

Cinématique et impacts d'un événement hydrométéorologique : les inondations du 6-7 octobre 2014, Grabels (France méditerranéenne)

Tony Rey, Stéphanie Defossez, Freddy Vinet et Laurent Boissier

Volume 16, numéro 1, mai 2016

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1037581ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Rey, T., Defossez, S., Vinet, F. & Boissier, L. (2016). Cinématique et impacts d'un événement hydrométéorologique : les inondations du 6-7 octobre 2014, Grabels (France méditerranéenne). *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*, 16(1).

Résumé de l'article

Dans la nuit du 6 au 7 octobre 2014, une crue éclair frappe le nord de Montpellier et notamment la commune de Grabels. Au cours de ce bref épisode pluviométrique, les ruissellements de versants, les cours d'eau -du petit ruisseau au fleuve de la Mosson- sont entrés en crue et sortis de leur lit mineur endommageant près de 500 habitations. Pour reconstituer au plus près le déroulement de la crue rapide et ses impacts, nous avons mené un retour d'expérience dès le lendemain de la catastrophe. À partir des indicateurs morpho-sédimentaires et des dégâts observés, nous avons reconstitué l'enveloppe de la zone inondée ; caractérisé les hauteurs d'eau maximales atteintes ; identifié la cinématique des écoulements de crue ; estimé les débits de pointe et la puissance spécifique et caractérisé les modifications morpho-sédimentaires. Le retour d'expérience, réalisé à l'échelle locale, a mis en lumière les dynamiques hydrogéomorphologiques et leurs effets, comme l'existence de deux ondes de crue, la sous-estimation à certains endroits de la zone inondable, l'inadaptation de certains aménagements, ou encore des effets de site ou la forte capacité d'incision des matériaux. Il a en outre permis d'estimer les dommages sur la zone urbanisée.

Tous droits réservés © Université du Québec à Montréal et Éditions en environnement VertigO, 2016



Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

<https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

éru
dit

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

<https://www.erudit.org/fr/>

Tony Rey, Stéphanie Defossez, Freddy Vinet et Laurent Boissier

Cinématique et impacts d'un événement hydrométéorologique : les inondations du 6-7 octobre 2014, Grabels (France méditerranéenne)

Introduction

- 1 L'automne 2014 a été marqué par des épisodes de pluies intenses successifs – une dizaine recensée par Météo-France entre le 16 septembre et le 30 novembre 2014 – avec des cumuls records sur la saison comme à Barnas en Ardèche (1826 mm) ou à Prades-le-Lez dans l'Hérault (916 mm). Ces précipitations intenses ont entraîné pour chaque épisode des inondations par débordement de cours d'eau et par ruissellement endommageant les enjeux exposés au phénomène naturel et causant parfois des pertes humaines. Dans la nuit du 6 au 7 octobre 2014, plusieurs communes situées au nord de Montpellier ont été frappées par des pluies diluviennes. L'intensité et la quantité des précipitations ont provoqué des crues éclairs bien connues en Méditerranée et étudiées sous des angles divers de l'aléa au risque naturel (IAHS-UNESCO-WMO, 1974 ; Gaume, 2002 ; Defossez, 2009 ; Vinet, 2010 ; Douvinet *et al.*, 2011 ; Boissier, 2013). Ces crues éclairs dites aussi crues rapides (*flash-flood*) ont causé des inondations catastrophiques dans les communes de Juvignac et de Grabels. Cette dernière constituera notre territoire d'étude.
- 2 Au cours de ce bref épisode pluviométrique, les cours d'eau -du petit ruisseau au fleuve de la Mosson- sont entrés en crue et sont sortis de leur lit mineur, amplifiés par les ruissellements de versants en nappes et concentrés. Plusieurs lotissements ont été sinistrés enregistrant jusqu'à plus de 1,50 m d'eau dans les habitations, mais les pertes humaines ont pu être évitées. Dès le 7 octobre, la commune a commencé à panser ses plaies. Pour reconstituer au plus près la cinématique de la crue rapide et ses impacts, nous avons mené un retour d'expérience dès le lendemain de la catastrophe. Les objectifs de cette étude visent non seulement la restitution cartographique de l'enveloppe de la zone inondée, mais aussi la caractérisation des hauteurs d'eau atteinte et de la cinématique des écoulements de crue et des ruissellements hors et en zone urbanisée, ainsi que les dégâts recensés dans la zone urbanisée. Cette approche *a posteriori* présente plusieurs intérêts. Il peut être établi des liens ou au contraire révéler des disparités entre d'une part la caractérisation d'un événement de référence issu de l'étude des crues passées et de la méthode hydrogéomorphologique (Ballais *et al.*, 2002) et la réalité d'un événement à l'instant T dont la cinématique, l'ampleur ou l'emprise spatiale sont valables pour ce seul événement. L'avantage réside aussi dans l'acquisition et la création de données *in situ*. En plus de l'analyse de l'évènement, nous nous sommes également intéressés à la gestion de la crise, facteur pouvant expliquer l'absence de victimes¹. Ces relevés post événement apportent par ailleurs une qualification de l'évènement par des caractéristiques physiques et humaines qui pourront servir de référentiel à des événements ultérieurs, ou encore participer à enrichir les connaissances des acteurs locaux. Il est de plus, selon nous, essentiel de s'appuyer sur le vécu local. En effet, même si la gestion des risques naturels se construit à l'échelle nationale et supranationale (directives européennes), le poids du vécu et des acteurs à échelle locale dans la gestion des risques reste déterminant dans la mise en application des mesures (Defossez, 2009).
- 3 Après avoir remis en contexte le territoire étudié dans son cadre géographique et son exposition aux crues méditerranéennes, nous exposerons les éléments méthodologiques de ce retour d'expérience pour enfin relater le déroulement et les conséquences de l'évènement sur la commune de Grabels.

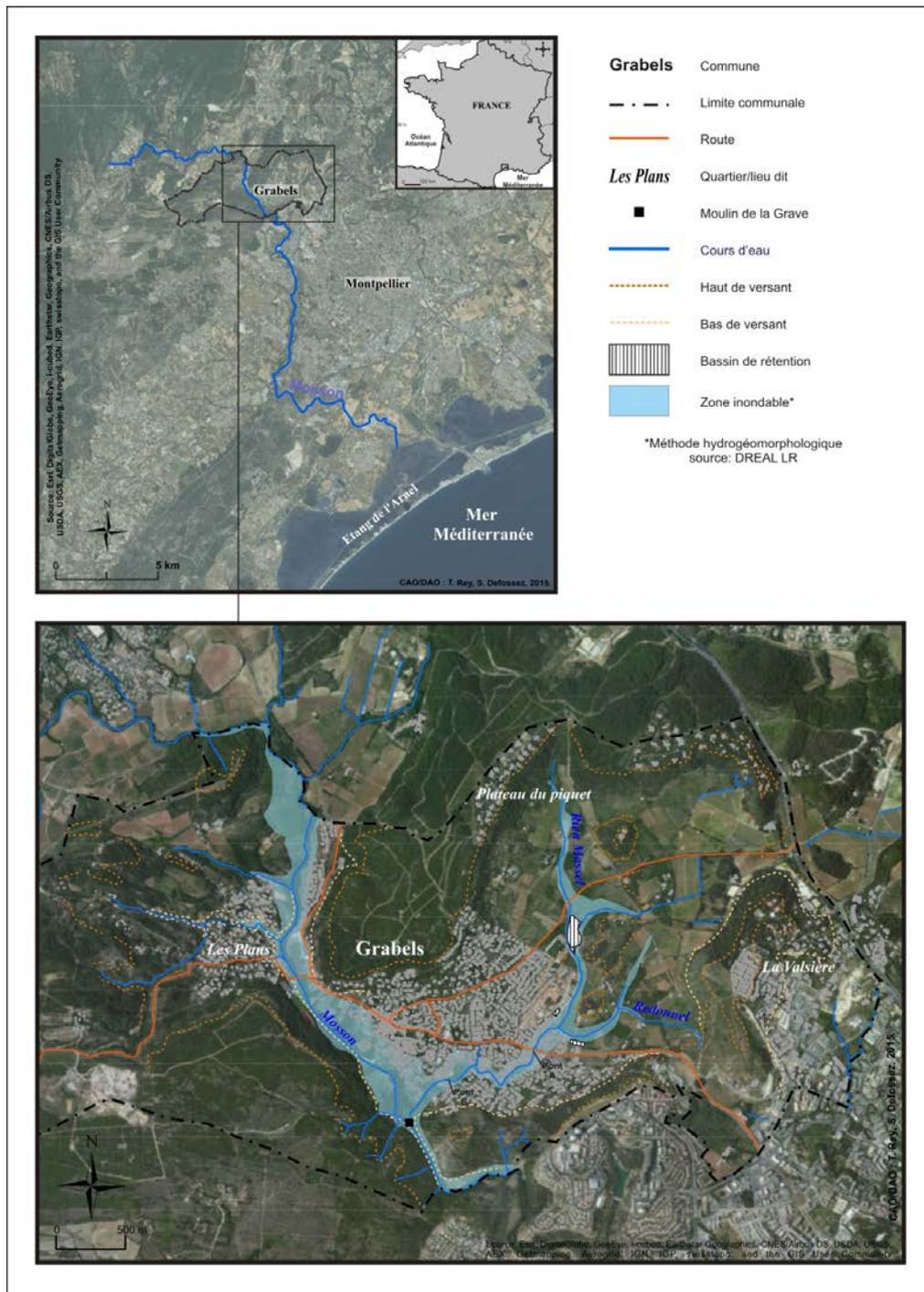
Des territoires exposés au risque inondation... implantation dans les lits majeurs

- 4 Le cas de Grabels en 2014 n'est pas une exception. Les études sur les risques naturels montrent bien l'exposition et la vulnérabilité des communes méditerranéennes face aux inondations (Gabert et Nicod, 1982 ; Antoine *et al.*, 2001 ; Provitolo, 2007 ; Vinet, 2010). Ces phénomènes sont donc connus. Cependant depuis les événements historiques mentionnés dans les documents réglementaires tels les PPRi (événements anciens notamment 1933, 1976 et 1987), l'implantation humaine s'est accrue dans la commune. L'anthropisation accentue le ruissellement et surtout les dommages.

