

IMPACTS HYDROMORPHOLOGIQUES DES FORTES PRÉCIPITATIONS DES 12-13 NOVEMBRE 1999 SUR LA RETOMBÉE MÉRIDIIONALE DE LA MONTAGNE NOIRE : L'EXEMPLE DE L'ARGENT DOUBLE (AUDE)

HYDROMORPHOLOGICAL IMPACTS OF THE 12-13 NOVEMBER 1999 HEAVY RAINS ON THE SOUTH FLANK OF THE MONTAGNE NOIRE: EXAMPLE OF THE ARGENT DOUBLE (AUDE)

Monique FORT*, Gilles ARNAUD-FASSETTA*, Gérard BELTRANDO**,
Albert PLET*, Gilles ANDRE*, Catherine MERING*

* Université Paris-7 Denis-Diderot, GHSS, CNRS UMR 8586 PRODIG, Case 7001, 2 place Jussieu, F-75251 Paris Cedex 05. E-mail : fort@paris7.jussieu.fr

** Université des Sciences et Technologies de Lille 1, UFR de Géographie et d'Aménagement, Laboratoire de Gestion des Milieux Anthropisés, F-59655 Villeneuve d'Ascq Cedex. E-Mail : gerard.beltrando@univ-lille1.fr

Résumé. Les 12 et 13 novembre 1999, plus de 400 mm de pluies se sont abattues sur le piémont sud de la Montagne Noire, provoquant la crue des affluents de rive gauche de l'Aude. Dans la montagne schisteuse boisée, certains talwegs ont été remodelés par des laves torrentielles tandis que les versants sont restés relativement stables. Sur le piémont, les coteaux taillés dans les molasses et couverts de vignobles ont été ravinés. Les rivières comme l'Argent Double ont réoccupé leur lit majeur, avec pour conséquences des recouplements de méandres, accompagnés d'incision du plancher alluvial et/ou d'abondants engravements, à l'origine des nombreux dégâts matériels observés. Ces métamorphoses, souvent amplifiées au niveau des confluences, n'ont fait que traduire les modalités normales, spasmodiques, du fonctionnement naturel de ces rivières au cours des derniers siècles, comme en témoigne la superposition des dépôts de crue constitutifs de leur plaine alluviale

Abstract. During two days (November 12-13, 1999), the Montagne Noire and its piedmont received more than 400 mm of rain, resulting in the flooding of the left bank tributaries of the Aude river. In the mountains underlain by schists, it was the talwegs that were most affected by localized debris flows, whereas the slopes remained relatively stable. In the piedmont, terrace scarps cut into molassic bedrock were subjected to deep gullyng (vineyards). Streams such as the Argent Double occupied almost their entire floodplain. As a consequence, many meanders were cut, resulting in local incision of the main channel and/or the accumulation of gravel, at the loss of substantial amounts of material along the sides of the river. These changes (metamorphosis), often amplified near the confluences, reflect the normal, spasmodic behaviour of these rivers over the past few centuries, as shown by the superposition of the flood deposits that constitute their alluvial plain.

Introduction : Lors de la catastrophe des 12-13 novembre 1999, les *mass media* ont insisté à juste titre sur l'ampleur des inondations, des pertes humaines et des dégâts qui se sont produits dans la plaine alluviale de l'Aude, submergée par plusieurs mètres d'une eau fortement turbide et dévastatrice. La recherche *a posteriori* des causes de cet événement exceptionnel a mis l'accent sur trois types de facteurs : la conjonction de conditions météorologique et marine favorables, le contexte topographique d'une plaine d'inondation toujours fonctionnelle, les facteurs humains aggravants (urbanisation, endiguements, infrastructures...). Le rôle des bordures montagneuses du bassin-versant de l'Aude sur la concentration des volumes d'eau et de débris charriés en aval fut en revanche moins discuté, même si, dans les Corbières, l'exemple de la Berre et des dégâts subis par la commune de Durban furent très médiatisés.

Nous nous intéresserons ici à l'un des affluents de rive gauche de l'Aude, l'Argent Double : à peine mentionné dans la presse, celui-ci est en fait représentatif des phénomènes hydromorphologiques qui se sont produits sur le rebord méridional de la Montagne Noire et de son piémont. L'objet de cet article est de présenter la variété des phénomènes hydrodynamiques et morphosédimentaires observés (planchers alluviaux affaissés, bandes actives élargies, effondrement de berges, métamorphose des lits fluviaux, vignobles ravinés et engravés) pour en montrer la logique de répartition et de fonctionnement (relais spatio-temporels) au sein du bassin-versant et en dégager la signification morphodynamique générale dans un hydrosystème méditerranéen anthropisé.

I. DES PLUIES ABONDANTES SUR LA MONTAGNE NOIRE ET SON PIÉMONT

L'importance de l'événement est liée à la combinaison d'une situation météorologique et d'un dispositif topographique favorable à la concentration des eaux de ruissellement.

1. La Montagne Noire et son piémont

La rapidité avec laquelle les eaux se sont mises à ruisseler et à se concentrer dans la basse plaine de l'Aude ne peut se comprendre sans examiner l'influence exercée par les massifs montagneux qui ceignent le bassin-versant. Nous analyserons ici le cas de la Montagne Noire, d'où descendent tous les affluents de rive gauche de l'Aude (Orbiel, Argent Double, Ognon, Cesse). Terminaison la plus méridionale du Massif Central, la Montagne Noire culmine à un peu plus de 1000 m d'altitude et sa retombée vers la plaine de l'Aude se fait de façon assez progressive, liée à une configuration géologique particulière de "contact" entre un massif ancien et son piémont (figure 1). L'opposition entre le massif, essentiellement schisteux et calcaire, et son piémont, dominé par des formations molassiques tertiaires, engendre une morphologie contrastée des vallées, et partant des dynamiques qui s'y développent.

