



HAL
open science

L'érosion consécutive à l'incendie d'août 1989 sur la montagne Sainte-Victoire : trois années d'observations (1989-1992)

Jean-Louis Ballais

► **To cite this version:**

Jean-Louis Ballais. L'érosion consécutive à l'incendie d'août 1989 sur la montagne Sainte-Victoire : trois années d'observations (1989-1992). Bulletin de l'Association de géographes français, 1993, 5, pp.423-437. hal-01563943

HAL Id: hal-01563943

<https://amu.hal.science/hal-01563943>

Submitted on 21 Jul 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Jean-Louis BALLAIS*

**L'ÉROSION CONSÉCUTIVE À L'INCENDIE D'AOÛT 1989
SUR LA MONTAGNE SAINTE-VICTOIRE:
TROIS ANNÉES D'OBSERVATIONS (1989-1992)**

(EROSION RESULTING FROM THE FIRE OF AUGUST 1989 ON THE «MONTAGNE SAINTE-VICTOIRE»:
THREE YEARS OF OBSERVATIONS (1989-1992))

RÉSUMÉ. – *L'incendie d'août 1989 a provoqué une accélération considérable de la dynamique des ruisseaux intermittents, d'abord par une forte accumulation en 1989-1990, puis par une incision en 1990-1991. Il était alors possible de penser à une stabilisation précoce de la morphogénèse grâce à la recolonisation végétale rapide. Cependant, la crue exceptionnelle de septembre 1991 montre que cette stabilisation reste imparfaite.*

Mots-clés: Incendie de forêt, érosion, Provence.

ABSTRACT. – *The 28 August 1989 wildfire caused an important acceleration of the activity of sporadic streams, first with a thick filling during 1989-1990 and then with a cutting-down during 1990-1991. Then, it was possible to think that a precocious stabilization of morphogenesis occurred owing to the swift recolonization by the vegetation. However, an exceptional flood in september 1991 showed that the stabilization remains partial.*

Key words: wildfire, soil erosion, Provence.

A l'exception des études précieuses effectuées un peu au Sud, sur des parcelles expérimentales du versant méridional du Cengle (Clauzon, Vaudour, 1969a, 1969b, 1971) et de quelques observations sur l'hydrochimie du Bayon et de certains de ses affluents (Vaudour, Martin, Covo, 1988), la morphogénèse modale sur la montagne Sainte-Victoire était inconnue avant l'incendie du 28 août 1989. La catastrophe a conduit à installer, très rapidement, un dispositif de fortune dans le but de suivre l'évolution après l'incendie. Malgré ses imperfections, il permet cependant de montrer l'extrême accélération de la dynamique des ruisseaux dans les mois qui ont suivi son installation.

* U.F.R. des Sciences Géographiques et de l'Aménagement. Université d'Aix-Marseille II et U.A. 903 du C.N.R.S., 29, avenue Robert-Schuman, 13621 Aix en Provence.

Le versant méridional (fig. 1) a été choisi d'abord parce qu'il a été le plus dévasté par l'incendie, mais aussi parce qu'il présente de vastes affleurements d'argiles, argilites et marnes à la base du grand front de chevauchement constitué de calcaires (Jorda, Provansal, 1992). Ainsi, le haut bassin-versant du Bayon (fig. 1) est principalement localisé dans ce substrat meuble dont l'imperméabilité favorise l'écoulement superficiel quasi instantané lors des fortes pluies. Cette imperméabilité limite, par ailleurs, la formation de sources pérennes et de réseaux d'alimentation souterrains facilités par les calcaires et imprime, en fonction du climat méditerranéen subhumide, un fonctionnement temporaire à saisonnier à tous les cours d'eau, à l'exception du ruisseau de Roques-Hautes. Avant l'incendie, les eaux s'écoulaient par un réseau de ravines vigoureusement entaillées, en particulier à l'ENE de Saint-Antonin sur Bayon, avant de confluer dans quelques rares ruisseaux orientés NNE-SSW. Vers l'aval, la rupture de pente au contact du Cengle (fig. 1) favorise le dépôt de la charge transportée et l'infiltration des eaux: en général, la discontinuité de l'écoulement dans le temps s'accompagne d'une discontinuité dans l'espace car les affluents atteignent rarement le Bayon. En somme, ces affluents fonctionnent comme de petits oueds torrentiels.