La périurbanisation vecteur d'exposition au risque

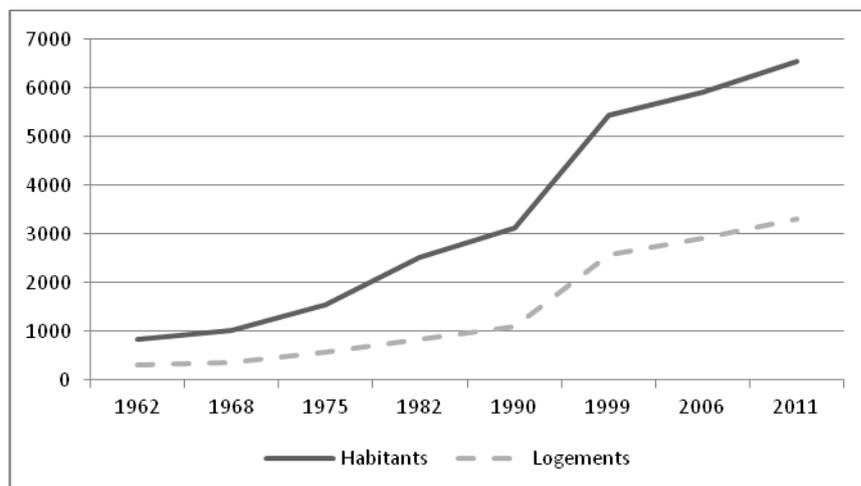
- 5 Commune limitrophe de Montpellier, Grabels (6543 habitants au recensement de 2011, Insee) s'étend sur une superficie de 16,2 km² et présente 3 grandes entités urbanisées (figure 1), seuls le centre historique et son extension sont exposés au risque inondation et par conséquent étudiés ici. Historiquement commune agricole, principalement viticole, Grabels compte une population inférieure à 1 000 habitants jusque dans les années 1960 (Couderc et Claustre, 1998) puis commence son essor régulier jusqu'à aujourd'hui avec un pic de croissance démographique dans les années 1990 (INSEE, RGP). Même si « des espaces agricoles mixtes ou en déprise de taille significative subsistent » (Jarrige *et al.*, 2006), le développement de la commune, étroitement lié à l'essor de Montpellier dans les années 1950, s'appuie sur le phénomène de périurbanisation.

Figure 1. Localisation de la commune de Grabels et contexte hydrographique.



6 Cette attractivité contribue au développement local avec une augmentation de la population de 5708 habitants entre 1962 et 2011 (figure 2), soit un taux de croissance supérieur à 600 %. Le pic de croissance se situe dans les années 1990 avec environ 50 % du parc de logements de Grabels qui s'est construit entre 1990 et 1998 (Insee, 2006).

Figure 2. Évolution du nombre de logements et du nombre d'habitants à Grabels entre les recensements de 1962 et 2011.



Source : Insee

- 7 Le développement local et la croissance urbaine posent le problème de l'imperméabilisation des sols qui perturbe les ruissellements et intensifie les enjeux exposés aux inondations dans les lits majeurs et accroît par conséquent l'endommagement. Le territoire exposé au risque inondation présente peu de bâti collectif. Les types d'enjeux sont des maisons individuelles (non mitoyennes ou intégrées à des lotissements) et des maisons de villages, mais aussi quelques mas isolés et des Établissements recevant du public (ERP) (principalement des commerces) et, d'autre part, les équipements publics ainsi que les deux routes principales qui desservent la commune, elles-mêmes en zone inondable. Il est toujours difficile d'évaluer précisément la population en zone inondable. Nous pouvons cependant l'estimer, grâce à des requêtes auprès d'un SIG, à environ 800 bâtis situés en zone inondable (AZI), soit 1600 personnes (si l'on considère les données de l'Insee qui estime les ménages de la commune à 2 personnes en moyenne).

Contexte hydrologique : des cours d'eau soumis à de fréquents débordements

- 8 Grabels se situe dans une cuvette topographique encadrée par des plateaux calcaires, lesquels donnent naissance à de petits cours d'eau dont le Rieu Massel et son affluent le Redonnel. L'impluvium quasi circulaire du Rieu Massel et de son affluent entraîne une convergence des écoulements en direction de la zone urbanisée de Grabels. Afin de limiter tout débordement, le Rieu Massel et le Redonnel ont été régularisés et calibrés. Ils passent sous deux ponts (A et B) où les berges et les fonds ont été confortés à l'aide de gabions (figure 1). Ces deux cours d'eau sont les affluents de la Mosson. Ce fleuve de 41 kilomètres draine un bassin versant topographique de plus de 300 km², et débouche dans l'étang de l'Arnel relié par un grau à la mer méditerranée. Ce cours d'eau traverse la commune de Grabels sur environ 2,5 km, selon un axe N-O/S-E. Il s'écoule à travers les plateaux calcaires qui limitent ses divagations ce qui conditionne la taille de la vallée alluviale. La Mosson, le Rieu Massel et le Redonnel présentent un régime hydrologique méditerranéen caractérisé par des étiages sévères et des crues éclairs. Elles se produisent en général au mois de septembre et octobre parfois novembre et exceptionnellement en décembre. De manière simplifiée cela résulte de la rencontre d'une masse d'air chaude et humide en provenance de la mer méditerranée avec le continent aux températures plus froides ou avec un relief, ici les Cévennes situées au nord du département. Des pluies de très fortes intensités peuvent se produire, on parle alors d'épisodes cévenols ou méditerranéens.
- 9 Le fleuve de la Mosson est équipé d'une station de jaugeage (code station Mosson Y 3142010) à plusieurs kilomètres en aval dans la commune de Saint Jean de Védas. Ce faible nombre de stations est compréhensible lorsque l'on connaît les dégâts induits par les crues éclairs (Estupina Borrell *et al.*, 2005). Le module interannuel de la Mosson est de 1,140

m³/s (<http://www.hydro.eaufrance.fr>), ce fleuve d'ordinaire calme peut, en quelques heures, multiplier son débit. La crue centennale a été mesurée à Saint-Jean de Védas le 3 décembre 2003, avec une hauteur maximale de 5,18 mètres et un débit de pointe de 258 m³/s (<http://www.hydro.eaufrance.fr>). En l'absence d'outils de mesure, la crue centennale de la Mosson à Grabels est estimée à 297 m³/s et celle du Rieu Massel atteindrait 28 m³/s (PPRi, 2001), mais il ne s'agit que d'approximations faute de jaugeages. Cette difficulté d'estimation des débits est accentuée par la méconnaissance des aquifères karstiques des plateaux calcaires, réservoirs tampons lors des précipitations.

Inondations à Grabels : des phénomènes récurrents

- 10 Un historique des événements marquants a pu être établi d'une part, grâce au PPRi de Grabels (DDE, 2001), approuvé en 2001, et d'autre part grâce à l'association « Loû Dragas-Histoire de Grabels » qui réalise des recherches historiques sur la commune. Le PPRi présente une récurrence des inondations pour le 20^e siècle, parmi lesquelles 3 crues ressortent, celles de 1933, 1976 et 1987. L'association a recensé au moins dix événements remarquables ayant causé des dégâts sur la commune de Grabels depuis la fin du 18^e siècle (Couderc et Claustre, 1998). Le moulin de la Grave situé à la confluence de la Mosson et du Rieu Massel fait référence tant pour le PPRi que dans les témoignages des populations pour estimer l'ampleur de l'évènement. D'autres repères de crue apposés dans la commune permettent également d'évaluer les hauteurs et l'emprise spatiale des événements.
- 11 La crue de 1933 est la plus importante connue de « mémoire d'homme », avec la particularité d'un embâcle la Mosson en amont de Grabels. Cet embâcle serait responsable d'une surélévation de la ligne d'eau et du débit estimé alors à 600 m³/s pour la crue de la Mosson. Malgré ces caractéristiques, l'évènement n'a causé que peu de dégâts puisqu'en 1933 la commune ne comptait qu'une centaine d'habitants. Au moulin de la Grave (*sus cité*) l'eau arrivait au ras du toit soit l'équivalent d'une habitation à un étage. La récurrence des événements influence la gestion municipale des inondations, dans les documents réglementaires.

