

L'inondation de la Touloubre (Bouches-du-Rhône) de septembre 1993 dans son contexte historique

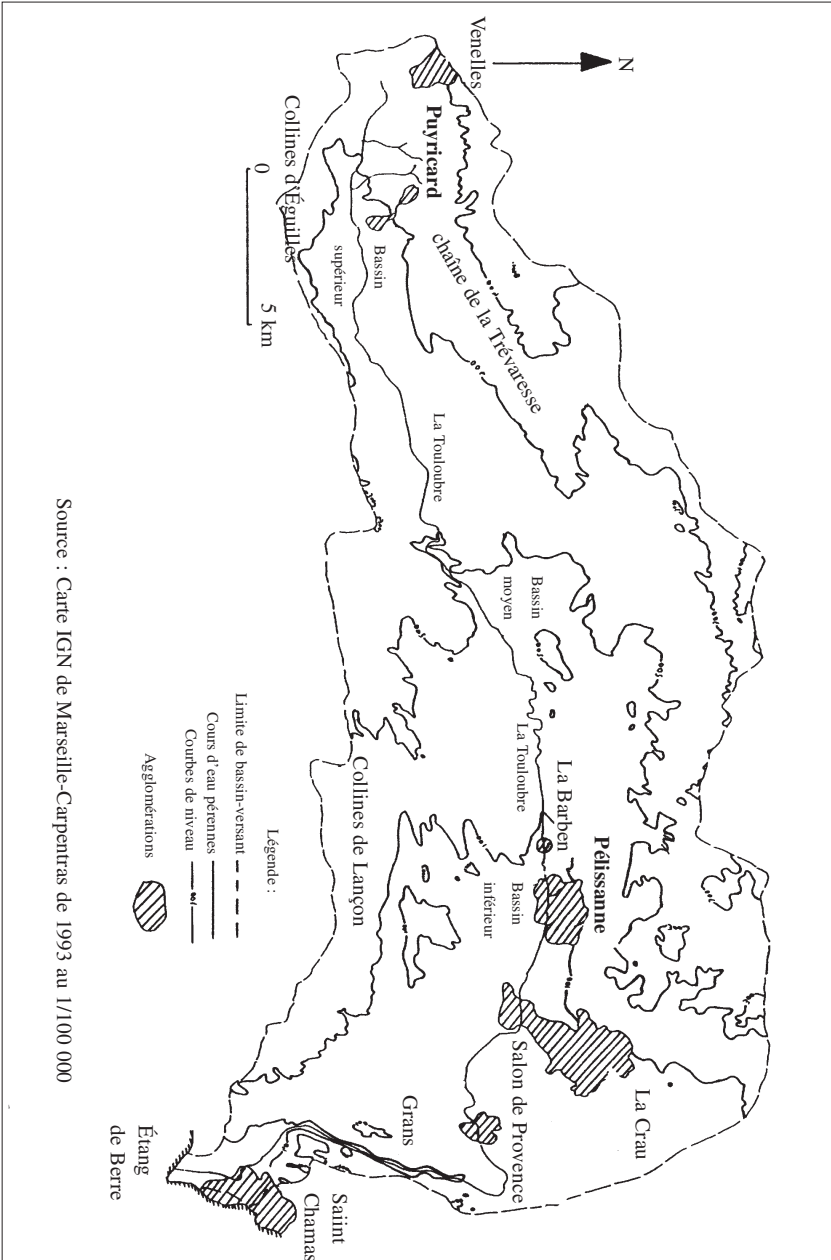
_____ Jean-Louis Ballais, Thierry Torres,
Mirabelle Fiandino

La Touloubre est un petit fleuve des Bouches-du-Rhône qui se jette dans l'étang de Berre et dont le bassin-versant (fig. 1) s'insinue entre celui de l'Arc, au sud, et celui de la Durance, au nord. D'une superficie de l'ordre de 150 km², ce bassin-versant est constitué de bas plateaux et de collines surtout calcaires. La Touloubre n'était pas totalement anonyme dans la mesure où elle arrose la ville et la base aérienne de Salon-de-Provence dans son bassin inférieur. Cependant, sa notoriété est restée strictement limitée jusqu'à la nuit du 22 au 23 septembre 1993 au cours de laquelle elle a inondé les bas quartiers de Venelles, Puyricard (commune d'Aix-en-Provence), La Barben, Pélissanne et Salon, provoquant d'importants dégâts matériels. S'agit-il d'un événement exceptionnel dû à des circonstances météorologiques rarissimes ou, au contraire, s'agit-il d'un nouveau type d'inondation fortement influencé par l'urbanisation du bassin-versant? Nous allons tenter de démontrer que c'est cette deuxième problématique qui est la plus exacte.

Les crues de la Touloubre aux XIX^e siècle et XX^e siècle

Une recherche documentaire a été effectuée à partir de divers ouvrages et quotidiens, ainsi que sur des archives qui ont fourni des données de pluies et de débits permettant de préciser les caractéristiques des crues et des inondations. Cette recherche concerne surtout le bassin inférieur¹. Elle a mis en évi-

1. M. FIANDINO, *Étude des inondations et des aménagements de la Touloubre (du Château de La Barben au canal EDF) pour une meilleure gestion de l'eau à l'échelle du bassin-versant*, mémoire de maîtrise, Université de Provence, 1995.



Source : Carte IGN de Marseille-Carpenentras de 1993 au 1/100 000

Figure 1. Le bassin versant de la Touloubre.