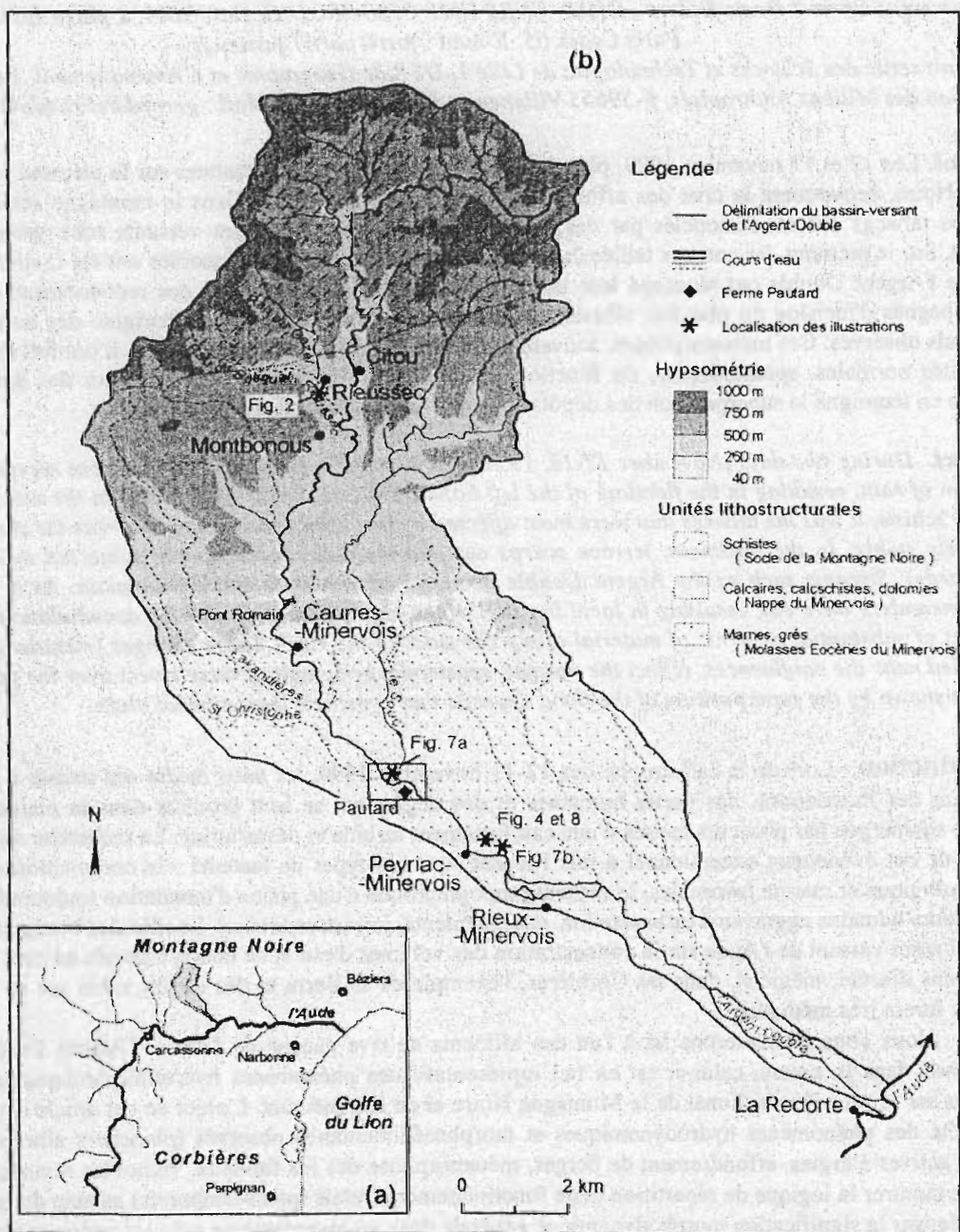


Figure 1. Caractéristiques du bassin-versant de l'Argent Double. (a) Localisation de l'Argent Double dans le bassin-versant de l'Aude. (b) Physiographie et lithostructure du bassin-versant de l'Argent Double. La carte du site de Pautard (figure 5) est schématisée par le rectangle.

Dans la partie montagneuse de son bassin (en amont de Caunes-Minervois), l'Argent Double s'écoule dans une gorge étroite, large de quelques dizaines de mètres à 100 m au maximum, localement colmatée par des alluvions récentes qui constituent une " basse terrasse ". La pente moyenne de la rivière varie entre 1,7 % et 21 %. Les versants sont raides (de 35° à plus de 70°), recouverts de colluvions peu épaisses en transit, susceptibles d'alimenter des arrachements et glissements d'ampleur modérée. Bien que dense dans la partie schisteuse, le réseau des talwegs élémentaires correspond en fait à des écoulements temporaires, aux noms parfois évocateurs (Rieussec).

En aval de Caunes-Minervois, l'Argent Double sort de la Montagne Noire et se dirige vers le sud-est au travers d'un relief de glaci d'érosion, taillé dans les molasses continentales du Cuiso-Bartonien (calcaires lacustres de Ventenac ; grès, conglomérats et limons argilo-sableux plus ou moins calcaires de la Molasse de Carcassonne ; Berger et al., 1990). Ces terrains sont en grande partie masqués par des épandages alluviaux (3 à 4 m d'épaisseur) déposés au cours du Quaternaire par l'Argent Double et son principal affluent de rive gauche, le Ruisseau du Souc. Les molasses affleurent le long des rebords de terrasse taillés par la rivière et ses affluents (par exemple Ruisseaux des Lavandières et du Saint-Christophe, en rive droite) au cours de leur enfoncement. Le lit actuel de l'Argent Double est encaissé de 30 m à 50 m par rapport à la plus haute terrasse quaternaire. La pente moyenne de la rivière est comprise entre 0,3 % et 1,5 %. Si le lit mineur actuel est étroit (quelques mètres à 10 m), bordé par une ripisylve abondante (peupliers et roseaux) ou canalisé par des enrochements ou des berges bétonnées, il sinue au milieu d'un lit majeur qui s'étend parfois sur plus d'un kilomètre de large à des altitudes de +3 m à +5 m. Autrefois occupé par des prairies, ce lit majeur fut au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle progressivement converti en vergers, vignes ou champs. La confluence avec l'Aude s'effectue à La Redorte, une trentaine de kilomètres en aval de Caunes-Minervois.

2. L'événement météorologique et ses conséquences hydrologiques

Le vendredi 12/11, une puissante dépression s'est formée sur le sud de l'Espagne et l'ouest de la Méditerranée. Cette dépression a produit des vents forts (moyenne d'environ 100 km/h) d'est à sud-est, qui ont entretenu des remontées d'air chaud instable et humide pendant 48 heures (B.H.E.R., Météo-France). De fortes précipitations ont été enregistrées sur la façade méditerranéenne française à l'ouest de la vallée du Rhône et les plus fortes valeurs (> 400 mm) ont concerné essentiellement le bassin de l'Aude. Ce bassin ($\approx 5000 \text{ km}^2$) a reçu plus de 1 milliard de m^3 en moins de 48 heures et le débit de pointe de l'Aude dans sa basse plaine a atteint la valeur record de 3400 m^3/s (débit moyen en novembre 45 m^3/s). Cependant et contrairement à d'autres événements antérieurs, les pluies ne se sont pas exclusivement déversées sur les reliefs, mais également sur les piémonts et dans la plaine. Le versant sud de la Montagne Noire a reçu en moyenne plus de 300 mm entre le 12/11 à 6 h et le 14/11 à 6 h (TU) (documentation Météo-France). Le pluviographe de la station de Caunes-Minervois (alt. 190 m, au contact montagne/piémont) a enregistré entre le 12/11 à 6 h et le 13/11 à 20 h plus de 400 mm, dont près de 200 mm entre 18 h et 23 h le 12/11, soit 2000 m^3 par hectare en 5 heures

De telles valeurs sont importantes, mais elles ne peuvent être qualifiées d'exceptionnelles ou de " pluies du siècle ", comme on l'a trop souvent lu. La variabilité spatiale des hauteurs d'eau précipitées est très grande et jusque dans les années 80, la densité des pluviographes était très faible. D'autres événements pluviogènes importants ont affecté le bassin méditerranéen, qui montrent que des valeurs supérieures à 300-400 mm en 24 heures ne sont pas rares : 1000 mm à Saint-Laurent de Cerdans, près du Canigou, le 17 octobre 1940 (1930 mm entre le 16 et le 20) lors de la crue de l'Agly, de la Têt et du Tech; 420 mm en une journée sur les hauteurs de Nîmes, le 3 octobre 1988 ; 300 mm en moins de 6 heures sur le bassin de l'Ouvèze, le 22 septembre 1992. Au cours du dernier siècle, l'Argent Double a aussi connu quelques épisodes de crue plus ou moins dévastatrices (1891, 1920, 1930, 1940, 1945, 1958, 1962, 1996).

Ces pluies généralisées, y compris sur le piémont du Minervois, expliquent la réponse brutale et généralisée de tous les organismes hydrologiques, y compris des petits affluents intermittents, et les manifestations nombreuses de l'érosion hydrique (voir *infra*). La montée des eaux a commencé alors que la nuit était déjà tombée, elle fut rapide et semble avoir atteint son maximum au milieu de la nuit (témoignage de Mme Baudouy, ferme Pautard). Le lendemain matin, la rivière était presque redescendue à son niveau normal, sans pour autant avoir partout retrouvé son lit d'origine. Même si aucune victime ne fut ici à déplorer, les dégâts matériels de la crue furent considérables : ponts et maisons détruits, dégradation de nombreuses protections de berge, champs et vergers emportés. De l'événement, les médias ne retiendront que la péniche sortie du canal du Midi et échouée dans un champ près de La Redorte...

II. L'IMPACT DES PRÉCIPITATIONS DANS LA MONTAGNE NOIRE SCHISTEUSE

Les traces de l'événement ne sont pas immédiatement visibles lorsque l'on remonte l'Argent Double en amont de Caunes-Minervois. A peine pouvait-on noter, par des restes de branchages et d'herbes accrochées à la

ripisylve, que le niveau des eaux s'était considérablement élevé dans la portion en gorge. Le pont romain de Balme Sabatière n'en a pourtant pas souffert. Quelques arrachements-glislements se sont produits en rive gauche, entre Caunes et Montbonous. L'essentiel de l'impact s'observe en fait plus en amont, au niveau du village de Citou et surtout du hameau de Rieussec, là où les fonds de vallée plus larges sont occupés par des basses terrasses.