Méthodologie

- 12 Le travail de terrain après une inondation doit être fait aussi vite que possible afin de décrire les caractéristiques de l'inondation et ses impacts sans que les indices ne soient perturbés ou détruits par les activités humaines (nettoyage des routes), les pluies ou le développement de la végétation (Ortega *et al.*, 2009). La reconstitution des inondations du 6-7 octobre 2014 repose sur une approche hydro-géomorphologique. À l'aide d'outils de mesure (télémètre laser trypulse 200, caractérisation sédimentologique *in situ*), nous avons reporté à partir d'images Google Earth à différentes échelles : l'enveloppe de crue, les hauteurs d'eau maximales à partir des laisses de crue, les dégâts occasionnés et les modifications géomorphologiques. Enfin, les modalités d'écoulements de crue ont été appréhendées par l'étude du sens des courants fluviaux, des ravinements et des engravements. Les formes résultantes, qu'ils s'agissent des formes d'érosion diffuses et linéaires ou d'accumulation (cône de déjection, engravement...), sont de bons indicateurs matérialisant la capacité des écoulements (Carling et Dawson, 1996 ; Liébault, 2003). Leur cartographie systématique révèle certes la capacité des écoulements et surtout elle met en évidence des effets de site. En l'absence de données débimétriques, nous proposons de calculer à partir de données de terrain (Petts, 1977 ; Petit *et al.*, 2005) une vitesse moyenne (V en m/s) et des débits de pointe (Q en m³/s) et spécifiques (Q_s en m³/s/km²) obtenus à partir des caractéristiques géométriques et hydrauliques des cours d'eau (périmètre et surface mouillés, rayon hydraulique, pente du chenal), des laisses de crue (niveau d'eau maximum) et en utilisant la formule de Manning-Strickler qui se présente sous la forme suivante :

$$13 \quad V = K \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

$$14 \quad Q = K \cdot S \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

- 15 Avec K le coefficient de rugosité de Strickler estimé à partir des observations du lit et des berges lors des reconnaissances de terrain, S la section mouillée (m²), R le rayon hydraulique (m) et i la pente longitudinale (m/m).

16 Cette méthodologie majoritairement utilisée en hydrologie ne doit pas écarter la part d'incertitude, il ne s'agit ici que d'une estimation des vitesses souvent sous-estimées et des débits de pointe surestimés à cause de la valeur K (Lumbroso et Gaume, 2012). Ces débits sont acquis pour des tronçons d'une même rivière, suivant différents profils en travers. Le débit total est obtenu en calculant la somme des débits pour chaque sous-section de la rivière (lits mineur et majeur). De ces paramètres, nous dégageons la puissance spécifique

17 (ω en W/m^2) qui se présente sous ces formes suivantes :

18
$$\omega = (\gamma \cdot Q \cdot i) / l$$

19 Avec γ le poids volumique de l'eau ($9810 N/m^3$), Q le débit (m^3/s), l la largeur du lit (m), i la pente longitudinale (Rieu Massel : 0,012 m/m ; Mosson à Grabels : 0,01 m/m). Le débit est celui d'un débit de pointe estimé à partir des niveaux d'eau maximum auquel cas la largeur du lit correspond au lit majeur inondé. La puissance spécifique est un bon indicateur de la compétence effective des rivières (Bernot *et al.*, 1998 ; Houbrechts et Petit, 2003) et corrélée à la pente, aux formes d'érosion et d'accumulation et aux autres dégâts, elle complète l'interprétation de la cinématique des écoulements (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques hydrologiques des cours du Rieu Massel (RM), du Redonnel (RE) et de la Mosson calculées sur 9 profils en travers.

Profil	V : Vitesse max. (m/s)	Q : Débit de pointe (m^3)	Qs : Débit spécifique $m^3/s/km^2$	l : Largeur maximale (m)	Hauteur d'eau maximale (m)	ω : Puissance spécifique (w/m^2)	Rapport Q/ω (m^3/m)
RM 1	0,88	7,67	15,3	25	2,2	186	0,31
RM 2	2,15	13,68	5,9	5,2	1,8	1595	2,63
RM 3	1,27	24,11	26,8	42	2,1	348	0,57
RE 1	1,33	8,89	28,7	16	1,2	337	0,56
RE 2	1,43	12,56	18,7	19,6	1	389	0,64
RM + RE	6,97	271,66	90,6	10	3,9	16470	27,17
Pont A	3,68	85	26,6	10	4	5154	8,5
Pont B	4,05	151,87	37,0	16,1	3,9	5719	9,43
Pont Mosson	2,90	207,45	1,4	59,6	3,9	2110	3,48

20 Dès le lendemain de l'inondation, nous avons également établi l'enveloppe de crue ainsi que les hauteurs d'eau à partir de laisses de crue ou de traces d'eau sur les bâtiments. Ces observations de terrains nous ont donné l'opportunité de recueillir des témoignages de sinistrés sur leur vécu et l'endommagement de leurs habitations. Quelques semaines après l'évènement, nous avons contacté la municipalité dans le but d'obtenir des informations sur la gestion de la crise. L'entretien, semi-dirigé, a permis d'établir l'organisation de la gestion de crise par la municipalité et notamment leur mise en application du Plan communal de Sauvegarde. Nous avons été reçus par M. Olivarès, adjoint aux grands travaux, aux services techniques et à la protection durable des territoires.

La crue éclair du 6-7 octobre 2014

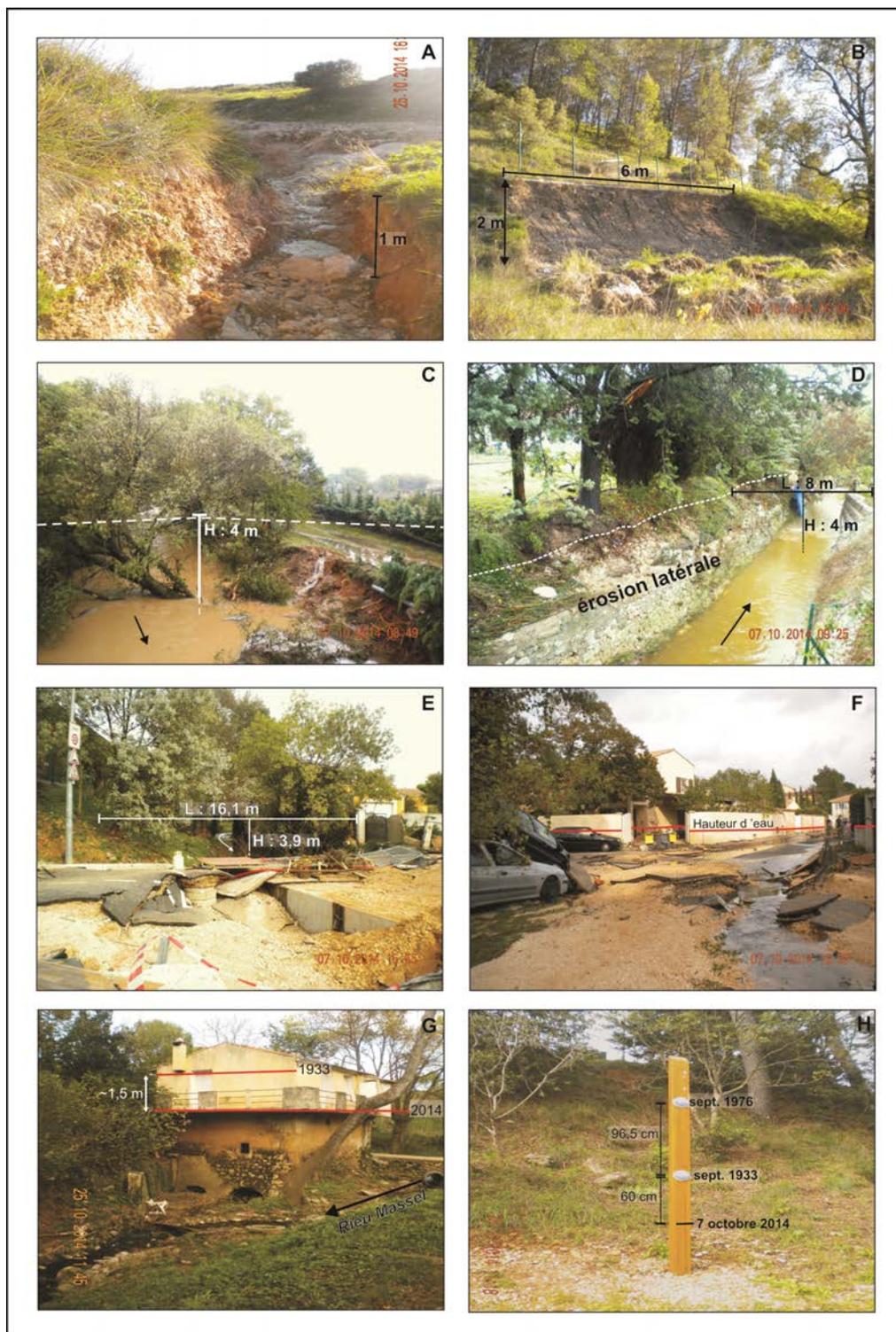
Contexte hydrométéorologique

21 Cet évènement s'est déroulé dans un contexte hydrométéorologique particulier. En effet, la région a subi deux importantes inondations les semaines précédentes. Dans la nuit du 17-18 septembre 2014, les premiers épisodes méditerranéens de la saison ont provoqué des crues rapides et des inondations catastrophiques provoquant dans la commune de Lamalou-les-Bains des dégâts et le décès de 5 personnes (selon la presse) installées dans le camping municipal au bord de la rivière du Bitoulet (affluent de l'Orb). Puis le 29 septembre 2014, les instabilités météorologiques donnent naissance à un nouvel épisode méditerranéen : plusieurs quartiers de la ville de Montpellier et plusieurs communes alentour sont inondés, les phénomènes se sont étendus au département du Gard voisin. Au cours de ces épisodes pluvio-orageux, la Mosson est entrée en crue (Q max : $150 m^3/s$) avec un débit proche de son débit centennal

(source : Hydroréel), sans trop inonder la commune de Grabels. La Mosson, le Rieu Massel et le Redonnel ont été actifs, mais n'ont causé aucun dégât.