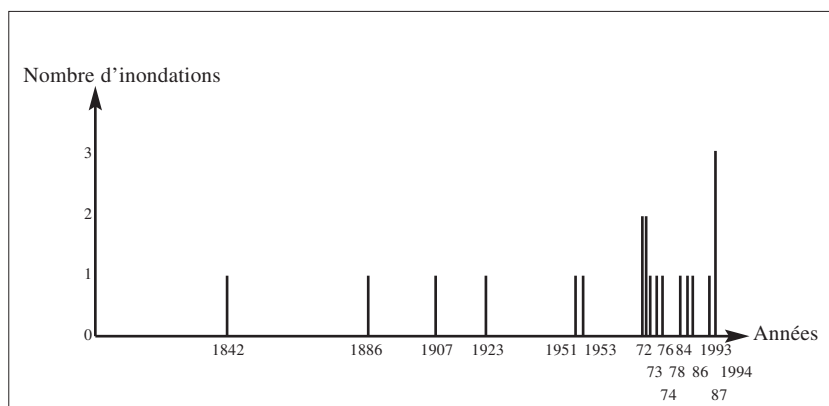


Figure 2. Fréquence des inondations de la Touloubre depuis 1842.

dence deux périodes distinctes : la première, avant 1960, pendant laquelle les archives et certaines études hydrologiques donnent des informations, mais les appareils de mesure et les descriptions journalistiques manquent de précision ; la deuxième période, après 1960, pendant laquelle les mesures sont plus fiables grâce à l'installation d'un limnigraphe à La Barben.

Les inondations avant 1960

Nous ne savons rien des crues et des inondations de la Touloubre avant septembre 1842 où une grosse inondation provoque des dégâts importants² (fig. 2). En revanche, on ignore si les fortes pluies de novembre 1854, de septembre 1855, d'octobre 1856 et de septembre 1873 ont provoqué des inondations³. En effet, en général, les informations sont imprécises et peu scientifiques. On sait seulement que la Touloubre débordait régulièrement dans la plaine de Salon-de-Provence jusqu'à Lançon et occupait toute la largeur de cette plaine. D'après les journalistes du Mémorial d'Aix-en-Provence, les débordements résultaient d'un manque d'entretien du lit, qui engendrait un ensablement et, à chaque orage, le plus souvent en septembre, octobre ou novembre, les communes de La Barben, Pélissanne, Salon, Lançon, Grans ou Cornillon étaient inondées. Ainsi les récoltes de raisin étaient perdues et les terres à céréales n'étaient pas ensemencées.

À partir de 1886, les informations semblent plus précises⁴ : les immeubles de Grans montrent des indications de niveaux d'inondations en 1886, 1907, 1951 et 1953. D'après les services d'EDF, ces niveaux corres-

2. *Mémorial d'Aix-en-Provence*, 20 octobre 1842.

3. *Idem*, cf. note 2.

4. Ponts et Chaussées, *Protection contre les inondations, étude hydrologique de la Touloubre*, arrondissement d'Arles.

pondraient respectivement aux débits suivants : 108 m³/s, 86 m³/s, 55 m³/s et 29 m³/s. La crue exceptionnelle de 1886 serait liée à des précipitations particulièrement abondantes puisque il est tombé 839 mm au cours de l'année à Salon, dont 145 mm les 26, 27 et 28 octobre ; Pélissanne a reçu 198 mm du 18 au 21 septembre et 141 mm du 26 au 28 octobre. En 1907, il est tombé 217 mm en octobre à Salon et 233 mm en novembre dont 72 mm le 8 novembre. D'après une enquête orale, il y aurait eu 1,50 m d'eau dans les rues de la ville de Grans et, depuis, les débordements n'auraient jamais été aussi importants. L'information orale d'une crue en 1923 n'a pu être confirmée par les archives.

Le nombre d'inondations recensées est nettement moins important que le nombre de jours de pluies très intenses comme, à Pélissanne, le 3 juillet 1914 (135 mm) ou le 29 octobre 1903 (134 mm) ou, à Salon, le 24 août 1925 (129 mm) et le 28 octobre 1903 (114 mm).

Les crues après 1960

Depuis l'installation du limnigraphe de La Barben, on a enregistré quatorze crues importantes (fig. 2), le maximum étant atteint le 19 février 1972 avec un débit maximum instantané de 57 m³/s⁵. Globalement, à chaque inondation, les lotissements et les habitations en bordure de La Touloubre connaissent des dégâts (caves, jardins ou rez-de-chaussée inondés), certaines routes deviennent impraticables, certains aménagements du cours d'eau sont endommagés (enrochements, murets...). En ce qui concerne les crues peu ou non inondantes, leurs débits maximums instantanés sont compris entre 5,2 et 15,6 m³/s.

La fréquence des crues paraît avoir augmenté au cours de la deuxième moitié du xx^e siècle (fig. 2). En fait, depuis 1960, toutes les crues sont enregistrées, ce qui n'était pas le cas précédemment.

La crue du 23 septembre 1993

La crue dans le haut-bassin-versant

Approche méthodologique de l'analyse de la crue

L'analyse de la crue est le produit d'une approche méthodologique multiple, d'abord basée sur l'observation sur le terrain des traces laissées par le fonctionnement des organismes hydrologiques, certains insoupçonnés, et des champs d'inondation qui leur sont associés, mais également étayée par l'utilisation de sources d'information complémentaires, autres que le terrain lui-même.

Cette méthode d'analyse peut être divisée en trois étapes. La première est une recherche préliminaire d'investigation sur le terrain qui consiste à identifier d'éventuels témoins du passage de la crue. Ceci dans le but de pouvoir retracer l'organisation générale des différents écoulements de crue. La

5. Direction régionale de l'environnement, *Données journalières de débit de 1966 à 1994*.

seconde étape rentre plus précisément dans le cadre d'une analyse hydro-géomorphologique détaillée de la crue. Elle consiste d'abord à délimiter les champs d'inondation de la Touloubre, une méthode qui se réfère à celle énoncée par Masson⁶ et Bomer⁷. Mais cette deuxième étape équivaut surtout à révéler le réseau des flots de crue directs apparus sur les pentes du bassin-versant urbanisé de Venelles. Ainsi, pour retracer le schéma hydrologique de crue, il a été impératif de se guider sur l'organisation des voies de communication et du réseau d'assainissement pluvial. Enfin, la troisième étape de l'analyse de la crue nécessite l'utilisation de sources d'information supplémentaires. Ainsi, la connaissance de l'organisation générale des voies de communication et des réseaux pluvieux a été complétée par le recours aux plans cadastraux et aux études hydrauliques antérieures. L'exploitation des témoignages des riverains de la commune de Venelles, ainsi que celle des photographies de l'événement, ont apporté des informations supplémentaires.