A Rieussec, la rivière intermittente du même nom est un affluent de rive droite de l'Argent Double, formée de la confluence des ruisseaux du Bosquet et du Gazel. Lors de l'événement météorologique, ces talwegs se sont brusquement mis en eau. Les lits ont été efficacement récurés, les berges ont été en plusieurs endroits fortement sapées, alors que des embâcles végétaux (troncs) se sont formés dans les sections fluviales plus étroites. D'une façon générale, les ruisseaux de Bosquet et du Gazel ont exercé une action de remobilisation de la charge grossière stockée au fil des ans dans le chenal. Le déchaussement observé a pu atteindre en certains endroits plus de 2 m, coupant les chemins d'accès à la montagne et mettant à l'air libre toutes les canalisations du hameau : Rieussec fut privé d'eau pendant près d'un mois.

Au total, les estimations montrent que ce sont au minimum 3000 m³ de débris qui ont été arrachés aux deux affluents sur un linéaire de rivière d'un peu plus de 600 m.

En aval des deux ponts de Rieussec, le flot boueux s'est transformé en une lave torrentielle dévastatrice. Au bas du hameau, l'érosion a emporté la route et endommagé gravement deux bâtiments situés en rive gauche, tandis qu'en rive droite les berges naturelles étaient également érodées. La vague sédimentaire s'est propagée de l'aval du hameau jusqu'à la confluence avec l'Argent Double, occupant le lit majeur sur toute sa largeur (fig. 2 a). Au cours de l'événement, la mise à jour d'anciennes structures de canalisation au fond du chenal (fig. 2 b) montre que ces "ruisseaux" ont connu divers épisodes de creusement et de remblaiement. La crue observée en novembre 1999 s'inscrit en fait dans un processus à plus long terme de transit des débris vers la plaine de l'Aude.

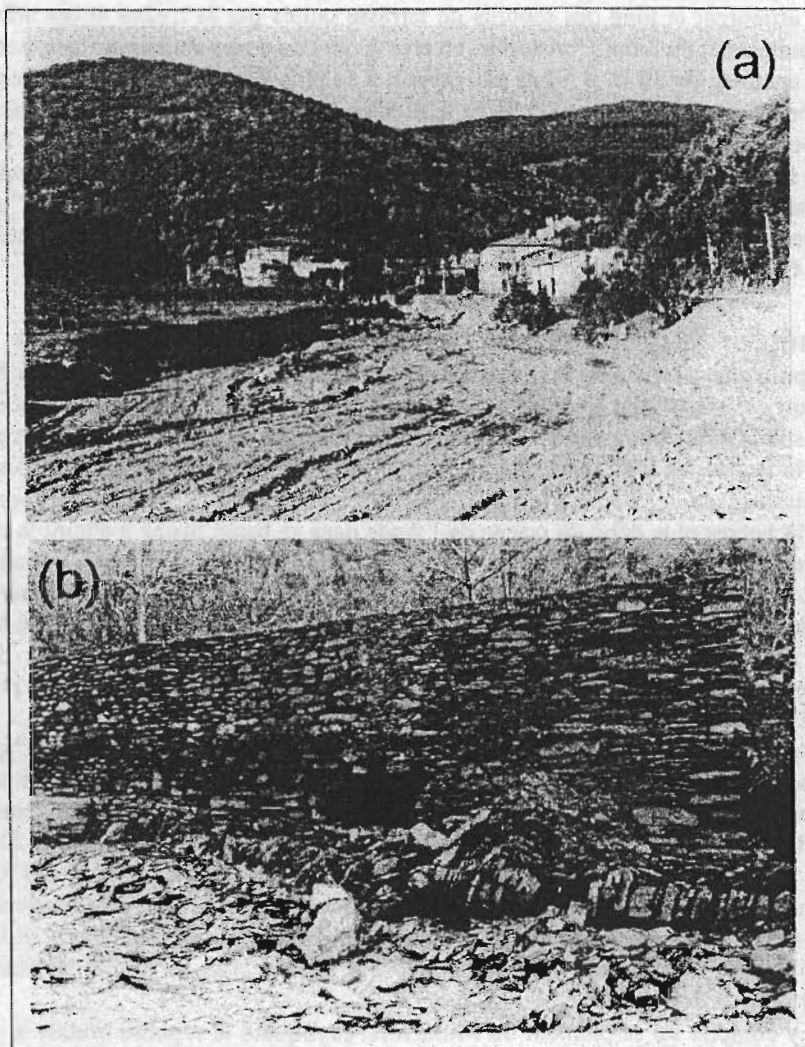


Figure 2. Impacts morphodynamiques dans les lits torrentiels de la Montagne Noire. (a) En aval du hameau de Rieussec (commune de Citou), le Ruisseau de Rieussec (affluent de rive droite de l'Argent Double) est brutalement sorti de son lit, se transformant en lave torrentielle occupant toute la largeur du lit majeur. Le matériel charrié (mélanges de plaquettes rocheuses et de matrice fine limono-argileuse très abondante) reflète la géologie schisteuse de l'amont de ce petit bassin-versant, l'un des plus atteints lors de l'événement. (b) Le Rieussec en crue a également exercé une action de remobilisation de la charge grossière stockée au cours des ans au fond du chenal. Le déchaussement observé a pu atteindre à certains endroits plus de 2 m (cf. la limite de la végétation à mi-hauteur du mur), détruisant les chemins d'accès à la montagne. La mise à jour, à la base du mur, d'anciennes structures de canalisation du chenal montre donc que le Rieussec a connu divers épisodes de creusement et de remblaiement au cours du temps. La crue observée en 1999 s'inscrit dans un processus à plus long terme de transit des débris vers le bassin-versant de l'Aude, qui s'exprime en un endroit donné par des alternances dans le temps de phases d'érosion et de sédimentation (Clichés M. Fort).