- 22 Une semaine plus tard, dans la nuit du 6-7 octobre 2014, les conditions hydrométéorologiques laissent envisager un nouvel épisode méditerranéen, souvent difficile à prévoir ou tout au moins à localiser précisément. Le département de l'Hérault est à ce moment en vigilance météorologique orange. Des pluies intenses s'abattent sur la commune de Grabels. Le temps de montée des eaux est rapide et les débits importants. Environ une heure s'est écoulée entre la tombée des pluies et le pic de crue. La saturation des sols et des aquifères karstiques et la diminution de l'infiltration consécutives aux événements des semaines précédentes amplifient cette crue éclair. Selon les témoignages des habitants rencontrés le lendemain de l'épisode pluvieux, il semble que les précipitations aient atteint 280 mm (mesures relevées dans leurs pluviomètres) en quelques heures dans la nuit (de 23 h 30 à 2 h 30 du matin environ selon ces témoignages). Les données Météo-France de la station la plus proche de la zone d'étude (Prades-le-Lez) font état de 261,6 mm de 19 h à 2 h du matin, dont 221,6 mm en 3 heures (figure 3). La quantité de pluie tombée correspond à une hauteur de pluie centennale pour la commune (Météo-France). Aucune victime n'est à déplorer, mais les dommages matériels publics et privés sont lourds. De plus, d'un point de vue géomorphologique plusieurs transformations sont apparues dans la plaine d'inondation, avec de nombreuses formes de dépôts et d'érosion décrites et analysées dans cet article.

Figure 3. Effets hydro-géomorphologiques de la crue éclair.

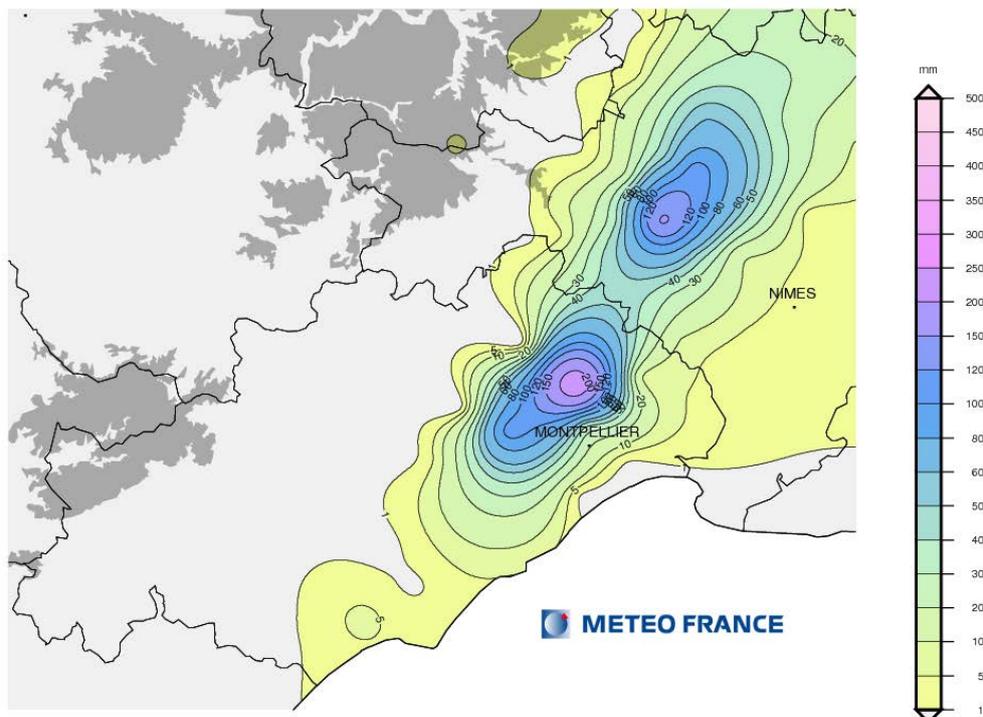


Légende : A. Incision verticale et transports de matériaux grossiers ; B. Glissement de terrain sous l'effet de la percolation ; C. Erosion latérale et rupture de digues et murs ; D. Glissement de berge sous l'effet de la crue et du déracinement des arbres ; E. Destruction de la chaussée et du pont ; F. Endommagement des biens publics et privés, engravement ; G. Niveau maximal atteint par les crues de 1933 et 2014 à la confluence du Rieu Massel - Mosson ; H. Repères de crue en rive droite de La Mosson.

- 23 Si l'on compare les repères de crue officiels de 1933 et 1976 aux empreintes laissées par la crue de la Mosson en 2014, l'ampleur de l'épisode du 6-7 octobre est significativement inférieure (figure 4). Lors de cette dernière inondation, en amont du pont de la Mosson, la hauteur d'eau maximale a atteint 3,9 mètres (à partir du fond de la Mosson) c'est-à-dire respectivement 1 et 2 mètres en dessous des niveaux de crue de 1976 et 1933. Nous avons estimé le débit de pointe de la Mosson à 207 m³/s alors que la crue de 1933 aurait atteint 600 m³/s (PPRi 2011).

Figure 4. Cumul de précipitations lors de l'épisode du 6-7 octobre 2014.

Cumul de précipitations du 06/10/2014 à 06 h UTC au 07/10/2014 à 06 h UTC



Source : Météo France

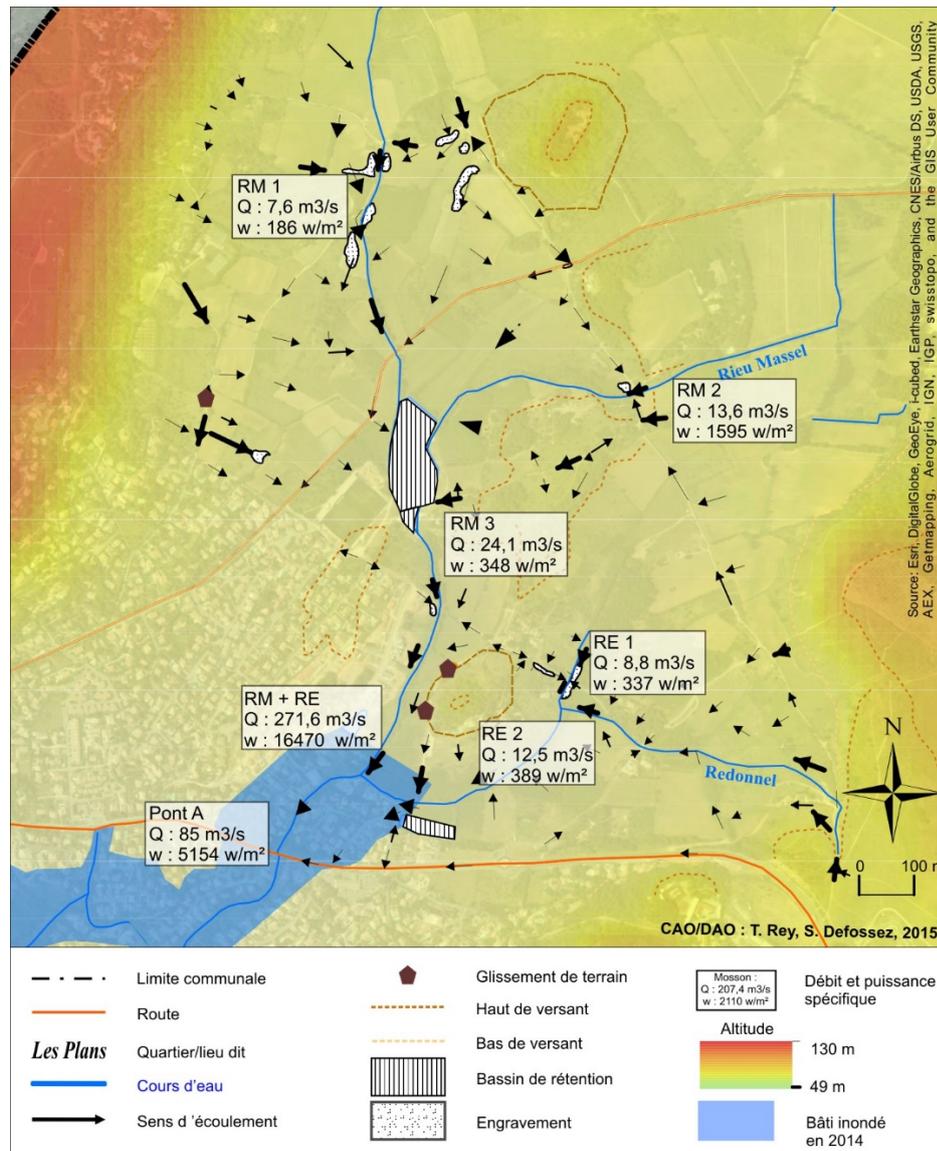
- 24 Au cours de ce même évènement, peu avant d'entrer en confluence, le Rieu Massel atteint un débit de pointe estimé à $24 \text{ m}^3/\text{s}$, le Redonnel $12,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Puis au niveau de la confluence, la largeur du lit se resserre. Dans cet entonnoir nous estimons le débit à $271,66 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une puissance spécifique de l'ordre de 16470 w/m^2 . Bien que les chiffres soient à prendre avec précaution, la configuration topographique et les dégâts arguent en faveur de la puissance des débits. On retrouve cet effet de site au niveau des ponts A et B (figure 5 et 6) où le rétrécissement du gabarit du Rieu Massel (largeur : 4 mètres) conduit à des débits et des puissances spécifiques très élevés (Pont A : $85 \text{ m}^3/\text{s} - 5154 \text{ w/m}^2$; Pont B : $151,87 \text{ m}^3/\text{s} - 5719 \text{ w/m}^2$).