Ainsi, le résultat d'une telle approche a été, outre l'analyse détaillée de la crue de la Touloubre elle-même, la possibilité de réaliser des cartographies fines des écoulements de crue dans le haut bassin-versant⁸.

Analyse de la crue à l'échelle du bassin-versant

La Touloubre a constitué l'organisme principal du bassin-versant lors de la crue du 22 septembre 1993. Ce fleuve a reçu de nombreux apports de ses affluents mais aussi de flots de crue directs et soudains. Sa tête prend naissance dans le périmètre du lieu-dit *La Baraque* (fig. 3). Son exutoire, dans les limites de la commune de Venelles se situe au niveau de la station d'épuration des Logissons. Pour ce qui est des autres axes de drainage empruntés par la crue, il faut distinguer les vallons fonctionnels affluents de la Touloubre (fig. 3). Un premier groupe d'affluents se localise tout d'abord dans le sous-bassin-versant de la tête de la Touloubre (fig. 3). Il s'agit, en particulier, des écoulements de deux unités hydrologiques qui alimentent la tête de la Touloubre, d'une part en rive gauche en provenance du château de Saint Hippolyte et, d'autre part, en rive droite, dans le périmètre des Quatre Tours. Il est également possible de distinguer un second groupe d'affluents qui constituent de véritables organismes hydrologiques beaucoup plus marqués que ceux de la tête : vallons du Claou et de Tourame/Fauris en rive droite, vallon de Mon Travail/Logissons en rive gauche. Enfin, il faut considérer les nombreux flots générés par la crue pluviale en milieu urbanisé, qui ne correspondent pas toujours au schéma hydrologique induit par la mor-

6. M. MASSON, « Après Vaison-la-Romaine, pour une approche pluridisciplinaire de la prévision et de la planification », In : *Revue de géomorphologie dynamique*, 1993, n° 2, p. 73-77.

7. B. BOMER, « Approches hydrologiques, climatologiques, géomorphologiques des crues catastrophiques », In : *L'Aiguat de 140*, 1993, p. 279-283.

8. T. TORRES, *Processus, causes et enseignements de la crue pluviale du 22 septembre 1993 dans la commune de Venelles*, mémoire de maîtrise, université de Provence, 1995.

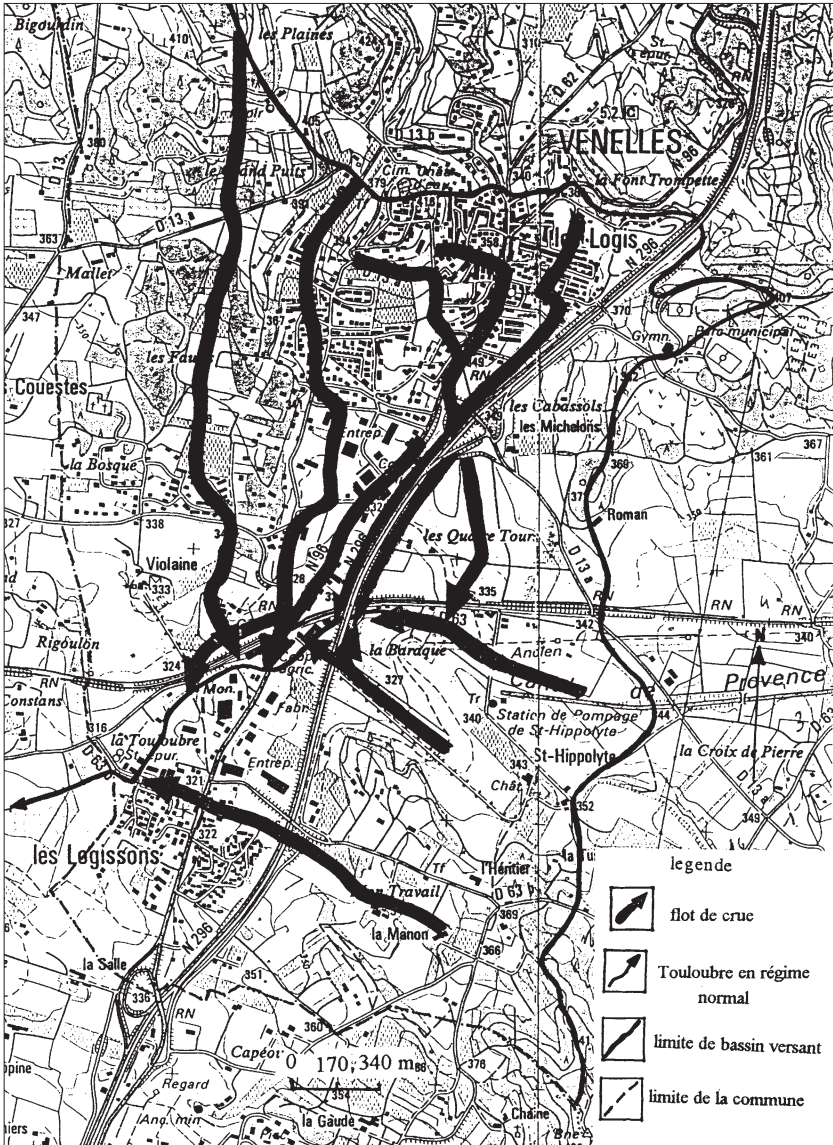


Figure 3. Carte synoptique des écoulements de crue à l'échelle du bassin-versant de la Touloubre.

phologie du bassin-versant. Il s'agit donc, pour la plupart, d'apports en rive droite de la Touloubre, puisque l'urbanisation est majoritairement développée sur le versant nord du bassin-versant. Ces flots correspondent d'abord à ceux écoulés par la RN96. La deuxième alimentation générée par la crue pluviale a été canalisée par le système d'assainissement pluvial de l'auto-route A51. Ces apports proviennent des ruissellements sur l'autoroute, mais aussi dans le centre ville de Venelles.