Dans le détail, les trois années d'observations (1989-1990, 1990-1991 et 1991-1992) se caractérisent par une évolution différente qui impose un plan d'étude chronologique.

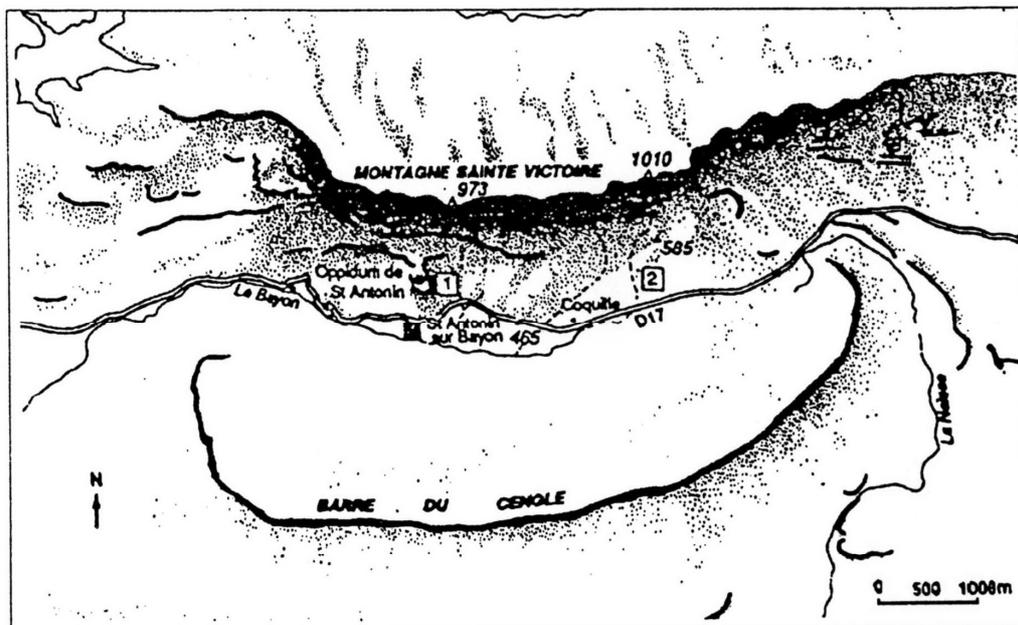


Fig. 1. – Croquis de localisation.
1: ruisseau des Deux-Aiguilles; 2: ruisseau de Roque Vaoutade.

1. L'accumulation dans les ruisseaux d'ordre 2 (1989-1990)

Le renversement de la dynamique des ruisseaux

a – La dynamique avant l'incendie

Faute d'étude précise sur les cours d'eau d'ordre 2 ou 3, leur dynamique est mal connue. Cependant, il est clair que, à échelle séculaire, ils ont tendance à entailler leur lit. C'est ainsi que les très basses terrasses postérieures au Haut Empire Romain sont perchées de 2 à 3 m au-dessus des lits majeurs actuels (Ballais, Crambes, 1992). Malgré tout, on ne peut pas exclure un arrêt de l'entaille depuis, par exemple, quelques décennies.

Cette tendance à l'entaille verticale est encore beaucoup plus nette en ce qui concerne les ravines et cours d'eau d'ordre 1 dès lors qu'ils entaillent des roches meubles. Leur vitesse moyenne annuelle minimum peut atteindre 2 mm/an comme sur le ravin de l'Aurigon depuis le cinquième siècle de notre ère.

b – La dynamique après l'incendie

– Le dispositif de mesure

Pour diverses raisons tant techniques qu'administratives, il n'a pu être mis en place qu'en décembre 1989. Neuf stations ont été installées dont trois pour mesurer l'évolution du talweg du ruisseau des Deux-Aiguilles et une celle d'un plunge-pool proche du cimetière de Saint-Antonin (fig. 1). Elles étaient constituées de simples clous repérant, selon les cas, la hauteur et l'extension latérale de l'accumulation ou la position des berges. Après chaque pluie (à l'exception des rares pluies fines et brèves), une série de mesures était effectuée.