Cinématique des écoulements de la crue

Écoulements sur les versants et impacts morphologiques

- 25 En utilisant les laisses de crue mesurées sur 9 profils (figure 5) et les caractéristiques géométriques et hydrauliques du Rieu Massel, du Redonnel et de la Mosson, nous proposons des débits de pointe.

Figure 5. La crue du 6-7 octobre 2014 : Dynamiques hydro-géomorphologiques et caractérisation des débits de pointe et des puissances spécifiques.



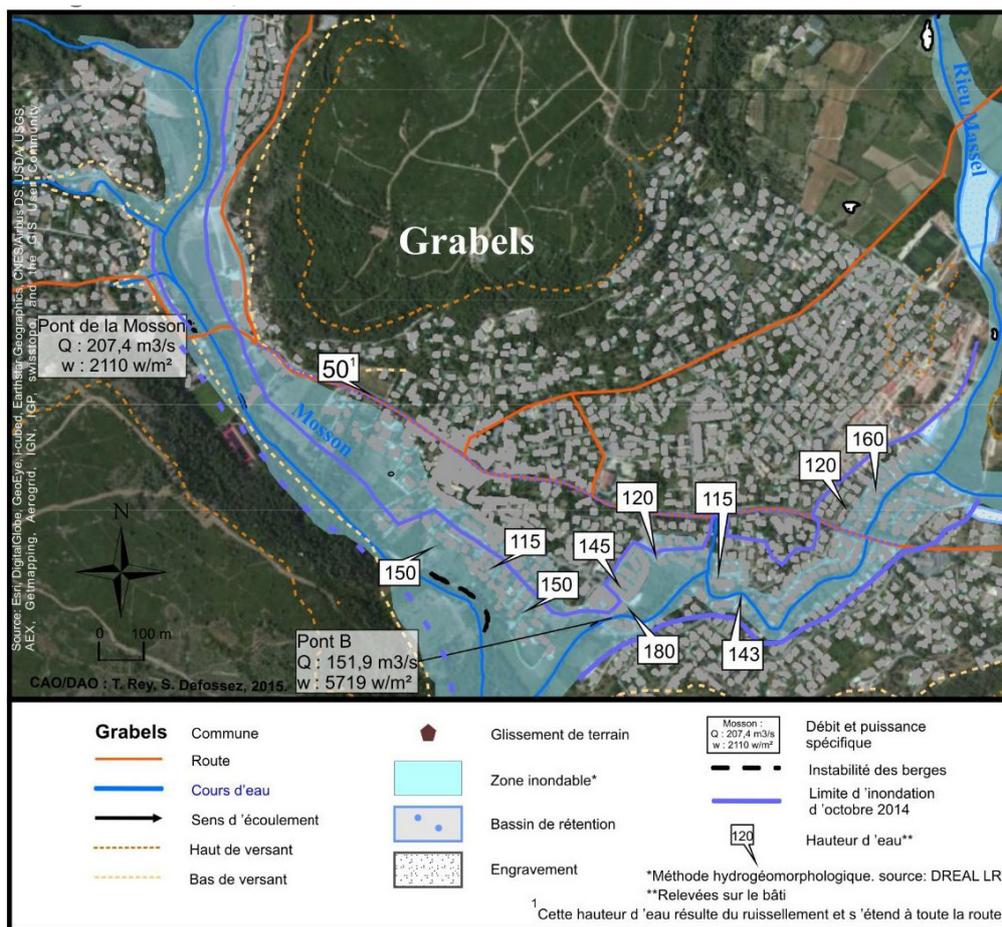
26 L'étude de la cinématique des écoulements révèle qu'au cours des pluies cévenoles deux types d'écoulements se distinguent : les écoulements concentrés dans les cours de la Mosson, du Rieu Massel, du Redonnel, les fossés, les routes et les ruissellements superficiels.

27 Depuis l'amont, le ruissellement hortonien sur les versants calcaires et marneux a été un élément majeur dans les inondations du 6-7 octobre 2014, il est, selon Estupina Borrell *et al.* (2005), « approprié à ces types de crues éclair ». Les pluies intenses ont généré un ruissellement érosif, en nappe et linéaire. Le ruissellement en nappe a été le plus dommageable pour les parcelles agricoles en labour et les parcelles viticoles. Sur celles-ci la fermeture du sol par soudure des particules entre elles a limité la capacité à emmagasiner soit par infiltration soit par rétention superficielle. L'excès a alors ruisselé provoquant un départ de terres arables conséquent. Ces parcelles montrent une grande sensibilité à la battance et à la formation d'une croûte de battance (Léonard et Andrieux, 1998 ; Ribolzi *et al.*, 2000). Associé à la battance, le ruissellement hortonien va jouer un rôle essentiel dans la formation de la crue éclair (Gaume *et al.*, 2009). Au sein de ces parcelles, la micro-topographie a donné naissance à des griffes d'érosion révélatrices de ruissellement superficiel et des ravines. Le travail de l'érosion exécuté par des courants rapides, suivant un plan fortement incliné, a formé des rigoles et ravines profondes (figure 4). On retrouve ces formes à l'approche de talwegs et aux confluences des routes et des cours d'eau. D'une manière générale, les aménagements humains

influencent la dispersion des flux, concentrent les écoulements et accélèrent les écoulements vers les exutoires.

- 28 À côté de ce type de cas, des landes boisées, dont quelques-unes sont utilisées en tant que bassin de rétention, ont protégé les sols de l'érosion hydrique, qui plus est, elles ont constitué des obstacles mécaniques à l'écoulement, piégé les sédiments et toute proportion gardée, elles ont limité l'impact des gouttes de pluie (sans pouvoir quantifier dans quelles proportions). La couverture végétale protège ces terres et ralentit le développement d'une croûte de battance.
- 29 Le ruissellement a ensuite donné lieu à la formation d'une onde de crue dans les vallées sèches. Alimentés depuis l'amont et par les fossés de drainage, les débits du Rieu Massel et du Redonnel ont été en augmentation constante malgré les obstacles rencontrés et en dépit de la rugosité des sols. Les hauteurs d'eau atteintes sont exceptionnelles pour des ruisseaux d'habitude à sec. La figure 6 présente l'enveloppe de crue de ces cours d'eau, qui plus en aval vient fusionner avec celle de la Mosson. En zone urbaine, le passage de l'onde de crue associé au ruissellement pluvial a été dévastateur, inondant plusieurs quartiers.

Figure 6. Comparaison zone inondable/zone inondée (6-7 octobre) et hauteurs d'eau significatives, Grabels.



- 30 On distingue nettement des effets de site susceptibles d'accroître les hauteurs d'eau, la vitesse et le débit. Citons par exemple la confluence entre le Redonnel et Rieu Massel. Les deux cours d'eau se rejoignent à l'entrée d'un lotissement pour ensuite s'écouler à travers un « canal » de 10 mètres de large aux levées de terre d'environ 2 mètres de hauteur. Au cours des pluies diluviennes, le Redonnel a été le premier à entrer en crue (témoignage d'un riverain). À ce moment-là, son écoulement est libre et il ne déborde pas ($Q_{max} : 12,56 \text{ m}^3/\text{s}$ et $\omega : 389 \text{ w}/\text{m}^2$). Puis assez rapidement, les eaux du Rieu Massel le rejoignent. Au point de confluence, un bouchon hydraulique se crée. Le volume d'eau dans les deux cours s'élève bien au-delà des levées, les laisses de crue indiquent une hauteur d'eau de 3,9 mètres. Le lotissement en aval de la confluence a subi de plein fouet les inondations. Il faut ici souligner un véritable problème dans l'évacuation des eaux de crue. Le gabarit du cours d'eau en aval de la confluence ne lui

permet pas de contenir les eaux de crue pour un épisode analogue à celui du 6-7 octobre 2014. Enfin, quatre mois après les inondations et malgré des oppositions locales (associations des riverains du Rieu Massel et du Redonnel), un immeuble de 65 mètres de long de type R+2 est en cours de construction en zone inondable en rive droite de la confluence. Les habitants craignent que cet immeuble limite l'expansion des crues et amplifie l'onde de crue en rive gauche (témoignage).

31 D'autres effets de site accentuent la violence de la crue comme la surélévation de la ligne d'eau à la confluence du Rieu Massel et de la Mosson, ou encore au niveau de petits ponts de franchissement de cours d'eau où les buses installées dans le lit fluvial sont sous-dimensionnées et sujettes à la formation d'embâcle. Notons aussi l'amplification des énergies en zone urbaine notamment dans les rues cloisonnées par des murets et clôtures.

32 La puissance des écoulements et les ravinements ont permis le transport d'énormes quantités de matériaux détritiques et organiques arrachés aux sols, chemins de terre, végétaux morts des parcelles agricoles, arbres. Les matériaux proviennent aussi de l'érosion et de la destruction de construction : décolllement du macadam des routes, destruction du pont B construit avec des dimensions cohérentes pour des ruisseaux le plus souvent à sec, mais inadaptés en cas de crue, sapement et glissement des berges empierrées du Rieu Massel, voitures empilées, grillages pliés et arrachés... Sur un laps de temps très court, les écoulements ont eu un caractère très érosif typique en région méditerranéenne lorsque le pic de crue atteint au moins $0,7 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ (Gaume *et al.*, 2009).