Comme on vient de le voir, les flots de rive droite sont beaucoup plus nombreux que les flots de rive gauche. De ce fait, les confluences en rive droite sont multiples et affectent la Touloubre tout le long de son cours. Pour la partie du bassin-versant qui comprend le centre ville de Tourame, les écoulements apparaissent très tôt, à proximité de la ligne de partage des eaux. Les exutoires des écoulements du vallon du Claou et du vallon de Tourame se font en différents points au niveau de la voie ferrée Marseille-Briançon se situant de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de la Touloubre. Les confluences des flots de crue du centre ville se font en différents secteurs de la ville, mais leur convergence finale se fait au niveau du bassin d'orage de la bretelle d'autoroute nord. De là, ces écoulements rejoignent les fossés d'assainissement de l'autoroute qui se déversent dans la Touloubre. Quant au flot de la RN96, celui-ci se jette dans la Touloubre après avoir franchi la voie ferrée. En ce qui concerne le versant sud et l'aire de la tête de la Touloubre, on peut signaler que le flot de crue du vallon de Mon Travail conflue dans le quartier des Logissons. Et enfin, la nappe inondante de la Touloubre prend naissance dans les parcelles agricoles en contrebas du canal de Provence et elle devient vraiment importante là où les flots de Saint Hippolyte et des Quatre Tours confluent avec elle.

La crue du 22 septembre s'est développée dans des axes de drainage assez variés. Les écoulements ont pu se réaliser soit dans de véritables unités hydrogéomorphologiques, qu'elles soient « naturelles » ou bien urbanisées, ou soit sur des surfaces d'écoulement artificielles, principalement relatives aux voies de communication. Ainsi, les unités hydrogéomorphologiques se distinguent dans le bassin-versant de la Touloubre en vallons bien individualisés et en vastes dépressions peu marquées. Les premières formes présentent deux types d'espaces : d'une part, des espaces « naturels », où l'écoulement s'est révélé être moyennement chenalisé (vallon de Mon Travail, section amont du vallon de Tourame), d'autre part, les vallons plus marqués par l'empreinte de l'urbanisation où des flots plus chenalisés ont été favorisés par la grande proportion de surfaces imperméables. Les écoulements dans les dépressions, en revanche, sont beaucoup plus étalés et ils se développent dans des espaces agricoles (il s'agit, en particulier, du sous bassin-versant de la tête de la Touloubre). Enfin, pour ce qui est des surfaces d'écoulement artificielles, on peut affirmer que l'écoulement s'est cantonné à suivre un axe de drainage limité : dans le cas particulier des voies de communication, le flot très chenalisé est resté soit contenu dans les fossés d'assainissement, soit a débordé mais s'est alors limité à la largeur même des routes.

Les contraintes selon lesquelles se déroulent les écoulements du bassin-versant de la Touloubre sont très révélatrices du caractère urbanisé de ce bassin-versant. En effet, une majeure partie des flots de crue se réalise d'une manière dirigée, voire forcée, alors qu'une faible proportion se fait de manière « libre ». Par libre on entend que le front de la nappe d'inondation ne subit que très peu l'influence des aménagements hydrauliques ou autres et que, par conséquent, son cheminement est plus ou moins naturel. À l'opposé, les écoulements forcés ou dirigés sont commandés par la structure d'un réseau de drainage ou par l'organisation des voies de communication. Il est donc aisé de constater que les écoulements plus ou moins libres de ce bassin-versant se sont produits dans les espaces ruraux, encore peu marqués par un maillage urbain (tête de la Touloubre, vallon de Mon Travail, amont du vallon de Tourame). En ce qui concerne les écoulements dirigés et forcés, il faut se tourner vers ceux qui ont affecté pleinement les vallons fortement urbanisés (Claou et Tourame) et les axes de communication comme la RN96 ou l'autoroute A51.

Analyse et interprétation des débits instantanés de la tête de la Touloubre

Les mesures de débits instantanés sur le flot naissant de la Touloubre révèlent que cette dernière avait un débit considérable au passage sous l'autoroute A51. Ces mesures ont été effectuées après la crue, sur des buses en amont desquelles la hauteur d'eau a pu être mesurée grâce aux laisses de crue. La formule $Q = s \sqrt{gh}$ a alors été appliquée⁹. Les débits obtenus sont donc des débits minimaux puisque tout le volume écoulé par débordement au-dessus des buses ne peut pas être mesuré. Dans le détail, la Touloubre présente trois segments (fig. 4). En effet, on a tout d'abord un débit de 1,38 m³/s tout en amont du flot naissant (fig. 4). Il s'agit du flot unique qui prend naissance rapidement en contrebas du canal de Provence. L'influence d'apports se fait sentir dès la deuxième mesure puisque le débit passe à 5,31 m³/s grâce à la confluence du flot des Quatre Tours qui transite par le fossé provenant du bassin d'orage sud de l'autoroute. À cet endroit, les débordements deviennent beaucoup plus importants. La progression du débit est très rapide puisque à l'amont du passage sous l'autoroute, ce débit atteint 8,5 m³/s. Là, il est évident que ce flot de la Touloubre en crue dépasse largement la capacité de drainage du réseau en place. En effet, si l'on admet que le débit d'amont ne dépasse que modérément la capacité d'évacuation de l'ouvrage (qui est de 0,85 m³/s), le dépassement des autres sections est beaucoup plus net. Ainsi, pour le débit de 5,31 m³/s, la capacité de drainage de l'ouvrage est seulement de 3,8 m³/s. Pour la buse à l'amont de l'autoroute, la capacité d'évacuation est de 5,4 m³/s. On a donc des ouvrages qui se mettent en charge grâce à des flots de crue de plus en plus importants. Enfin, le flot correspondant aux écoulements provenant de l'autoroute a eu un débit instantané minimum de 4,1 m³/s. Grâce à cette confluence, le débit

9. Q est le débit en m³/s, s est la surface de la buse en m², g est l'accélération de la pesanteur en m/s et h est la hauteur en m de l'eau à l'amont de la buse.