Par ailleurs, des observations qualitatives ou semi-quantitatives ont été faites aussi régulièrement, en particulier sur le ruisseau de Roque Vaoutade.

L'impossibilité matérielle d'installer un pluviographe sur un territoire très fréquenté par les promeneurs et les escaladeurs nous a conduit à utiliser les données pluviométriques des deux stations météorologiques les plus proches: Vauvenargues, à seulement 4 kilomètres et à altitude (420 m) proche de celle des bassins-versants étudiés, mais sur le versant septentrional de la montagne, et Trets, à 11 km vers le sud-est, plus bas (250 m), mais sur le même versant.

– Une accumulation généralisée

– Le cas du ruisseau des Deux-Aiguilles

De l'examen régulier de ces stations, il est ressorti que l'accumulation se produisait tout au long de la première année hydrologique postérieure à l'incendie.

Dans le détail, on peut distinguer deux périodes principales: l'automne 1989 et le printemps 1990. La première crue se produit tardivement, le

22 novembre (Vaudour, Covo, 1991): les ravines qui descendent de l'oppidum et le ruisseau coulent abondamment, et, bien que la turbidité reste faible (0,201 g/l au pied de l'oppidum), de nouvelles rigoles y apparaissent (Vaudour, Covo, 1991). C'est très probablement lors de cette crue que les cailloutis observés dans les talwegs se déplacent le plus loin vers l'aval pour atteindre une position stable jusqu'en septembre 1991 et que, plus généralement, l'essentiel des dépôts de l'année 1989-1990 se met en place.

Il faut ensuite attendre les pluies du printemps 1990 pour voir l'accumulation reprendre, en particulier après les pluies abondantes de la troisième décennie de mai et celles de la mi-juin, pour atteindre, par exemple, 30 cm (depuis septembre 1989) à la station 3 d'amont. Ces dépôts sont organisés en lits centimétriques plus ou moins foncés (ocres et noirâtres), plus ou moins riches en charbons de bois. Trois échantillons ont été prélevés: V2A 1, antérieur à l'incendie, V2A 2 à la base des dépôts post-incendie et V2A 3 au sommet des dépôts post-incendie. L'échantillon antérieur à l'incendie est grossier ($Q_2 = 560$ m) et sa courbe granulométrique cumulative (fig. 2) de forme plutôt logarithmique évoque plus une colluvion qu'une alluvion. La base des dépôts post-incendie comprend une très forte proportion de terres fines (94,69 %), surtout sableuses ($Q_2 = 280$ m). La courbe granulométrique cumulative de ces sables (fig. 2) donne une belle forme sigmoïdale, caractéristique d'un dépôt de ruisseau. Le sommet des dépôts, un peu plus fin ($Q_2 = 250$ m), accentue encore ces caractéristiques (fig. 2). L'augmentation du taux de sables et de limons souvent observée après un incendie (Giovannini, 1987) ne se vérifie pas ici. Cer-