33 Deux glissements de terrain se sont produits en dehors des zones urbanisées. Des pentes fortes associées à un niveau de saturation en eau des sols ont ici accéléré le déclenchement du glissement. Certains talus révèlent aujourd'hui d'importantes fentes dans leur partie sommitale. En l'absence de confortement, il ne fait aucun doute sur leur glissement prochain.

34 *A contrario*, les surfaces marquées par une rupture de pente furent l'objet de dépôt avec de l'engrèvement parfois sous la forme de petits cônes de déjection composés de matériaux fins.

35 En rive droite du Rieu Massel, immédiatement en aval du pont B, la crue a déposé une grande quantité de sédiments (figure 3). Le dépôt a été conditionné par la canalisation (berges et fond en gabions) et le rétrécissement du cours sur une longueur de 440 mètres entre le pont A et la sortie du lotissement au pont B. Ce calibrage a augmenté de façon significative la puissance spécifique avant que celle-ci ne s'accroisse au niveau du pont B ($5719 \text{ w}/\text{m}^2$).

36 Enfin, le ruissellement et l'érosion des sols ont participé au colmatage partiel à total des buses et des fossés remplis de sédiments hétérogènes et de débris ligneux grossiers.

Écoulements de la Mosson et impacts morphologiques

37 La cartographie de l'enveloppe de crue présente une variabilité spatiale expliquée par la configuration de la plaine alluviale et à la confluence plus en aval. La plaine alluviale présente une dichotomie entre la rive droite exiguë et la rive gauche plus large. En rive droite, les versants à proximité immédiate du chenal ont provoqué le déplacement de la masse d'eau vers la rive gauche là où la plaine d'inondation est plus large et susceptible de dissiper l'onde de crue. C'est d'ailleurs en rive gauche de la Mosson que plusieurs habitations de la commune ont été inondées. Les hauteurs d'eau maximales ont été atteintes à proximité du lit mineur du cours d'eau (environ 4 mètres).

Érosion des berges et déracinements

38 La crue a provoqué une érosion des berges, des déracinements d'arbres et du ravinement notamment des chemins de terre. Les vitesses d'écoulement ont généré des forces de percolation responsables de l'érosion locale des berges par affouillement, mais surtout par glissement. Le plus significatif est celui localisé en amont du pont de Grabels. Le glissement atteint 15 mètres de long, reculant la berge d'environ 2 mètres.

39 Certains glissements sont associés à l'arrachage de souches vivantes qui à leur tour ont participé à la fragilisation des berges en les raclant au cours de leur transit. D'une manière générale, les berges et la ripisylve (cordon arboré continu composé de frênes, peupliers, platanes et chênes verts) ont été fragilisées durablement. Plusieurs semaines après la crue, les dommages causés à la ripisylve provoquaient encore des chutes d'arbres dans le lit mineur de

la Mosson. La possibilité d'un embâcle prochain a nécessité l'intervention rapide des services techniques communaux pour le déblaiement du lit mineur. D'autres glissements des berges sont en cours de développement sur les rives de la Mosson où apparaissent de longues cicatrices d'arrachement formées au sommet des berges. Leurs évolutions sont à surveiller.

Des dépôts plus ligneux que détritiques

40 Les dépôts détritiques de la crue du 6-7 octobre dans le lit mineur et majeur restent très modérés, l'incision latérale et verticale a dominé. Notons l'influence des seuils qui perturbent le transport en sédiments. Ces aménagements ont provoqué un engravement de galets particulièrement bien triés en aval. Les dépôts sur les levées de berges restent anecdotiques, caractérisés par des sables (grain moyen 500 µm) sur la levée alors que la zone distale se caractérise par des limons.

41 En revanche, la fraction ligneuse est relativement importante. Comme dans de nombreux phénomènes paroxystiques (Bilby et Bisson, 1998), la crue du 6-7 octobre a introduit de grandes quantités de feuilles, brindilles, fragments de cannes, de bois arrachés et de bois morts dans le chenal et dans son champ d'expansion. Le bois flottant provient de sapements de berge, de coups de vent et de chutes de branches. Au cours de son transit, le bois flottant a rencontré divers obstacles propices à son piégeage comme la ripisylve, les ponts de franchissement (formation d'embâcle) et les clôtures grillagées.

Retour sur l'évènement

42 Les cours d'eau en charge et les écoulements des versants arrivent ensuite dans la partie urbanisée, le ruissellement urbain s'active et toutes ces eaux viennent inonder une partie des zones habitées.

Déroulement de la crise : un évènement brutal et rapide

43 À Grabels dans la nuit du 6-7 octobre, peu avant 23 h, le maire et deux adjoints municipaux se sont retrouvés à la mairie et ont déclenché la cellule de crise prévue dans le PCS (établi en 2009). La municipalité a également bénéficié du concours de la société Predict² qui a transmis le suivi de la situation météorologique heure par heure. Un système de téléalerte a averti les habitants de la liste d'appels³ qu'un évènement grave se produisait les invitant à se mettre à l'abri, éventuellement dans la salle polyvalente de la commune. Dans le même temps, alertés par les grabellois, les pompiers ont effectué des rondes dans certains quartiers, et ont organisé leur mise en sécurité. Des conseils de mises à l'abri (à l'étage de leur habitation ou orientant les habitants de plain-pied chez leurs voisins au bâti adapté (témoignage de riverains) ont été prodigués. Une trentaine de personnes a dû être hélitreuillée. Quelques minutes après l'alerte téléphonique, l'inondation d'un transformateur électrique a causé une coupure d'électricité empêchant toute communication. Pendant ce temps, l'épisode de pluie a atteint son paroxysme suivi du pic de crue rendant évidemment toute sortie impossible. Les élus présents à la cellule de crise communale n'ont alors plus reçu aucune information sur les évènements extérieurs. Dès l'accalmie, les élus, rejoints par les bénévoles de la réserve civile, ont organisé l'accueil et l'appui aux sinistrés pour les opérations de nettoyage⁴. L'évènement a ainsi duré seulement quelques heures, mais a gravement endommagé la zone urbanisée. L'organisation de la gestion de crise, la présence des pompiers dans les quartiers inondés, mais aussi des bâtis adaptés ont certainement participé à sauver des vies.

L'ampleur des dégâts à échelle locale

44 En tout, 570 foyers ont été touchés dont 200 où les pièces de vie ont été atteintes. Les habitants d'une soixantaine de foyers ont dû être relogés d'urgence et 30 n'ont pas pu réintégrer leur habitation (entretien J.-P. Olivarès⁵, mairie de Grabels). L'endommagement des habitations est considérable : certaines habitations longées par le Rieu Massel notamment, sont ennoyées sous plus de 1,50 m d'eau. Les murs de clôture se sont écroulés sous la pression de l'eau, les jardins et l'intérieur des habitations sont dévastés, les voitures endommagées, déplacées (figure 3). En plus de dégâts matériels, le lendemain de l'inondation, les sinistrés sont choqués et s'engagent dans les démarches administratives.

- 45 Le bâti communal a aussi été endommagé en plus de la voirie. Une première expertise estime le montant des dommages à plus d'un million d'euros sur la commune (entretien J.-P. Olivarès, mairie de Grabels). Début novembre 2014, la commune a fait l'objet d'un arrêté de catastrophe naturelle. Les dégâts occasionnés résultent en grande partie du débordement du Rieu Massel et du Redonnel ainsi que par ruissellement pluvial plus que par le débordement du fleuve la Mosson. Les hauteurs d'eau dans relevées dans les habitations sont en corrélation avec la proximité du cours d'eau. Les dommages sont également concentrés aux zones de confluence ce qui semble correspondre à un déroulement des phénomènes identifiés par le PPRi, *a priori* un scénario « connu ». En effet, le référencement des épisodes au cours du 19^e siècle révèle que les cours de la Mosson, du Rieu Massel et de son affluent sortent régulièrement de leur lit. Le caractère exceptionnel des débordements se produit lorsque ces trois cours d'eau entrent en crue simultanément au cours du même événement. Entre la confluence du Rieu Massel et du Redonnel jusqu'à la Mosson, plus qu'ailleurs le risque d'inondation est majeur (PPRi Grabels, 2001 ; constatations sur le terrain). D'autres dégâts matériels rendent compte de la puissance du courant fluvial : plaques de macadam retournées, grillages pliés et arrachés, murs en bétons emportés...
- 46 L'endommagement lié aux débordements des cours d'eau et au ruissellement prend son origine certes dans l'ampleur et l'intensité du phénomène naturel, mais aussi dans l'urbanisation des zones inondables depuis les années 1960. L'exposition des enjeux aux inondations explique l'ampleur des dégâts.

Une commune préparée aux inondations ?