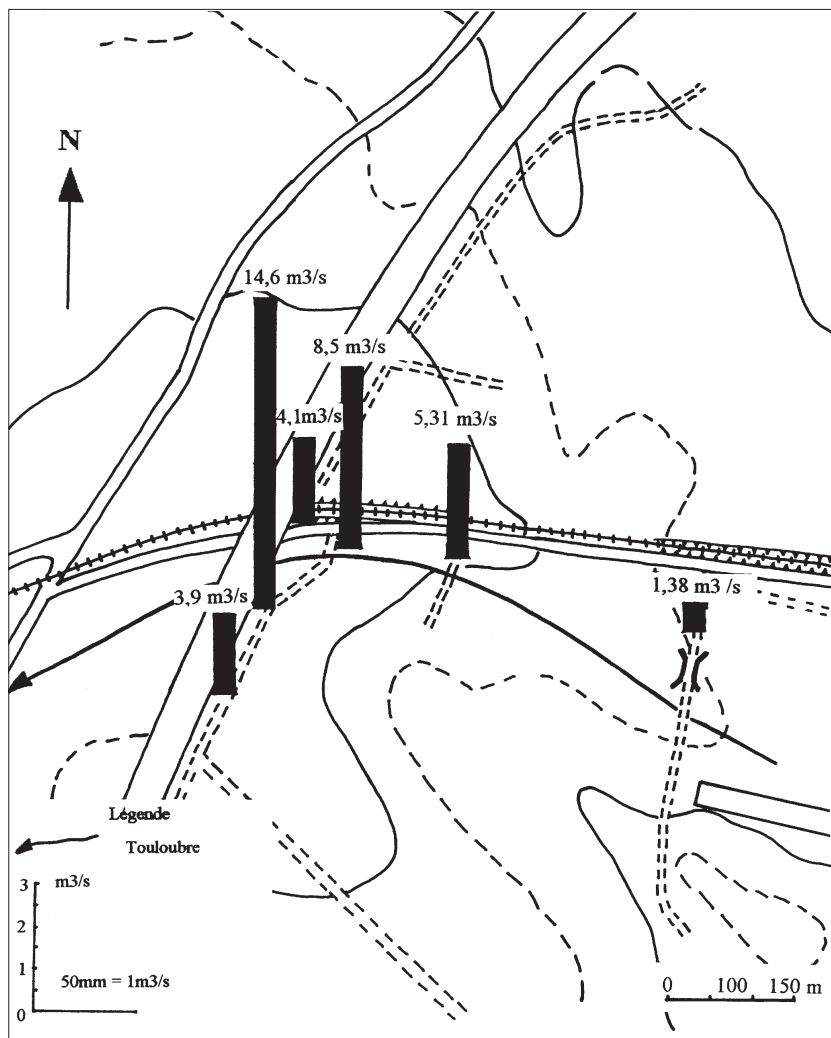


Figure 4. Carte des débits de la tête de la Touloubre.