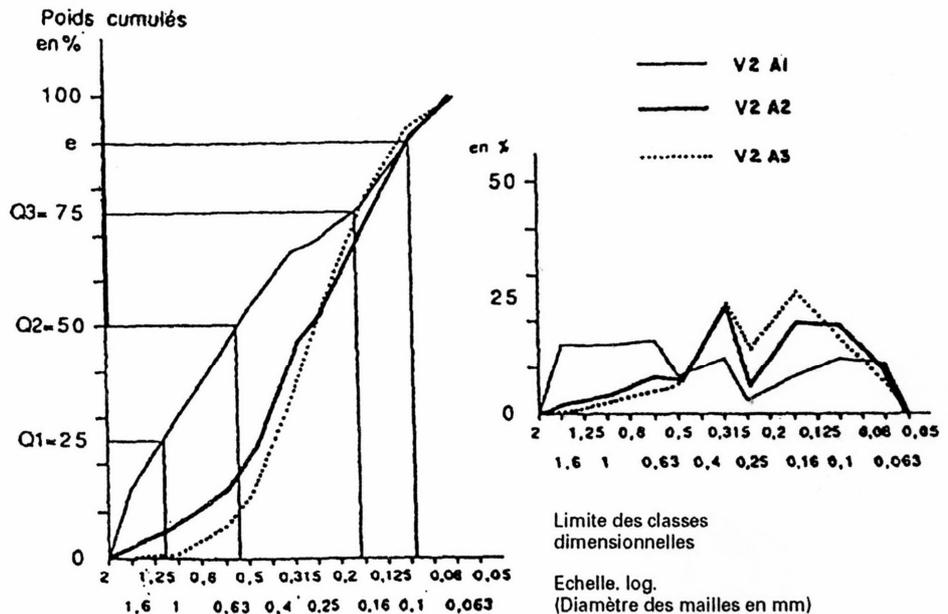


Fig. 2. - Courbes granulométriques cumulatives et simples des dépôts du ruisseau des Deux-Aiguilles. V2A 1: dépôt antérieur à l'incendie; V2A 2: dépôt de l'automne 1989; V2A 3: dépôt du printemps 1990.

taines de ces caractéristiques proviennent de la position particulière de cette station, peu à l'amont d'une fascine placée là par l'Office National des Forêts dans le but de freiner l'entaille du ruisseau. C'est elle qui explique la rythmicité particulière du dépôt car elle agissait comme un micro-barrage lors des fortes pluies, diminuant ainsi la vitesse du courant et favorisant l'accumulation. Cependant, les courbes granulométriques cumulatives (fig. 2) montrent qu'il n'y a pas eu de décantation. En fait, lors des crues, seules les terres fines se déposent et, lors du tarissement, les charbons de bois n'étant plus transportés par flottation, s'accumulent sur les précédentes.

- Les caractéristiques des autres ruisseaux

Dans les autres ruisseaux, une accumulation s'observe également, caractérisée par un double tri granulométrique. Dans le sens transversal, aussi bien dans le ruisseau de Coquille (fig. 1) que dans celui de Roque Vaoutade, le matériel grossier occupe le lit mineur alors que les dépôts fins s'accumulent dans le lit majeur. Dans le sens longitudinal, aussi bien dans le ruisseau des Deux-Aiguilles que dans les autres, les dépôts fins ont progressé nettement plus à l'aval que les dépôts grossiers. En somme, par opposition avec l'indigence moyenne avant l'incendie, ces cours d'eau ont été capables de trier efficacement les alluvions transportées.

L'exemple du ruisseau de Roque Vaoutade permet de saisir les nuances qui apparaissent dans un haut bassin-versant plus élevé que celui du ruisseau des Deux-Aiguilles. Les dépôts antérieurs à l'incendie (RV 1) comportent seulement 37,18 % de terres fines dont 73,88 % de sables dont la courbe granulométrique cumulative (fig. 3) est de forme logarithmique à sigmoïdale très peu marquée, ce qui indiquerait un dépôt torrentiel. La base des dépôts post-incendie est nettement plus grossière (seulement 16,13 % de terre fine) dans une matrice sableuse ($Q_2 = 560$ m) dont la courbe granulométrique cumulative convexe (fig. 3) indique une accumulation forcée de type torrentiel, probablement lors de la crue du 22 novembre. Le sommet, déposé selon toute vraisemblance au printemps 1990, comporte plus de terre fine (30,18 %), mais avec des sables encore plus grossiers ($Q_2 = 1200$ m) et la convexité de la courbe granulométrique cumulative (fig. 3), plus accentuée, confirme une capacité de transport augmentée. A la différence du ruisseau des Deux-Aiguilles, ces résultats sont compatibles avec l'accroissement des classes des limons et des sables souvent observé après un incendie.