- 47 La commune s'est prémunie face au risque inondation par des mesures structurelles et réglementaires. Des bassins de rétention (figure 5) ont été creusés longeant le tracé du Rieu Massel et du Redonnel. Le bassin situé le plus en amont et quelques centaines de mètres avant la partie urbanisée de la commune présente la capacité la plus élevée avec 61 000 m³. Au cours de la crue du 6-7 octobre, il a joué son rôle d'atténuateur en se remplissant. Le bassin de rétention du Redonnel d'une capacité de 1100 m³ n'a pas assuré son objectif, car il est excentré de l'axe du cours d'eau, néanmoins le volume emmagasiné a pu atténuer l'ampleur de la crue. Trois autres bassins sont en attente de financement pour délester le Rieu Massel de 59 000 m³. Le discours institutionnel encense la capacité des bassins de rétention à réduire les crues. Ils ne représentent cependant pas LA solution pour empêcher les dommages, qui relèvent aussi de l'exposition croissante. D'autres protections ont été réalisées comme l'endiguement et le remodelage du terrain à la confluence du Redonnel et du Rieu Massel ainsi que le recalibrage du Rieu Massel au niveau d'un lotissement (entre la rue des Cévennes et la rue Rio) ou encore le confortement de berges par des gabions le long de certaines habitations. Il reste difficile d'évaluer leur efficacité lors de l'évènement du 6-7 octobre 2014. Mais le calibrage (notamment le sous-calibrage) peut accentuer les débits et/ou les hauteurs d'eau en aval en fonction de l'ampleur du phénomène naturel, ce qui s'est produit selon les témoignages recueillis.
- 48 La commune est par ailleurs couverte par un PPRi (Mosson amont), approuvé en mars 2001, déterminant ainsi la zone inondable et les zones inconstructibles ou constructibles sous conditions. Rappelons que ces zonages⁶ sont déterminés sur la base des crues historiques ainsi que par la méthode hydrogéomorphologique. Ainsi seule l'inondation de cours d'eau – ici en l'occurrence la Mosson et le Rieu Massel – est prise en compte pour délimiter la zone inondable n'excluant pas les effets du ruissellement sans toutefois pouvoir le quantifier ou le spatialiser. La zone inondée en octobre 2014 correspond dans l'ensemble à la zone inondable du PPRi. Cependant certaines zones ont été épargnées tandis que d'autres ont été ennoyées alors qu'elles n'étaient pas identifiées comme telles (figure 6). Afin de consolider le document et de stopper l'urbanisation en zone inondable, la municipalité a la volonté de réviser le Plan de Prévention des Risques (J.-P. Olivarès, mairie de Grabels).
- 49 Le risque est donc pris en compte par les élus locaux. L'information, qui relève d'une obligation légale depuis la loi Bachelot, est transmise aux populations lors de réunions publiques et la pose de repères de crue qui matérialisent les hauteurs d'eau. Malgré ces actions

de protection, de prévision et de prévention, la commune a subi de graves dommages. Aussi se pose la question même cet article n'a certes pas pour objet d'y répondre : comment réduire les dommages pour l'existant ? Les auteurs suivront la période de reconstruction afin d'établir si, *in fine*, ce type d'évènements a pour conséquence de préparer à une prochaine crise.

Conclusion

- 50 Nos relevés de terrains et témoignages recueillis dès le lendemain de l'inondation de Grabels dans la nuit du 6-7 octobre 2014 présentent la cinématique des écoulements, les effets de site et les modifications morpho-sédimentaires ainsi que l'inadaptation de certains aménagements face à la crue éclair. Les caractéristiques pluviométriques et hydrologiques attribuent un caractère exceptionnel, mais historiquement modéré à la crue du 6-7 octobre. Les dommages la rendent exceptionnelle : plus de 500 maisons ont été inondées, de nombreux véhicules emportés par les flots et des dégâts sévères sur la voirie et les ponts. Les débits de pointe et les puissances spécifiques estimés traduisent l'intensité de l'évènement même s'il est important de garder un regard critique sur la surestimation des données acquises par des mesures indirectes (Lumbroso et Gaume, 2012).
- 51 Le retour d'expérience révèle l'existence de deux ondes de crue quasi synchrones qui ont traversé la commune en moins de 1 h 30, la première touchant les lotissements au nord (proches de confluences), puis la propagation de cette même onde de crue en direction du fleuve de la Mosson est venue se surimposer à la crue de ce fleuve. À cela s'ajoute le ruissellement pluvial qui a largement contribué aux inondations et à l'endommagement.
- 52 Les dommages signent la violence du flux et sa capacité à éroder et transporter : routes et chemins de terre incisés, ravinement des sols, érosion des berges et glissement de terrain, arrachage de ligneux, et d'autres débris artificiels qui s'additionnent au débit solide. La quantification de la charge sédimentaire et organique reste difficile post-crue en raison du nettoyage, mais elle demeure exceptionnelle lorsque l'on regarde les laisses dans le paysage.
- 53 Le retour d'expérience pointe aussi les lacunes de fonctionnement et l'efficacité des mesures prises pendant la crise et après. Les ouvrages hydrauliques comme les bassins de rétention offrent une protection limitée pour des événements de haute énergie. Tous n'ont pas eu la même efficacité, certains se sont remplis alors que d'autres sont restés vides en raison d'une implantation inadaptée ! Certaines structures, notamment les gabions dans les berges et fond des lits fluviaux et le gabarit contrôlé des cours d'eau à l'entrée de la zone urbaine, ont renforcé la puissance de la crue. L'analyse des mesures de prévention révèle des constats mitigés. L'application des mesures réglementaires d'occupation des sols et d'information préventive répondent aux attentes des institutions nationales (PPRi, repères de crue), mais déterminer la part de ces mesures dans la réduction de l'endommagement reste dans ce cas illusoire et mériterait d'être approfondi grâce à d'autres méthodes -étude de perception notamment- (en cours sur la commune). La même remarque vaut pour la gestion de crise qui, rappelons-le, a bénéficié de « chance » en effet immédiatement après l'alerte aux populations tous les moyens de communication ont été coupés ? Que serait-il advenu si l'alerte n'avait pu être donnée ?
- 54 Enfin, apparaît ici la nécessité de rappeler que, dans de pareilles circonstances, de catastrophe naturelle, le responsable idéal est l'aléa et, dans un contexte plus général et catastrophiste, le réchauffement climatique. Peu admettent, et surtout pas les médias, que si l'aléa a bien une origine naturelle, c'est bien l'urbanisation dans les lits majeurs qui a, i) bouleversé les dynamiques d'écoulement, accentuant les débits et hauteurs et surtout ii) aggravé les endommagements. Il existe bien des processus de production du risque (Vinet *et al.*, 2012 ; Duvat et Magnan, 2014). Le responsable étant un évènement naturel, les solutions proposées abondent dès lors dans la mise en place ou le renforcement des mesures structurelles sans admettre que la réduction des vulnérabilités et de l'endommagement passe également par la l'alerte et l'évacuation.
- 55 En France, les retours d'expérience sont principalement menés après un évènement estimé « catastrophique » en fonction des dégâts matériels, mais aussi des victimes. De plus ces rapports post évènements sont établis, de manière générale, par l'intermédiaire de l'inspection générale des services, mais aussi de l'inspection générale de l'environnement

et des collectivités territoriales. Mais de plus en plus d'études scientifiques tentent de compenser cette vision institutionnelle⁷. Les objectifs sont multiples. Il s'agit de s'arrêter sur un événement et un territoire particuliers que ce soit une crise majeure ou un événement de « moindre » ampleur. Ce constat scientifique apporte des éléments sur l'histoire événementielle d'un territoire et permet la remise en perspective en cas de nouvel événement. La reconstitution du déroulement de la crise et l'évaluation de l'endommagement donnent également la possibilité de tirer les leçons de l'événement. Il permet d'identifier les causes de l'endommagement, mais également la gestion de crise et donc la sauvegarde des personnes.

Bibliographie

Antoine, J.M., B. Desailly et F. Gazelle, 2001, Les crues meurtrières, du Roussillon aux Cévennes, *Annales de géographie*, n° 622, p. 597-623.

Ballais, J-L., G. Garry et M. Masson, 2002, La place de l'hydrogéomorphologie dans les études d'inondation en France méditerranéenne. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, volume 8, n° 1, pp. 5-15.

Bernot, V. et D. Creuze Des Chatelliers, 1998, *Etude de l'adaptation de la méthode de sectorisation mise au point sur le Vidourle à d'autres cours d'eau du bassin Rhône-Méditerranée-Corse*, Rapport final à l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, A.R.A.L.E.P.B.P., 63 p. + ann.

Bilby R.E. et P.A. Bisson, 1998, *Function and distribution of large woody debris*, dans : Naiman R.J., R.E. Bilby (Eds.), *River Ecology and Management Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*, Springer, pp. 324-346.

Boissier, L., 2013, *Les victimes des inondations dans le Midi méditerranéen*, Thèse de Doctorat, Université Montpellier 3, 185 p. + annexes.

Carling, P.D et M.R. Dawson, 1996, *Advances in fluvial dynamics and stratigraphy*, J. Wiley and Sons, Chichester, p. 340.

Couder, P. et P-H. Claustre, 1998, *Grabels, images d'eau et de pierres*, Association Lou Dragas, Maury Imprimeur, 118 p.

Defossez, S., 2009, *Evaluation des mesures de gestion du risque inondation. Application au cas des basses plaines de l'Aude*, thèse de doctorat, université Montpellier 3, 462 p. + annexes.

Direction Départementale de l'Équipement (DDE), Département de l'Hérault, Service urbanisme – Aménagement du Territoire, Eau et Environnement, 2001, *Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondations*, Mosson Amont, rapport de présentation, 48 p.

Douvinet J., S. Defossez, A. Anselme et A.-S. Denolle, 2011, Les maires face aux Plans de Prévention du Risque Inondation, *Espace Géographique*, pp. 31-46.

Duvat, V. et A. Magnan, 2014, *Des catastrophes... « naturelles » ?*, Editions le Pommier, 311 p.