III. LES EFFETS HYDROMORPHOLOGIQUES SUR LE PIÉMONT DU MINERVOIS

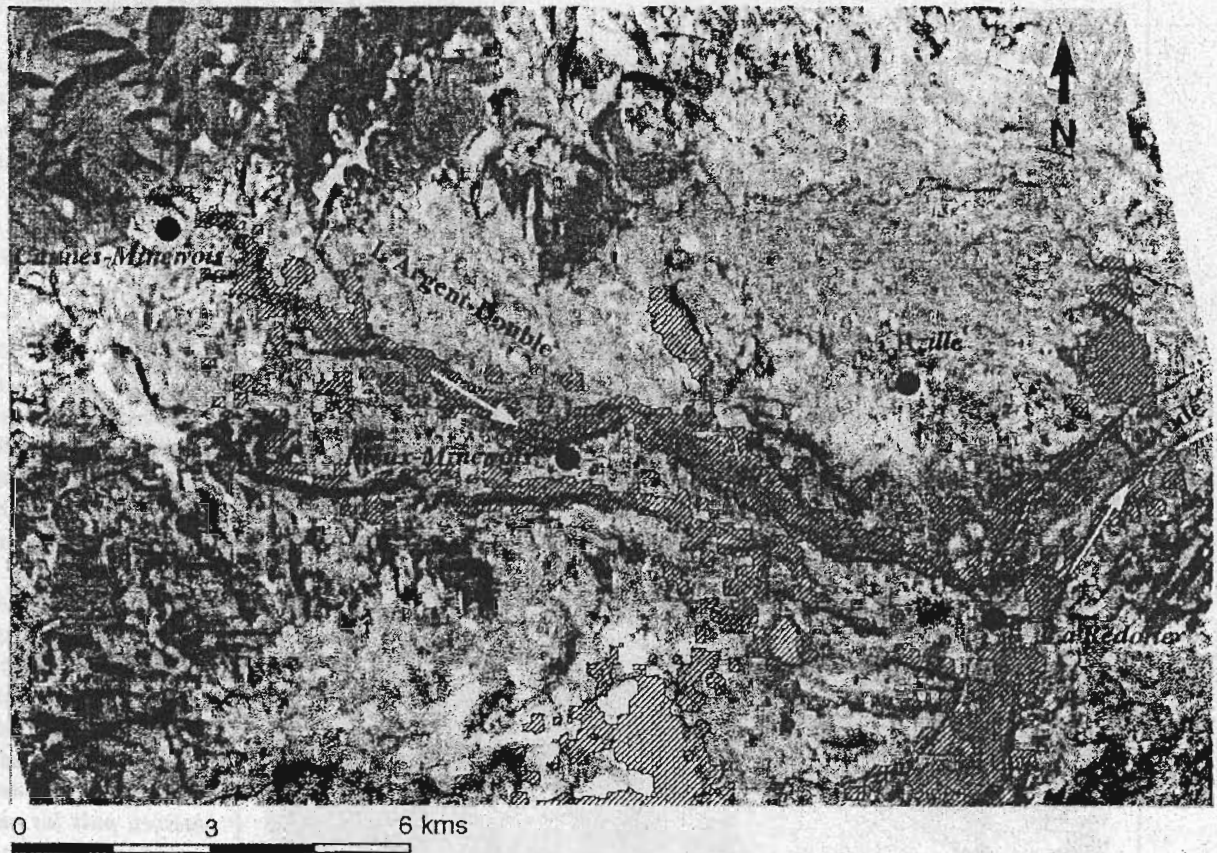


Figure 3. Cartographie des inondations sur le bassin versant de l'Argent Double à partir de l'analyse multitemporelle d'images SPOT (image du 13/10/98 KJ44262 Niveau 1A - angle d'incidence 24° ; image du 24/11/99 KJ44263 Niveau 1A - angle d'incidence 14,5°). Les zones hachurées représentent la limite supérieure de la crue de l'Argent Double et d'autres ruisseaux affluents de l'Aude, dans le secteur compris entre Caunes-Minervois (en amont) et La Redorte (en aval). La cartographie automatique issue de traitements numériques d'un couple d'images SPOT encadrant les événements permet de mettre en évidence, en plus des secteurs de vallée inondés (qui représentent une superficie de 16,2 km²), d'autres zones de rétention d'eau ou des zones toujours en eaux. En bas de l'image, l'étang asséché de Marseillette apparaît très clairement comme inondé. Cette image ne représente pas l'extension maximale de la crue, mais seulement les traces encore visibles cinq jours après la catastrophe. En raison de la résolution spatiale des images SPOT (20x20m), les ruisseaux les plus petits, tels que le Ruisseau du Souc ou des Lavandières, n'ont pu être correctement cartographiés.

C'est en aval de Caunes-Minervois que l'impact de la crue fut le plus marqué (figure 3). D'une façon générale, la sortie de l'Argent Double de son lit mineur a entraîné des érosions de berge, l'ouverture de nouveaux chenaux avec, localement, le recouplement de méandres, des engravements fréquents, tous phénomènes qui traduisent la réappropriation par la rivière de son lit majeur et le retour à des conditions d'écoulement "naturel", non entravé. Parallèlement, les interfluves et rebords de terrasse, taillés dans les molasses et recouverts de vignobles, ont été sévèrement ravinés.

1. Ravinelements des coteaux molassiques

Les interfluves (glacis) et les versants (rebords de terrasse) ne sont pas restés indemnes, ce qui indirectement atteste de l'occurrence de pluies tombées également sur le piémont. Dans de nombreuses parcelles de vignes, des formes d'érosion hydrique ont été observées à partir des sillons de sarclage : décapages superficiels et griffures de quelques centimètres de profondeur dès que la pente atteint 2°, passant à des rigoles de quelques décimètres de profondeur lorsque la pente augmente (4-6°), pouvant même évoluer en ravines de plus d'un mètre de profondeur sur des pentes n'excédant pourtant pas 8°-10°.

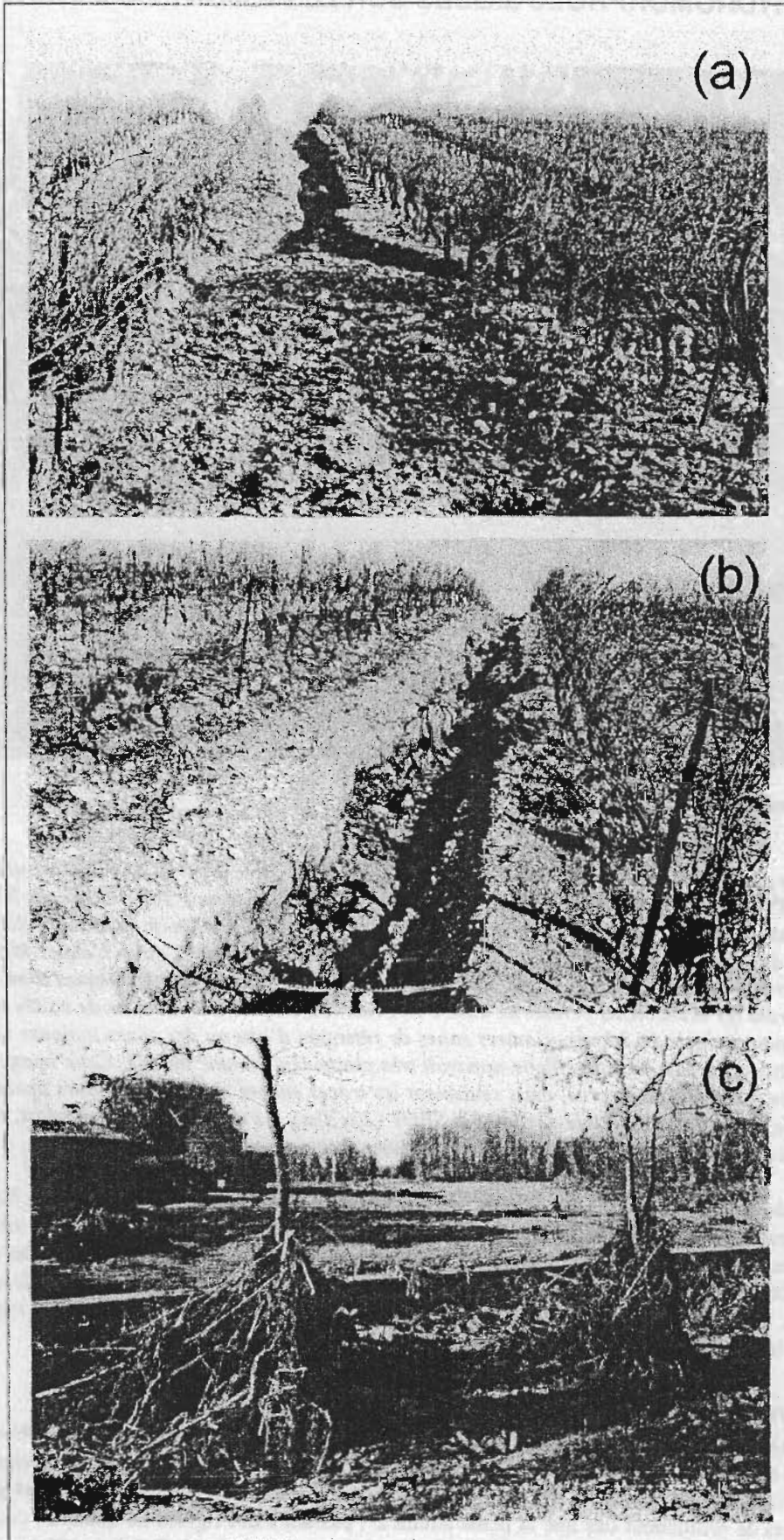


Figure 4. (a) Effets de la crue sur les vignobles filés du Minervois (est de Peyriac-Minervois, rive gauche de l'Argent Double). Les griffures (non visibles) démarrent en haut du coteau, passent à des rigoles (haut de la photo), puis à une véritable ravine (un mètre de profondeur), là où la pente est la plus raide (8°). Un micro-cône de déjection s'est construit au niveau de la concavité basale : le matériel grossier accumulé témoigne de la vigueur du ruissellement pendant la crue. (b) Détail de la photo précédente. La ravine, de 1,50 m de largeur (premier plan) a un tracé légèrement sinueux ; elle entaille d'abord un manteau colluvial épais d'une trentaine de centimètres, puis les molasses gréseuses continentales éocènes, visibles dans le talweg. (c) Depuis la berge de rive gauche de l'Argent Double, amont de la Ferme de Pautard (à gauche) : vue sur la plaine d'inondation (arrière plan) autrefois occupée par un verger de pommiers, dont la presque totalité des pieds a été déracinée lors de la crue ; une centaine de pieds reste en place (à droite du quidam). Le chenal, que l'on devine entre la berge maçonnée et les jeunes érables plantés du premier plan, a été totalement submergé par les eaux qui sont sporadiquement montées à plus de 4 m au dessus du talweg actuel. En considérant une section mouillée de 290 m^2 , un rayon hydraulique de

1,98, une pente de 0,003-0,005 m/m et un coefficient de rugosité de 0,07, on estime que le débit de l'Argent Double a atteint sur ce site entre $330 \text{ m}^3/\text{s}$ et $430 \text{ m}^3/\text{s}$ (équation de Rotnicki, 1991) (Clichés M. Fort).