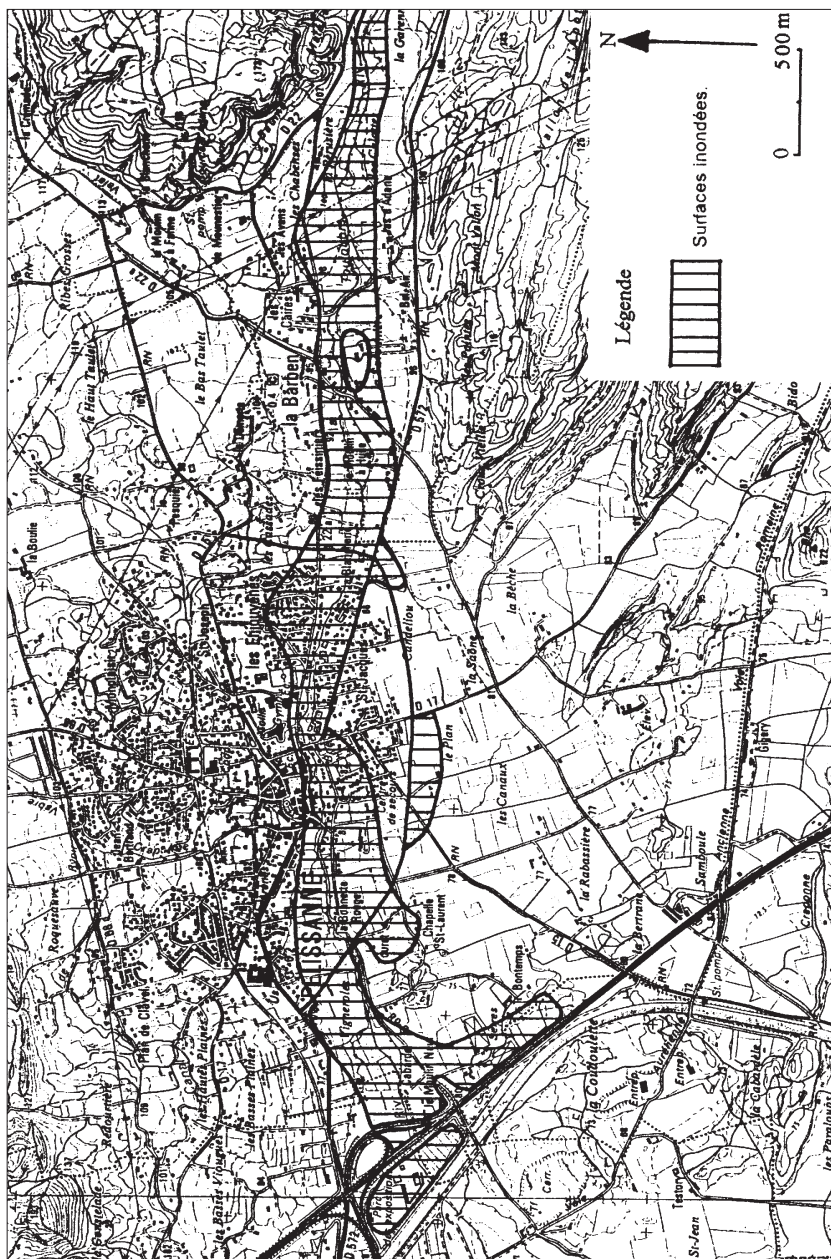


Figure 5. Inondation de la Touloubre le 23 septembre 1993 dans le bassin inférieur.

de la Touloubre a atteint au moins 14,6 m³/s au niveau de la buse de l'auto-route.

La crue dans le bassin-versant inférieur

À La Barben, la crue du 23 septembre a un débit journalier de 19,9 m³/s et un débit maximum instantané de 51 m³/s. Les rues de La Barben et de Pélissanne ont été inondées, ainsi que de nombreux lotissements, des caves et des champs, en rive droite et en rive gauche (fig. 5). On a mesuré 80 cm d'eau dans les rues de Pélissanne et on a dénombré des centaines de familles sinistrées (enquête orale).

La place de cette crue parmi les crues importantes du bassin-versant inférieur peut être appréciée par l'étendue de son champ d'inondation. Pour cela, il faut déterminer l'extension maximale du champ d'inondation de la Touloubre. On a donc reporté sur la carte l'extension des inondations de 1993 et de 1994. Puis, l'étude du terrain par l'intermédiaire de la topographie (talus, dénivellations, route surélevée...), de la granulométrie des dépôts (matériaux grossiers du lit mineur, matériaux fins du lit moyen et du lit majeur, matériaux plus grossiers des dépôts de versant), de l'observation de la végétation (espèces présentes, existence d'une ripisylve, caractère hydrophile ou non de la végétation), occupation du sol (localisation des anciennes constructions, types de cultures, routes et aménagements), complétée par l'enquête orale, permet de situer l'extension du lit majeur¹⁰ (fig. 6). À la sortie des gorges de La Barben, la vallée est encadrée par des massifs calcaires. Ainsi, les lits fluviaux restent étroits (maximum de 150 à 200 m pour le lit majeur). Dans le détail, la route du château de La Barben, surélevée de 1 m par rapport à la berge, empêche un étalement des flots de crue. En termes de risques, du fait de la dominance de l'agriculture, les habitations sont rares. En revanche, à l'ouest de la ferme de La Pérusière, la plaine alluviale s'ouvre et les massifs calcaires s'éloignent. Les pentes commencent à diminuer et les flots de crue ont tendance à largement s'étaler dans les champs et dans les lotissements (largeur maximum du lit majeur constitué de limons fins et foncés : 400 m). En termes de risques, les habitations se trouvant à moins de 200 m de part et d'autre du lit mineur sont donc en zone inondable, soit environ une cinquantaine appartenant à la commune de La Barben. C'est à Pélissanne que les risques sont les plus grands. En effet, les berges de la Touloubre ont vu, depuis une cinquantaine d'années, une formidable extension de l'urbanisation sous la forme de lotissements, de locaux administratifs, tous en zone inondable. De plus, les nombreux aménagements qui gênent ou qui modifient l'écoulement fluvial, les ruissellements supplémentaires urbains ou péri-urbains qui s'ajoutent au débit de la Touloubre, contribuent à étendre le champ d'inondation et à augmenter les dégâts. Ainsi, alors que le lit majeur atteint 500 m de large, le risque d'inondation est important et il est accentué par de nombreux facteurs anthropiques. À l'aval, les berges sont occupées par l'activité agricole, les risques sont donc moins importants, même si quelques fois les inondations

10. M. MASSON, *op. cit.*, note 6.

détruisent les cultures sous serres. Dans ce cas, les champs d'inondation sont largement étalés et correspondent à une largeur de 500 m environ mais, à l'aval, le blocage contre les remblais de l'autoroute A7 double leur largeur. Au sud de Pélissanne, il existe également une vaste zone d'inondation éloignée de 2 km de la Touloubre et qui pose un problème particulier (fig. 6). Les causes de l'inondation sont complexes : débordement de la Touloubre qui emprunte les chemins creusés en contrebas de champs, ruissellement sur les collines orientales, apports possibles du canal de Marseille, saturation des canalisations de l'assainissement pluvial. Une fois que les terres sont inondées, l'eau stagne contre les remblais de l'autoroute A7 car les buses d'évacuation sont trop étroites (diamètre : 1 000 mm). Enfin, il n'est pas exclu que cette zone corresponde à la partie la plus méridionale du cône très aplati construit par la Touloubre à l'amont de ses gorges aval : entre ce maximum d'extension méridionale au niveau du domaine de Gigery et le maximum septentrional limité par la route de Salon, les vastes terres agricoles surélevées pourraient correspondre à des bourrelets alluviaux.

