l'aide d'un outil de cartographie mobile, à la différence de la méthode de base qui utilise principalement les photographies aériennes.

Le terrain de Beni Mellal est formé de quatre petits bassins versants dont les crues éclair débouchent sur une zone de piémont formée d'anciens cônes alluviaux sur lesquels s'est développée la ville. Les dépôts alluviaux étant difficiles à différencier sur les cônes, la cartographie a consisté principalement à repérer les témoins de crues existant sur le terrain (traces d'érosion, anciens chenaux, zones d'épandage, etc.), avec un accent mis sur la morphologie de cône alluvial, qui impose un comportement hydrogéomorphologique spécifique (écoulement en nappe, existence de nombreux chenaux distribuant les eaux arrivant à l'apex des cônes) (fig. 5).

### 3.3 Les défis cartographiques

Un obstacle important dans la mise en carte des éléments recueillis sur le terrain a été l'hétérogénéité des données disponibles pour la

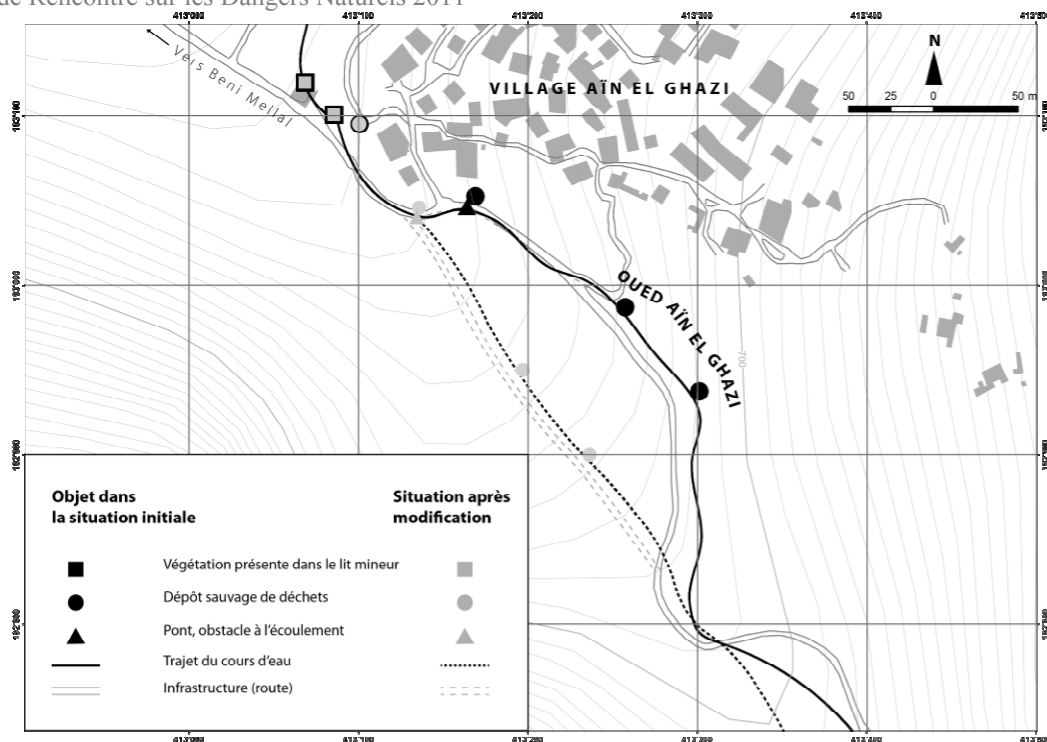


Fig. 6 : Déformations induites par la mauvaise qualité des cartes de base.

création de la carte de base. Ainsi, pour le terrain de Beni Mellal, les MNT à disposition ont une faible résolution spatiale et une marge d'erreur significative. Notre choix s'est arrêté sur le MNT ASTER<sup>1</sup>, à une résolution de 30 m, qui couvre l'entier du bassin versant. Des données plus précises provenant du plan de restitution de la ville de Beni Mellal sont disponibles seulement pour la zone urbaine. Par conséquent, garder l'unité de la carte impose une perte d'information et des déformations fortuites des données existantes (fig. 6). En raison de l'urbanisation rapide, les données urbaines ont par ailleurs nécessité une mise à jour réalisée par numérisation des éléments à l'aide des dernières données GoogleMaps<sup>2</sup> disponibles.

Du point de vue cartographique, le besoin d'uniformiser la représentation des phénomènes entre deux terrains différents a imposé un certain nombre de choix, au prix d'une relative perte d'information.