Ces formes s'atténuent lorsque la pente diminue, et l'on observe alors des accumulations sous forme de micro-cônes de déjection, souvent situés au niveau des chemins (figure 4 a). Des relevés systématiques au pas de 5 m ont permis de calculer une érosion de 17 m³ dans une ravine inter-rang développée sur 70 m de long.

L'ampleur et la généralisation des formes d'érosion hydrique observées s'expliquent par plusieurs facteurs : l'intensité des pluies, la nature des terrains, les pratiques culturales. Dans le secteur de Caunes-Minervois et de Trausse-Minervois en particulier, les molasses sont essentiellement des marnes bariolées à intercalations gréseuses aisément érodables, dont la capacité d'infiltration est naturellement faible. Elles peuvent être recouvertes d'une pellicule colluviale en transit, n'excédant en général pas 20-40 cm (figure 4b). L'intensité des pluies tombées sur le piémont n'a pu que réduire encore, par ruissellement hortonien, cette capacité d'infiltration initiale. Enfin, la culture de la vigne, qui maintient le sol à nu, a renforcé la vulnérabilité des sols, et ce d'autant plus que les rangées (disposées dans le sens de la plus grande pente) étaient espacées (3 m pour les vignes récentes) et maintenues désherbées. Ce dernier aspect, en particulier, est apparu patent lorsque nous avons observé des ravissements un inter-rang sur deux, là où précisément les terres étaient sarclées.

2. Aggradation et processus morphogéniques dans les vallées du piémont

Dans le détail, les processus furent souvent complexes, associant en un même site érosion et sédimentation. La zone de la ferme Pautard, à la confluence entre l'Argent Double et le Ruisseau du Souc, en donne une bonne illustration (figure 5). Durant la crue, les deux rivières sont sorties de leur lit, la première suite à une brèche qui s'est produite au travers de la rangée de peupliers qui la bordaient en rive gauche, la seconde à la faveur d'un embâcle provoqué en amont du pont du Souc par l'accumulation dense de tiges de *Arono donax* arrachées des berges amont. Ces débordements ont très vite submergé les levées de berge et ont remodelé la surface de la plaine d'inondation en plancher alluvial, sur lequel on identifie aisément (1) les chenaux de recoupement de méandre, (2) les bancs graveleux et sableux formés dans le sens du courant et (3) les limons et sables de débordement déposés à l'écart des flux principaux. Le fond des chenaux, dont le profil en long s'inscrit dans un système de seuils et de mouilles, a été lui-même façonné en microformes diverses : (4) des stries plus ou moins profondes sculptées lors du charriage des galets et des blocs sur les fonds rocheux, (5) des marmites de cavitation, dont la taille reste proportionnelle au degré de résistance du plancher alluvial et (6) des accumulations de sables et de galets généralement armurés ou pavés.

L'abondance des galets accumulés traduit la mobilisation efficace non seulement de la charge de fond de l'Argent Double mais aussi du stock sédimentaire constituant la plaine alluviale, accumulé lors d'épisodes de crue antérieurs (voir *infra*). Une autre source de matériaux solides provient des berges et des équipements affouillés par la puissance et les directions des flux de crue : ainsi, en rive droite de l'Argent Double (juste en amont de la confluence du Souc) et exactement dans l'axe des nouveaux écoulements, l'ouverture de brèches au niveau de digues construites en pierres a fourni la charge solide accumulée plus en aval. Le cas le plus spectaculaire est celui de l'ancien canal d'irrigation empierré, qui reliait directement la rivière au chemin divisant en deux la plaine d'inondation de Pautard : les eaux, canalisées par cette structure, l'ont érodée, déposant immédiatement en aval, sous forme de bancs, les pierres plates parfaitement imbriquées selon le sens des courants de crue.

L'analyse du site de Pautard révèle également, en aval de la ferme, un abaissement de plus de 2 m du fond du chenal principal. Cette incision verticale, liée à la destruction d'un seuil bétonné puis à l'érosion régressive induite, est la conséquence indirecte d'une montée des eaux en amont. Celle-ci fut provoquée par la conjonction d'un rétrécissement naturel du lit de la rivière, calé en rive gauche par des affleurements grésocalcaires molassiques, et de la présence d'obstacles (bâtiments de ferme, pont, double rangée de platanes) qui ont favorisé les embâcles et entravé le bon écoulement de la crue.

3. Des métamorphoses fluviales favorisées par les embâcles et les confluences

Plusieurs facteurs peuvent être invoqués pour expliquer la métamorphose (*sensu* Schumm, 1969) des lits fluviaux du Minervois. Tout d'abord, au sortir de la Montagne Noire, la diminution rapide de la pente a permis la divagation des cours d'eau et leur étalement, comme ce fut le cas pour le Ruisseau du Souc. Ensuite, l'abondance des pluies tombées sur le piémont et leur ruissellement quasi instantané ont brusquement gonflé le débit de la rivière principale qui est sortie de son chenal ordinaire. On a en outre constaté que les métamorphoses se sont fréquemment produites en présence d'obstacles matériels et de berges peu entretenues (qu'elles soient boisées ou chenalisées ; Arnaud-Fassetta *et al.*, soumis), et surtout au niveau des confluences, qui ont souvent entraîné une déviation des flux principaux.

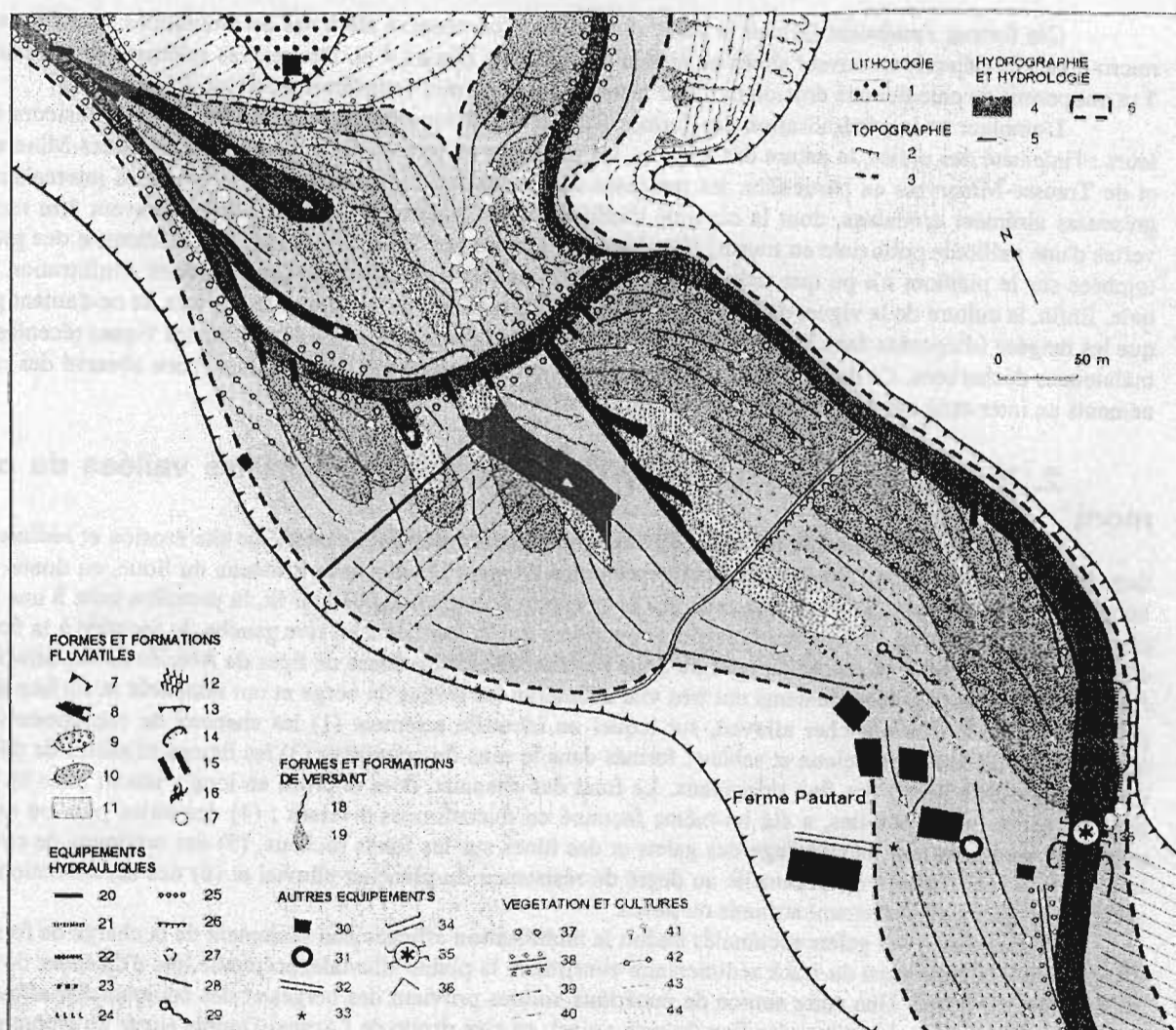


Figure 5. Carte hydro- morphologique de la confluence Argent Double – Ruisseau du Souc.