Au total, quand on compare les figures 5 et 6, on s'aperçoit que les limites de la crue du 23 septembre 1993 restent à l'intérieur du champ d'inondation maximum déterminé par la méthode hydrogéomorphologique, même si elles s'en rapprochent. Cette crue fait donc bien partie des grandes crues historiques de la Touloubre, mais elle n'en constitue pas le maximum.

Les causes de la crue de septembre 1993

La cause immédiate de cette crue réside dans les très fortes précipitations tombées dans la nuit du 22 au 23 septembre. Mais les débits atteints, l'importance des surfaces inondées, l'ampleur des dégâts sont dûs aux modifications récentes de l'occupation du sol, tout particulièrement à Venelles.

Les pluies des 22 et 23 septembre

La situation météorologique qui s'est présentée au moment de l'équinoxe d'automne est tout à fait modale avec la formation d'une perturbation orageuse qui a touché plusieurs départements du sud de la France. Cette perturbation trouve son origine dans la rencontre d'air froid venu d'Europe du Nord et descendant jusqu'en Espagne avec un air chaud et humide remontant de la Méditerranée. La trajectoire de cette perturbation s'est bloquée, provoquant des pluies intenses, au total 222 mm dans la nuit à Aix-en-Provence. Ces précipitations extrêmes se retrouvent plus ou moins dans tout le département, mais ce sont précisément les environs d'Aix qui ont enregistré les plus fortes précipitations. On ne peut pas malheureusement donner un relevé des précipitations pour les villes de Venelles ou de Pélissanne, faute de pluviomètre, mais au nord il est tombé 120 mm à Peyrolles-en-Provence, et, à l'ouest, 108 mm à Lambesc et à Salon^{11,12}. En sachant que c'est la partie nord-est du département

11. *Le Provençal*, édition d'Aix.

12. M. FIANDINO, *op. cit.*, note 1.

qui a reçu les plus fortes pluies, on peut supposer qu'elles ont atteint sur la commune de Venelles entre 120 et 200 mm.

On peut situer le début des précipitations orageuses vers 22 heures dans la soirée du 22 septembre et le caractère orageux s'estompe vers 5 à 6 heures du lendemain matin, sans pour autant signifier l'arrêt définitif des averses. Le paroxysme des précipitations s'est déroulé entre 23 heures et 1 heure du matin, atteignant des intensités très remarquables : pour Aix-en-Provence, elles ont dû atteindre 180 mm en deux heures et, pour la moitié orientale du département, de l'ordre de 80 à 100 mm/h pendant quelques dizaines de minutes.

Au total, ces précipitations s'insèrent bien dans l'ensemble de celles qui affectent fréquemment le Midi méditerranéen français aux environs de l'équinoxe d'automne : jusqu'à 430 mm le 3 octobre 1988 à Nîmes¹³, 300 mm le 22 septembre 1992 à Entrechaux au nord de Vaison-la-Romaine¹⁴.

Le rôle de l'expansion de Venelles

La pression de l'urbanisation est forte. Elle prend la forme soit d'une urbanisation dense (centre ville et périphérie proche), soit d'un habitat plus éclaté dans des zones agricoles. Cependant, dans les deux cas, ces implantations de l'habitat nécessitent une desserte de voies de communication denses. On a donc ainsi une organisation de l'espace qui est structurée par le maillage de deux réseaux : le réseau hydrographique (permanent et temporaire) et le réseau de voies de communication. Ces caractéristiques jouent énormément en ce qui concerne les convergences de flots de crue par le biais de la densité du réseau et la grande diversité induite des types d'assainissement des routes.

Il faut également signaler la présence de deux grands axes de communications aux conséquences hydrologiques importantes. En effet, la commune de Venelles est à la fois traversée dans la direction NNE-SSW par l'autoroute A51 et dans le sens W-E par la voie ferrée Marseille-Briançon (fig. 3). Leur grande extension induit de nombreuses perturbations et modifications des écoulements de crue. C'est ainsi qu'ils recoupent plusieurs axes. Par exemple, l'autoroute a bloqué une partie des affluents de la tête de la Touloubre dans le périmètre de La Baraque les obligeant à s'écouler parallèlement à elle-même.

La voie ferrée a plutôt joué le rôle de canalisateur des écoulements dans sa portion W-E, parallèle à la Touloubre. Il faut rappeler que la surface couverte par l'autoroute a un taux d'infiltration nul ; en conséquence, pour une longueur de 3,750 km et une largeur de 25 m et des précipitations de l'ordre de 150 mm, elle a fourni, dans la nuit du 22 au 23 septembre, environ 14 000 m³ à la Touloubre. Plus généralement, chaque route qui recoupe un

13. G. FABRE, « Les inondations catastrophiques de Nîmes et de sa région du lundi 3 octobre 1988 », In : *Revue de géographie de Lyon*, 1989, n° 4, p. 224-230.

14. G. ARNAUD-FASSETTA *et al.*, « La crue de l'Ouvèze à Vaison-la-Romaine (22 septembre 1992), ses effets morphodynamiques, sa place dans le fonctionnement d'un géosystème anthropisé » In : *Revue de géomorphologie dynamique*, 1993, n° 2.