Estupina-Borrell, V., J. Chorda et D. Dartus, 2005, Flash floods anticipation. Prévision des crues éclair, *C. R. Geoscience*, 13, pp. 1109-1119

Gabert, P. et J. Nicod, 1982, Inondations et urbanisation en milieu méditerranéen. L'exemple des crues récentes de l'Arc et de l'Huveaune, dans : *Méditerranée*, Troisième série, Tome 46, 3-4. Développement et environnement dans la région Provence - Alpes Côte d'Azur, pp. 11-24

Gaume, E., 2002, *Eléments d'analyse sur les crues éclair*. Thèse de doctorat, École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts – Institut National de la Recherche Scientifique, France, p. 359.

Gaume, E., V. Bain, P. Bernardara, O. Newinger, M. Barbuc, A. Bateman, L. Blaskovicova, G. Bloschl, M. Borga, A. Dumitrescu, I. Daliakopoulos, J. Garcia, A. Irimescu, S. Kohnova, Koutroulis A. Marchi L., Matreat S., Medina V., Preciso E., Sempere-Torres D., Strancalio G., J. Szolgay, I. Tsnaï, D. Velasco et A. Viglione, 2009, A compilation of data on European flash floods, *Journal of Hydrology*, 367, pp. 70-78.

Houbrechts, G. et F. Petit, 2003, Utilisation des scories métallurgiques en dynamique fluviale : détermination de la compétence effective des rivières et estimation des vitesses de progression de leur charge de fond, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, pp. 3-12.

International Association of Hydrological Sciences, Unesco, World Meteorological Organization, 1974, *Flash Floods Symposium : Proceedings*, N 112 de IAHS-UNESCO-WMO, p. 139.

Institut nationale de la statistique et des études économique (Insee), Commune de Grabels [En ligne] URL : http://www.insee.fr/fr/themes/dossier_complet.asp?codgeo=COM-34116, dernière consultation le 26 février 2015

Institut nationale de la statistique et des études économique (Insee), 2011, Résultats du recensement de la population 2011 [En ligne] URL : <http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/default.asp?page=recensement/resultats/2011/rp2011.htm>, dernière consultation le 26 février 2015

Jarrige, F., P. Thinon et B. Nougarede, 2006, La prise en compte de l'agriculture dans les nouveaux projets de territoires urbains. Exemple d'une recherche en partenariat avec la communauté. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n° 3. Armand Colin, pp. 393-414.

Léonard, J. et P. Andrieux, 1998, Infiltration characteristics of soils in Mediterranean vineyards in Southern France, *Catena*, 32, pp. 209-223.

Liébault, F., 2003, *Les rivières torrentielles des montagnes drômoises : évolution contemporaine et fonctionnement géomorphologique actuel (massif du Diois et des Baronnies)*. Thèse de doctorat, Université Lyon 2, p. 357.

Lumbroso, D. et E. Gaume, 2012, Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges. *Journal of Hydrology*, 414, pp. 16-30.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Mesures d'eau, calcule sur une station donnée les débits et fournit les valeurs d'écoulement. [En ligne] URL : <http://www.hydro.eaufrance.fr>, dernière consultation 08 février 2015

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Serveur de données hydrométriques temps réel du bassin Rhône Méditerranée. [En ligne] URL : <http://www.rdbm.com/hydroreeel2>, dernière consultation le 24 février 2015

Ortega, J.E. et G.G. Heydt, 2009, Geomorphological and sedimentological analysis of flash floods deposits. The case of the 1997 Rivillas flood (Spain), *Geomorphology*, 112, pp. 1-14.

Petit, F., E. Hallot, G. Houbrechts et J. Mols, 2005, Évaluations des puissances spécifiques de rivières de moyenne et de haute Belgique, *Bulletin de la société géographique de Liège*, 46, pp. 37-50.

Petts, G., 1977, Channel response to flow regulation : the case of river Derwent, Derbyshire. In Gregory K.J. (Ed.) : *River Channel Changes*. Wiley, Chichester, pp. 145-164.

Provitolo, D., 2007, « La vulnérabilité aux inondations méditerranéennes : une nouvelle démarche géographique », *Annales de Géographie*, n° 653, pp. 23-40.

Ribolzi, O., P. Andrieux, V. Valles, R. Bouzigues, T. Bariac et M. Voltz, 2000, Contribution of groundwater and overland flows to storm flow generation in a cultivated mediterranean catchment. Quantification by naturel chemical tracing, *Journal of Hydrology*, 233, pp. 41-257.

Vinet, F., 2010, *Le risque inondation. Diagnostic et gestion*, Editions Lavoisier Tec & Doc collection SRD, 328 p.

Vinet F., S. Defossez, T. Rey et L. Boissier, 2012, Le processus de production du risque submersion marine en zone littorale : l'exemple des territoires « Xynthia », *Norois*, n° 222, pp. 11-26.

Notes

1 Le terme de victime est préféré à celui de décès et se différencie donc du sinistré.

2 Société privée qui transmet des données hydro-météorologiques en temps réel aux communes cotisantes.

3 Cette liste d'appel a été constituée grâce au recensement des numéros de téléphone de l'annuaire téléphonique, des riverains du Rieu Massel, du Comité communal des Feux de Forêts et de la réserve communale de sécurité civile.

4 Une réserve civile communale « inondation » existe à Grabels dans le but de venir en appui aux gestionnaires de la crise. D'autres volontaires épargnés ou de communes avoisinantes se sont joints à la réserve civile.

5 Adjoint aux grands travaux, aux services techniques et protection durable des territoires. Il est en plus responsable du Comité communal des Feux de Forêts et de la réserve communale de sécurité civile de Grabels.

6 À Grabels, le zonage est classiquement découpé entre une zone rouge, de risque grave de hauteur centennale supérieure ou égale à 50 cm ou une vitesse d'écoulement supérieure ou égale à 0,5 m/s d'une part, et une zone bleue, de hauteur d'eau jusqu'à 50 cm avec des vitesses inférieures à 0,5 m/s

7 Exemples des retours d'expérience menés suite au tsunami de décembre 2004 sous la direction de Franck Lavigne notamment ou encore le numéro spécial de la revue *Norois* (n° 22, 2012) consacré à « Xynthia ».

Pour citer cet article

Référence électronique

Tony Rey, Stéphanie Defossez, Freddy Vinet et Laurent Boissier, « Cinématique et impacts d'un événement hydrométéorologique : les inondations du 6-7 octobre 2014, Grabels (France méditerranéenne) », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 16 Numéro 1 | mai 2016, mis en ligne le 09 mai 2016, consulté le 16 juin 2016. URL : <http://vertigo.revues.org/16965> ; DOI : 10.4000/vertigo.16965

À propos des auteurs

Tony Rey

Maître de Conférences en Géographie, UMR GRED/Université Paul-Valéry-Montpellier 3, route de Mende 34199 Montpellier Cedex 5, France, courriel : tony.rey@univ-montp3.fr

Stéphanie Defossez

Maître de Conférences en Géographie, UMR GRED/Université Paul-Valéry-Montpellier 3, route de Mende 34199 Montpellier Cedex 5, France, courriel : stephanie.defossez@univ-montp3.fr

Freddy Vinet

Professeur des Universités en Géographie, UMR GRED/Université Paul-Valéry-Montpellier 3, route de Mende 34199 Montpellier Cedex 5, France, courriel : freddy.vinet@univ-montp3.fr

Laurent Boissier

Docteur en Géographie, Chercheur associé, UMR GRED/Université Paul-Valéry-Montpellier 3, route de Mende 34199 Montpellier Cedex 5, France, courriel : laurentboissier@free.fr

Droits d'auteur



Les contenus de *VertigO* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Résumés

Dans la nuit du 6 au 7 octobre 2014, une crue éclair frappe le nord de Montpellier et notamment la commune de Grabels. Au cours de ce bref épisode pluviométrique, les ruissellements de versants, les cours d'eau -du petit ruisseau au fleuve de la Mosson- sont entrés en crue et sortis de leur lit mineur endommageant près de 500 habitations. Pour reconstituer au plus près le déroulement de la crue rapide et ses impacts, nous avons mené un retour d'expérience dès le lendemain de la catastrophe. À partir des indicateurs morpho-sédimentaires et des dégâts observés, nous avons reconstitué l'enveloppe de la zone inondée ; caractérisé les hauteurs d'eau maximales atteintes ; identifié la cinématique des écoulements de crue ; estimé les débits de pointe et la puissance spécifique et caractérisé les modifications morpho-sédimentaires. Le retour d'expérience, réalisé à l'échelle locale, a mis en lumière les dynamiques hydrogéomorphologiques et leurs effets, comme l'existence de deux ondes de crue, la sous-estimation à certains endroits de la zone inondable, l'inadaptation de certains aménagements, ou encore des effets de site ou la forte capacité d'incision des matériaux. Il a en outre permis d'estimer les dommages sur la zone urbanisée.

Mediterranean area has often concerned area is often hit by flash foods. Grabels (city in southern France) experienced flash floods from 6-7th October 2014. During this time the river

“Mosson” and its tributaries overflowed and combined with the streaming to damage near 500 homes. To evaluate the event and its impacts, we performed an analysis days after the disaster to identify the main flow and consecutive damages. We identified the floodplain, the development of the flood and others characteristics on morphosedimentary and hydrologics changes. We also estimate damages and impacts on urbanized area.

Entrées d'index

Mots-clés : risque naturel, retour d'expérience, dynamiques d'écoulements, impacts morphologiques, inondation, dommages

Keywords : natural hazard, lessons learned, flow dynamics, morphologic effects, flood, damages