Légende : LITHOLOGIE : 1, cailloutis pléistocènes ; TOPOGRAPHIE : 2, talus ; 3, rupture de pente concave ; HYDROGRAPHIE ET HYDROLOGIE : 4 : limite du lit mineur après la crue ; 5, flux de crue ; 6, extension maximale de la crue ; FORMES ET FORMATIONS FLUVIATILES : 7, haute terrasse ; 8, chenal de recoupe- ment de méandre ; 9, banc graveleux ; 10, banc sableux ; 11, limons sableux de débordement ; 12, seuil ro- cheux ; 13, sapement de berge ; 14, niche d'arrachement ou de cavitation ; 15, brèche ; 16, embâcle dans le lit mineur ; 17, embâcle dans les lits moyen et majeur ; FORMES ET FORMATIONS DE VERSANT : 18, ravine décimétrique à pluridécimétrique ; 19, micro-cône de déjection sablo-limoneux ; EQUIPEMENTS HYDRAULIQUES : 20, mur en place après la crue ; 21, mur arraché ou éboulé par affouillement ; 22, gabion en place après la crue ; 23, enrochement en place après la crue ; 24, levée de terre en place après la crue ; 25, rupture de levée de terre ; 26, seuil bétonné ; 27, station de pompage ; 28, canal ; 29, source aménagée ; AUTRES EQUIPEMENTS : 30, habitat peu ou pas endommagé ; 31, habitat très endommagé ou détruit ; 32, chemin ; 33, voie romaine détruite ; 34, pont en place après la crue ; 35, pont détruit par un phénomène d'embâcle ; 36, limite de parcelle grillagée ; VEGETATION ET CULTURES : 37, ripisylve ou haie en place après la crue ; 38, allée de platanes ; 39, vignoble filé en place après la crue ; 40, vignoble détruit ; 41, peuple- raie plantée ; 42, verger (pommiers) en place après la crue ; 43, verger arraché ; 44, champ de maïs détruit.

Entre Caunes-Minervois et La Redorte, le recoupe- ment de méandres et l'occupation d'une grande partie du lit majeur de l'Argent Double se sont développés de façon presque systématique : en aval de Caunes- Minervois, entre Le Vivier et Pautard, et surtout entre Peyriac-Minervois et Rieux-Minervois. Les plaines d'inondation, autrefois enherbées mais aujourd'hui occupées par des vignes, des vergers de poires, pommes ou cerises (figure 4 c), et surtout par des jardins (cf. "sur l'Horte" de Peyriac, les "Hortes Hauts" et "Hortes Bas" de Rieux), ont été recouvertes par les eaux et pour la plupart dévastées par les engravements et ensablements. Les eaux ont emprunté des trajectoires anciennes, abandonnées lors d'une précédente crue ou bloquées par des amé-

nagements postérieurs. C'est le cas du chenal qui s'est ouvert en face et légèrement en amont du Moulin de Pautard : la digue bétonnée de rive droite, construite après la grosse crue de 1940, a cédé dans la concavité du méandre. La sinuosité s'est alors propagée par réfraction en aval, infléchissant le flux vers la rive gauche et le nord est de Peyriac.

Le développement d'une ripisylve, localement touffue et apparemment non régulièrement élaguée, a également favorisé les embâcles. De très nombreux peupliers adultes bordaient le lit de la rivière : facteur de stabilisation en un premier temps, ce fut un facteur aggravant dès lors que des brèches ont pu se développer (Pautard) ; les troncs, longs de plus de 10 mètres, se sont mis aisément en travers des flots, en même temps que les branchages serrés ont pu intercepter d'autres débris flottants (tiges d'*Arundo donax* en particulier).

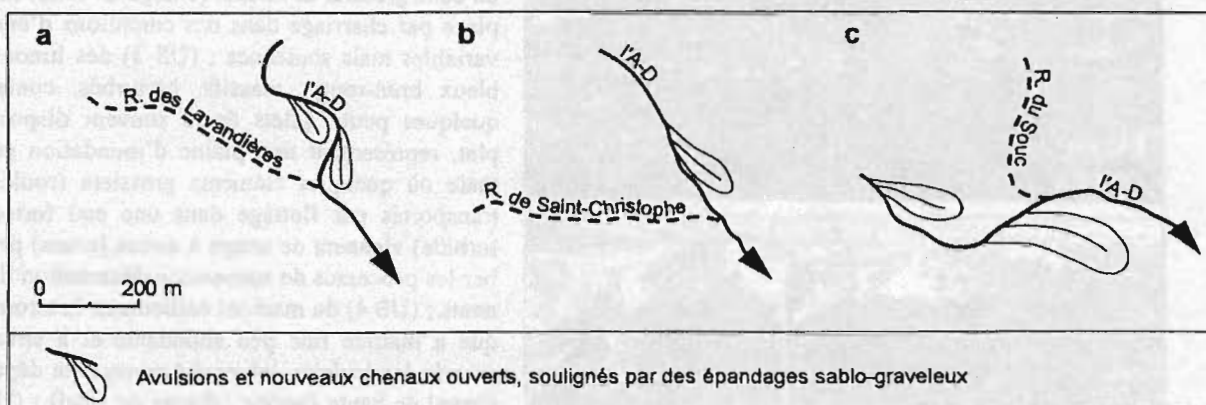


Figure 6. Schémas montrant les défluviations qui se sont produites au niveau des confluences entre l'Argent Double et (a) le ruisseau des Lavandières, (b) le ruisseau de Saint-Christophe et (c) le ruisseau du Souc. Pour la localisation de ces ruisseaux, se reporter à la figure 1.

Les confluences ont, semble-t-il, été déterminantes dans l'apparition des défluviations, comme cela a été observé au débouché des Ruisseaux des Lavandières (rive droite), de Saint-Christophe (rive droite) et du Souc (rive gauche). Dans les trois cas, les flots grossis et chargés de ces affluents ont été suffisamment puissants pour freiner l'Argent Double et en refouler les eaux vers la rive opposée, entraînant du même coup une réduction de sa section mouillée. Ce phénomène, de surcroît accentué par le dépôt des alluvions charriées par les affluents, a provoqué la montée des eaux en amont de la confluence, rendant presque inévitables le débordement de l'Argent Double et l'ouverture d'un nouveau chenal sur la rive opposée à l'affluent (figure 6).

IV. LA CRUE DE NOVEMBRE 1999 : UN " MODÈLE " POUR INTERPRÉTER LE FONCTIONNEMENT HYDROSÉDIMENTAIRE DE LA PLAINE ALLUVIALE MODERNE

La crue de novembre 1999 a servi de référent utile à l'interprétation des anciennes unités sédimentaires et de leur signification paléohydrologique. Lors de cette crue en effet, l'érosion des berges a mis en affleurement les matériaux peu ou pas altérés sous-tendant les " basses terrasses " de l'Argent Double et de ses affluents. Deux coupes stratigraphiques, parmi les nombreuses observées *in situ*, ont été sélectionnées afin de comprendre la magnitude et la fréquence des événements hydrologiques inhérents à la construction de la nappe alluviale. Les unités sédimentaires (US) mises en évidence sur chacune d'entre-elles ont fait l'objet d'une caractérisation structurale et granulométrique. Un âge relatif a pu être quelquefois proposé grâce aux vestiges archéologiques retrouvés dans les dépôts. Il ressort de cette étude une succession stratigraphique originale qui rend compte du rythme saccadé, pluri-décennal à pluri-séculaire, de l'activité torrentielle.