Finalement, s'est posé un problème d'échelle, dû principalement aux différences de taille entre les terrains étudiés et à la nécessité de pouvoir lire les détails de certains secteurs riches en informations. La méthode suisse se base sur une légende dite « modulable » qui contient des symboles complémentaires pour des cartes à différentes échelles. Nous avons ainsi réalisé une carte générale pour chaque agglomération urbaine, accompagnée de « cartes – zoom » présentant en détail les sites-clés ou des problèmes spécifiques.

#### 4. Conclusion

Les difficultés rencontrées dans l'élaboration des cartes des phénomènes réalisées dans le cadre de cette étude mettent bien évidence les défis liés à la transposition des approches cartographiques développées dans les pays industrialisés dans des contextes de pays en voie de développement (ZIMMERMANN *et al.*, 2005) : la difficulté d'obtenir des bases topographiques à haute résolution, de qualité identique pour l'ensemble du bassin versant étudié et l'indigence des données de mesures (climatiques, hydrologiques), qui limitent les possibilités de modélisation et rendent ainsi la cartographie des phénomènes d'autant plus importante et intéressante en termes de coûts.

Dans les deux bassins étudiés, le défi majeur demeure toutefois la difficulté à obtenir des données numériques sur l'intensité des précipitations et sur les débits journaliers et instantanés des cours d'eau nécessaires à la modélisation. Ce manque de données limite fortement les possibilités de modélisation hydrologique et hydraulique et nécessite le recours à des approches semi-quantitatives basées sur le calcul d'indicateurs hydrologiques. C'est l'objet de la deuxième phase du projet, en cours, et nul doute que la carte des phénomènes constituera un très bon moyen de valider les résultats obtenus dans cette seconde phase. La carte des phénomènes constitue pour le moment un document très utile pour les docu-

ments d'aménagement, en l'absence d'une véritable carte des risques.

**Remerciements** : Cette étude est réalisée dans le cadre du projet « Gestion du risque d'inondation dans deux bassins versants marocains : Fès et Beni Mellal » initié et financé par la Direction du Développement et de la Coopération (DDC) suisse. Nous remercions tout particulièrement M. Fabrizio Poretti, représentant de la DDC à Rabat, et à M. Jürg Zumstein, conseiller principal auprès de la section Moyen Orient et Afrique du Nord à la DDC, pour leur soutien. Nos remerciements vont également aux collègues de Lausanne et de Fès pour les fructueuses discussions sur le terrain.

## Références

- BALLAIS, J.-L., GARRY, G. & MASSON, M. (2005) : *Contribution de l'hydrogéomorphologie à l'évaluation du risque d'inondation : le cas du Midi méditerranéen français*. C.R. Géosciences, 337, 1120-1130.
- EL FOUNTI, L. (2003) : *La gestion des risques au Maroc*. 2<sup>nd</sup> FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003, 6 pp.
- KIENHOLZ, H. & KRUMMENACHER, B. (1995) : *Recommandations. Légende modulable pour la cartographie des phénomènes*. Berne, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, 38 pp.
- KUNZ, M. & HURNI, L. (2008) : *Hazard maps in Switzerland. State-of-the-art and potential improvements*. Proc. 6<sup>th</sup> ICA Mountain Cartography Workshop, Lenk (Switzerland), 133-138.
- LASRI, M., OBDA, K., TAOUS, A., AMYAY, M & REYNARD, E. (2011) : *L'agglomération de Fès et sa périphérie face au risque d'inondation. Résultats préliminaires*. Actes du colloque "Aménagement périurbain : processus, enjeux, risques et perspectives", 17-18 février 2010, sous presse.
- MASSON, M., GARRY, G. & BALLAIS, J.-L. (1996) : *Cartographie des zones inondables : approche hydrogéomorphologique*. Paris, Les Editions Villes et Territoires, 100 pp.
- WERREN, G., REYNARD, E. & EL KHALKI, Y. (2011) : *Cartographie des phénomènes en vue de la réalisation de la carte indicative des dangers hydrologiques dans la ville de Beni Mellal, Maroc*. Actes du colloque "La montagne marocaine : géomorphologie, environnement et développement", 5-6 mai 2010, sous presse.
- ZIMMERMANN, M., POZZI, A. & STOESSEL, F. (2005) : *Vademecum hazard maps and related instruments. The Swiss system and its application abroad. Capitalisation of experience*. Berne, Swiss Agency for Development and Cooperation, 34 pp.
- ZUMSTEIN, J. (2010) : *Secouristes Volontaires de Proximité (SVP) – Maroc*. Berne, Direction du Développement et de la Coopération, 1 p.