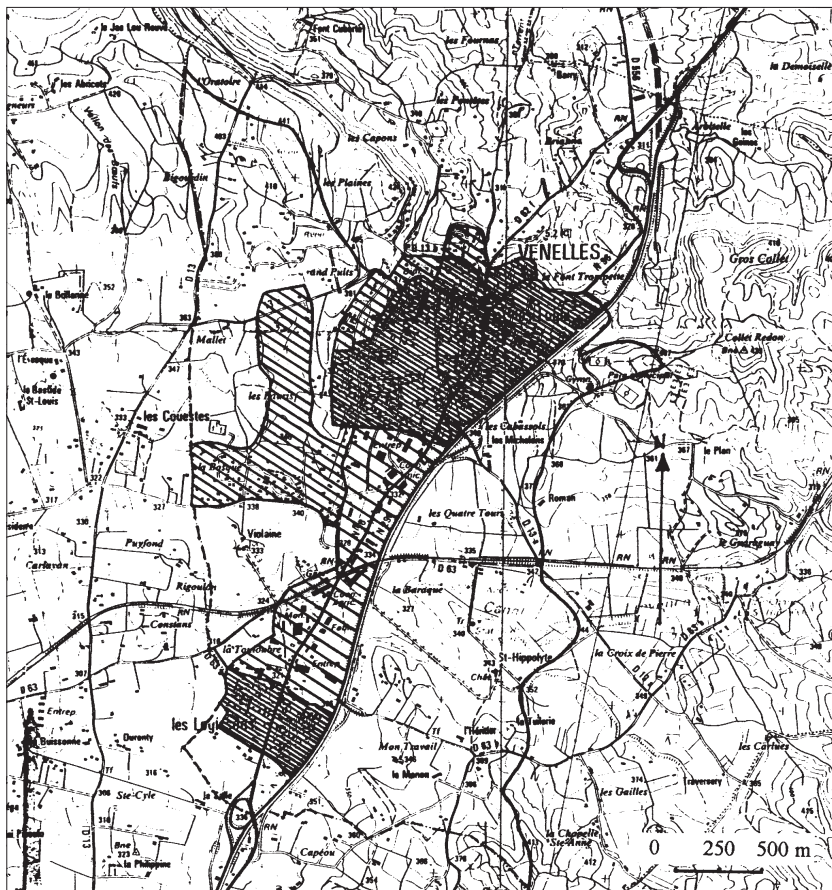
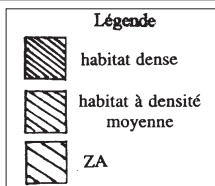


Figure 7. Cartographie des surfaces imperméabilisées à Venelles.



talweg forme un barrage aux écoulements de crue : c'est ainsi que l'avenue du Jas de Violaine, qui recoupe l'aval du vallon de Tourame y a provoqué le débordement des eaux provenant des lotissements d'amont.

L'urbanisation couvre un pourcentage considérable du bassin-versant de la Touloubre dans la commune de Venelles (près de 30 %) dont environ 40 % d'habitat dense (taux d'imperméabilité : 70 % à 80 %), 23 % d'habitat à densité moyenne (taux d'imperméabilité : 40 % à 50 %) et 25 % pour la zone d'activités (taux d'imperméabilité : 65 %) (fig. 7). Pour comparaison, dans le bassin moyen de l'Arc, qui comprend Aix-en-Provence, les surfaces imperméabilisées ne dépassaient pas 7,97 % il y a quinze ans¹⁵. Par conséquent, les répercussions sur l'hydrologie du bassin-versant sont importantes en particulier car les zones imperméabilisées aboutissent directement à la Touloubre, sans solution de continuité (fig. 7). Dans le détail, l'expansion urbaine s'est effectuée en bonne partie dans des vallons à l'ouest du centre ville : vallon du Claou d'abord, vallon de Tourame plus récemment où la progression s'est réalisée en plusieurs vagues ce qui pose de sérieux problèmes au niveau de l'écoulement pluvial. Des débordements massifs dans ces vallons affluents en pente forte et de longueur réduite affectent directement la Touloubre en raison du très court temps de réponse aux pluies. On peut donc conclure que ces expansions récentes de l'habitat pavillonnaire ont produit une imperméabilité très importante de certains vallons habituellement secs et que le mitage dans les zones rurales, voire naturelles, provoque une augmentation dangereuse des surfaces ruisselantes.

À cette cause principale de la gravité de la crue du 22 au 22 septembre 1993 dans le haut bassin de la Touloubre, il faudrait ajouter d'autres causes, moins décisives, comme l'abandon des terrasses de cultures sur les versants et dans les vallons qui diminue l'infiltration, ainsi que les nombreux dysfonctionnements dus à la circulation de l'eau sur des voies de communication mal positionnées ou à l'insuffisance des réseaux d'assainissement, sous-dimensionnés ou mal conçus. Encore ne faut-il pas oublier que ces causes sont liées plus ou moins étroitement à l'urbanisation de la commune.

Conclusion

Ainsi, il apparaît clairement que l'inondation du 22 au 22 septembre 1993 doit son caractère catastrophique à l'expansion urbaine dans le bassin-versant supérieur, mais également dans le bassin inférieur de la Touloubre. Les coefficients d'écoulement et les débits ont été augmentés, à l'amont, par le ruissellement urbain. À l'aval, c'est l'extension des zones d'habitation dans le lit majeur qui a exposé les populations et leurs biens aux dégâts de l'inondation. De ce point de vue, cette crue constitue une rupture dans l'évolution d'un bassin-versant resté longtemps rural et gagné maintenant par une urba-

15. P. GABERT, J. NICOD, « Inondation et urbanisation en milieu méditerranéen, l'exemple des crues récentes de l'Arc et de l'Huveaune », In : *Méditerranée*, 1982, n° 3-4.

nisation très rapide et qui se poursuit, particulièrement à Puyricard et à Venelles. Il faut donc s'attendre à voir se multiplier les événements de ce type dans les prochaines années, et pour des précipitations nettement moins abondantes et moins intenses. L'automne 1994 a été très éclairant dans cette perspective : la RN96, d'Aix à Sisteron, a été coupée trois fois au niveau de la gare ferroviaire de Venelles par une inondation en provenance de la ville, ce qui ne s'était jamais produit de mémoire d'homme, alors que le total pluviométrique journalier n'a probablement pas dépassé 100 mm. La prise de conscience de ce danger a enclenché des décisions de travaux, dont certains sont maintenant réalisés, mais ils ne semblent pas de nature à éliminer le risque d'inondation.