1. Coupe de la prise d'eau de Pautard

A l'amont immédiat de sa confluence avec l'Argent Double, le lit mineur du Ruisseau du Souc est bordé sur sa rive droite (concave) par une berge moderne que l'on suit sur plusieurs dizaines de mètres.

Une coupe d'environ 1,90 m a permis d'analyser la stratigraphie de la nappe alluviale. On y observe l'alternance d'épisodes de crue de haute énergie entrecoupés de séquences de crue de basse énergie soit, de bas en haut (figure 7 a) : (US 1) des limons rougeâtres fortement compactés et massifs, interprétés comme un "vieux dépôt" de plaine d'inondation distale, sans plus de précision quant à l'âge de sa mise en place ; (US 2) des graviers et galets émoussés hétérométriques, imbriqués, structurés en lentilles ravinantes, emballés dans une matrice limono-sableuse peu abondante, correspondant à un banc grossier de chenal (charge de fond) mis en place par charriage dans des conditions d'énergie variables mais soutenues ; (US 3) des limons sableux brun-rouge, massifs, bioturbés, contenant quelques petits galets épars souvent disposés à plat, représentant une plaine d'inondation proximale où quelques éléments grossiers (roulés ou transportés par flottage dans une eau fortement turbide) viennent de temps à autres (crues) perturber les processus de suspension-décantation dominants ; (US 4) du matériel caillouteux hétérométrique à matrice fine peu abondante et à structure pseudo-lenticulaire, interprété comme un dépôt de chenal de haute énergie (charge de fond) ; (US 5) des limons sableux bruns peu épais fortement pédogénisés, appartenant à la plaine d'inondation actuelle ou récente du Ruisseau du Souc. C'est sur le toit de US 5 que la crue de novembre 1999 a mis en place une ultime unité sédimentaire grossière (non visible sur la photo), sous la forme d'un épandage discontinu de sables et de galets.

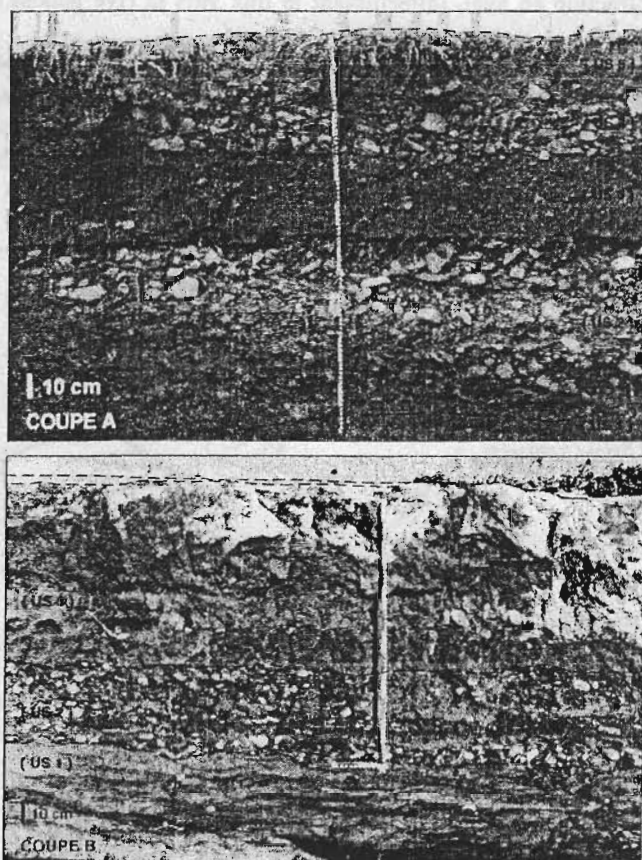


Figure 7. Coupes stratigraphiques. (a) Souc. (b) Peyriac US : unité sédimentaire (voir la description de chaque unité dans le texte) (Clichés M. Fort et G. Arnaud-Fassetta).

2. Coupe de Peyriac aval

En aval du pont de Peyriac, le lit de l'Argent Double s'élargit après un parcours chenalisé de plusieurs centaines de m. Là, la portion de plaine alluviale proche du chenal d'écoulement a été remodelée par les flots déchaînés, excessivement chargés en débris et renforcés de temps à autres par les lâchers d'embâcle en amont. Sur la surface d'inondation (limoneuse), une érosion en ravines pluridécimétriques témoigne de l'efficacité des forces tractrices fluviales (fig. 8). Une bonne partie de la plaine alluviale a ainsi été totalement érodée (*floodplain stripping*) au profit du lit mineur dont la largeur s'est accrue, rafraîchissant au passage de nombreuses levées de berge étudiées ici en rive gauche (convexe).

Figure 8. Les flots déchaînés ont profondément remodelé la plaine d'inondation en aval de Peyriac-Minervois (rive gauche de l'Argent Double). On observe au premier plan une ravine de 50 cm de profondeur creusée à l'emplacement de ce qui était un vignoble. Cette ravine, qui révèle une formation de limons massifs à minces intercalations de galets (cf. l'US 3 de la figure 7 b), témoigne de l'efficacité des forces tractrices pendant la crue éclair. Le chenal ordinaire de l'Argent Double se trouve en arrière du quidam et de la touffe d'Arondo donax située à sa gauche (Cliché G. Arnaud-Fassetta).



Sur une coupe d'environ 1,40 m de hauteur, on observe la succession d'unités sédimentaires de granulométrie tranchée, datées par l'archéologie de la période contemporaine, qui attestent de fluctuations hydrodynamiques rythmiques. Dans le détail, l'analyse de cette coupe a permis d'identifier de bas en haut (figure 7 b) : (US 1) des limons brun-vert compacts et massifs, correspondant à un dépôt de plaine d'inondation ; (US 2) un dépôt structuré en lentilles sécantes peu épaisses, constitué de séquences élémentaires grossières à galets hétérométriques imbriqués alternant avec des passées limoneuses plus fines, interprété comme un dépôt en position d'interface entre le chenal (épandages grossiers) et sa plaine d'inondation (limons de débordement datant du XIX^{ème} siècle) ; (US 3) des limons brun-vert (base) à brun (sommet) à structure massive, qui livrent dans le détail de minces passées de petits galets témoignant de l'incursion de la charge de fond dans la plaine d'inondation.

3. Signification paléohydrologique de ces coupes

L'analyse de ces coupes, en particulier les variations de granulométrie, a permis d'apporter des indications précieuses sur les modalités de la dynamique fluviale (régime hydrologique et énergie des flots passants) à l'échelle des derniers siècles :

- La présence dans les stratigraphies de bancs de galets très bien lavés, dont les imbrications changent d'orientation d'un niveau à l'autre, est révélatrice de changements fluviaux rapides et de l'ouverture, au milieu de la plaine d'inondation calme, de brèches et de nouveaux chenaux d'écoulement de forte énergie.
- Les contacts souvent plans et francs entre les différentes unités sédimentaires observées attestent l'occurrence d'épisodes brutaux de submersion généralisée (crues éclair).
- La pétrographie des galets retrouvés dans les dépôts suggère une source d'apports double : locale (grès molassiques du piémont) et distale (calcaires et schistes issus du massif ancien), ce qui témoigne à la fois de la compétence des écoulements et de leur pouvoir érosif, y compris dans cette partie de piémont, intermédiaire entre la Montagne Noire et la plaine de l'Aude.
- La chronostratigraphie des dépôts (succession verticale de milieux à fort contraste dynamique) est caractéristique d'un régime hydrologique à forte variabilité inter-annuelle à inter-décennale, à l'image du fonctionnement d'un cours d'eau méditerranéen.

V. DISCUSSION : LES ENSEIGNEMENTS DE LA CRUE DE NOVEMBRE 1999

La morphologie actuelle des vallées reflète les modalités hydrodynamiques caractéristiques des cours d'eau durant les derniers siècles de leur fonctionnement :

- La prédominance, dans la Montagne Noire, de l'incision sur la sédimentation s'accompagne cependant d'un transit saccadé, dans le temps (crues) et dans l'espace (bancs de chenal localisés/rareté des basses terrasses), des matériaux essentiellement fournis par la partie schisteuse de la montagne.
- A la sortie des gorges, érosion et sédimentation s'équilibrent dans une vallée plus large. D'une façon générale, la diminution rapide de la pente favorise la divagation des cours d'eau et l'étalement de leur charge. En phase de crue en particulier, la compétence des eaux descendues d'amont peut être renforcée par les apports directs venus du piémont (concentration et ruissellement de surface des pluies). La rivière sort de son chenal ordinaire et façonne ainsi son lit majeur par métamorphoses successives. En 1999, on a pu observer un changement d'état du chenal, avec substitution du style en tresses au méandrage. Il semble que la rivière ait à cette occasion retrouvé des modalités d'écoulement plus "naturelles", réoccupant un espace de liberté qu'elle avait perdu par contraction de son lit mineur et par chenalisation partiellement anthropique, développée après les crues de 1930 et 1940.

On peut donc s'interroger sur le caractère morphogène d'une telle crue. De nombreux travaux s'accordent à penser que les épisodes exceptionnels participent au bilan morphosédimentaire général d'une rivière de façon moins efficace et durable que les crues de faible à moyenne ampleur (Wolman et Miller, 1960 ; Knighton, 1998). L'exemple des dernières inondations survenues dans le bassin de l'Aude ne permet pas de reprendre à notre compte cette affirmation. Au contraire, il illustre plutôt la réelle participation des épisodes de basse fréquence au façonnement significatif des plaines alluviales, notamment dans la partie proprement piémontaise du Minervois où le recalibrage "naturel" des lits a été proportionnel à la puissance des écoulements. Ce recalibrage a transformé la morphologie des rivières à des degrés divers, jusqu'à atteindre parfois le stade de métamorphose fluviale, c'est-à-dire un changement d'état radical du paysage fluvial.

La notion de "crue exceptionnelle" appelle pourtant à la nuance. Plus que de crue exceptionnelle, catastrophique, paroxysmale, etc... (les qualificatifs ne manquent pas dans la littérature), c'est de "crue morphogène" dont il faut tenir compte pour comprendre le rythme d'évolution des vallées et leur aménagement durable. La crue morphogène, propre à chaque secteur de l'hydrosystème, fait ainsi intervenir autant la notion de dynamique spatiale que celle de dynamique temporelle. Dans le cas présent, nous avons vu qu'un secteur fluvial mal aménagé peut être sensible à des événements hydrologiques même de faible ou de moyenne ampleur ; qu'un effet local (seuil rocheux, pont, section calibrée...) peut avoir autant d'incidence géomorphologique qu'une crue exceptionnelle ; qu'un événement hydrologique majeur, quel qu'il soit, s'il ne s'inscrit pas dans une phase de

“ régime dominé par les crues ” (FDR ; *sensu* Erskine et Warner, 1988), n’aura peut-être pas plus d’impact que plusieurs crues moyennes qui se succèdent rapidement dans le temps.

Conclusion : L’analyse détaillée de la crue de novembre 1999, à partir de l’exemple de l’Argent Double et de ses affluents, a permis de discuter des effets morphodynamiques qu’engendrent les aléas hydrologiques majeurs dans les hydrosystèmes fluviaux anthropisés. Malgré sa violence et les réajustements géomorphologiques notables qu’elle a imposés à l’hydrosystème, cette crue ne peut être qualifiée d’exceptionnelle. Deux arguments, l’un hydroclimatique, l’autre chronostratigraphique, viennent à l’appui de cette contre-affirmation. Tout d’abord, les données hydrologiques et météorologiques détaillées plus haut ont montré la récurrence d’aléas d’ampleur comparable au cours de notre siècle et du précédent. Une approche historique des crues, basée sur l’étude fine des archives sédimentaires conservées dans la plaine alluviale, a par ailleurs permis de retrouver les traces d’événements hydrologiques majeurs récents (Temps Modernes), ce qui renforce l’idée que la crue subie par l’Argent Double en 1999 n’est qu’un événement de fréquence pluridécennale parmi d’autres, caractéristique du fonctionnement d’un cours d’eau méditerranéen. Enfin, il apparaît manifeste que les effets de l’inondation ont été renforcés par les modalités actuelles de l’utilisation des sols et de l’aménagement du lit fluvial qui rendent l’ensemble de l’hydrosystème plus vulnérable aux crues. Ceci amène à s’interroger sur la pertinence des solutions mises en œuvre au cours des dernières décennies pour se prémunir et/ou se protéger des inondations (Arnaud-Fassetta *et al.*, soumis ; Masson *et al.*, ce volume).

Remerciements. Ce travail a bénéficié de l’aide financière de l’UMR 8586 PRODIG CNRS (Equipe Erosion de l’Université Paris 7). Nous tenons également à remercier toutes celles et ceux qui ont investi de leur temps et de leur compétence dans cette étude : M. André Estèves, de Trausse, Mme Andrée Baudouy et son fils, du domaine de Pautard, MM. Le Maire et Le Secrétaire de Mairie de Peyriac, Mr. Yvroux, hydrogéologue départemental de l’Aude, pour la communication des deux séries de photos aériennes, Mlle Delphine Clément, Mr. Martin Dagan, Mr. David Quisserne, Mlle Ysabeau Rycx, étudiants en géographie de l’Université Paris-7 Denis-Diderot, pour leur participation efficace aux travaux de terrain, et enfin Mme Corinne Landuré, du Service Régional de l’Archéologie DRAC-PACA d’Aix-en-Provence, pour l’identification et la datation des tessons recueillis dans les coupes stratigraphiques.

BIBLIOGRAPHIE ET SOURCE DE DONNÉES

- ARNAUD-FASSETTA G., BALLAIS J.L., BEGUIN E., JORDA M., MEFFRE J.C., PROVANSAL M., RODITIS J.C., SUANEZ S. (1993) La crue de l’Ouvèze à Vaison-la-Romaine (22 septembre 1992). Ses effets morphodynamiques, sa place dans le fonctionnement d’un géosystème anthropisé, *Revue de Géomorphologie dynamique*, 62, 2, 33-48.
- ARNAUD-FASSETTA G., BELTRANDO G., FORT M., PLET A., ANDRÉ G., CLÉMENT D., DAGAN M., MÉRING C., QUISSERNE D., RYCX Y. (soumis) La catastrophe hydrologique de novembre 1999 dans le bassin-versant de l’Argent Double, Aude, France méditerranéenne : de l’aléa pluviométrique à la gestion des risques pluviaux et fluviaux, *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*.
- BERGER G.M., BOYER F., REY J. (1990) *Lézignan-Corbières, Notice de la carte géologique*, BRGM, 70 p.
- ERSKINE W.D., WARNER R.F. (1988) Geomorphic effects of alternating flood-and-drought-dominated regimes on NSW coastal rivers, in: WARNER, R.F., (eds.), *Fluvial Geomorphology of Australia*, Academic Press, Sydney, 303-322.
- KNIGHTON A.D. (1998) *Fluvial Forms and Processes, A New Perspective*, Arnold, London, 483 p.
- MASSON M., SHAVE, S., MATTHIEU L., BALLAIS J.L., GARRY G., DELGADO J.L. (2000) La possible prévision : la méthode hydrogéomorphologique, Résumés des communications du colloque “ *Au chevet d’une catastrophe hydrologique* ”, 26-28 juin 2000, Université de Perpignan, 16-17.
- ROTNICKI A. (1991) Retrodiction of palaeodischarges of meandering and sinuous alluvial rivers and its palaeohydroclimatic implications, in : STARKEL L., GREGORY K.J., THORNES J.B., (eds.), *Temperate palaeohydrology*, Chichester, Wiley, England, 431-471.
- SCHUMM S.A. (1969) River Metamorphosis, *Journal of the Hydraulics division*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 95 (Hy 1), 255-273.
- WOLMAN M.G., MILLER J.P. (1960) Magnitude and frequency of geomorphic processes, *Journal of Geology*, 68, 54-74.

Base de données pluviométriques horaires et B.H.E.R. de Météo-France,
Site Météo-France : http://www.meteo.fr/la_pluies/index.html.



Médi-Terra

AU CHEVET D'UNE CATASTROPHE

Les inondations des 12 et 13 novembre 1999
dans le Sud de la France



Actes du colloque *Médi-Terra*
26-28 juin 2000

Collection Études

Presses Universitaires de Perpignan