La succession des faciès granulométriques, au cours du temps, est tout à fait caractéristique, en particulier dans le ruisseau de Roque Vaoutade où pas moins de 65 cm de dépôts se sont accumulés au cours de l'année. Les premières crues d'automne y ont déposé du matériel fin que recouvrit, probablement le 22 novembre, une couche plus grossière. Il y avait là l'amorce d'un granoclassement inverse, souvent caractéristique, en particulier, des accumulations dans des géosystèmes anthropisés. Or, au printemps 1990, le même schéma se répéta: d'abord des dépôts fins, puis des

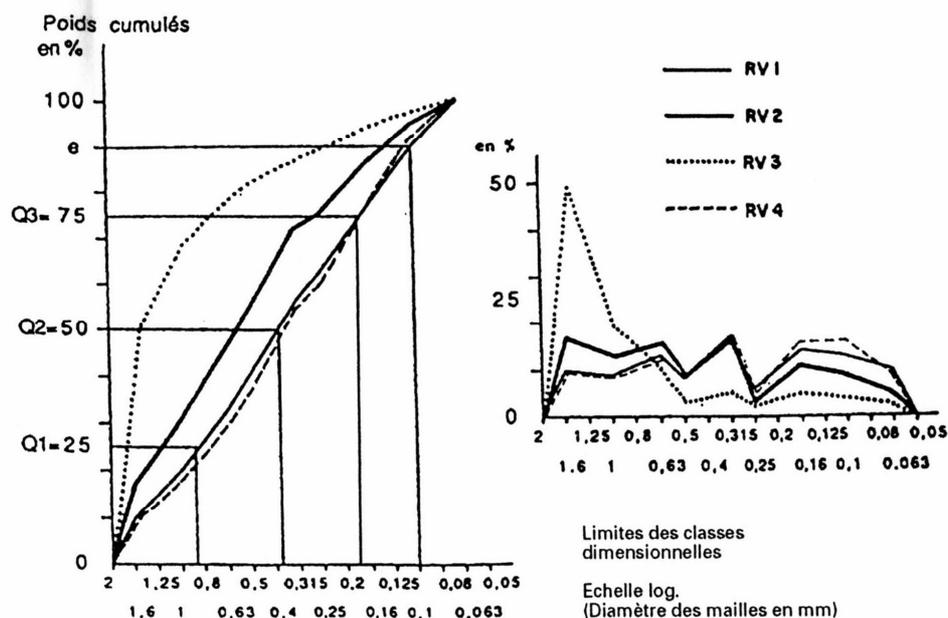


Fig. 3. - Courbes granulométriques cumulatives et simples des dépôts du ruisseau de Roque Vaoutade.
RV 1: dépôt antérieur à l'incendie; RV 2: dépôt de l'automne 1989;
RV 3: dépôt du printemps 1990; RV 4: dépôt du printemps 1991.

dépôts grossiers. Cette rupture incite à penser à une modification dans le géosystème entre l'automne 1989 et le printemps 1990.

Si, sur le Bayon, les mesures systématiques concernaient l'hydrochimie (Vaudour, Covo, 1991), les observations confirment le calendrier de ses affluents: d'une part, le ruisseau est encore à sec le 23 octobre 1989 et, d'autre part, dans son cours moyen, il présente encore une forte turbidité de 1,133 g/l le 23 novembre.

L'origine du matériel, le rôle des pluies et de la végétation

Les traces d'une vigoureuse ablation étaient très perceptibles en automne 1989. Dès les premières pluies (en particulier celle du 10 septembre: 40,2 mm à Trets, pour des intensités horaires moyennes de 13 mm/h et maximums de 16,7 mm/h), apparaissent, sur les formations meubles, les micro-striages caractéristiques du splash, orientés ESE-WNW, dans le sens du vent. Le 22 novembre, apparaissent les premières rigoles. On peut penser que les têtes des ravins ont alors considérablement reculé puisque celle du plunge-pool du cimetière a reculé de 4 cm de décembre à mai à la suite de pluies dont l'intensité horaire maximum a atteint 20,2 mm.

Pour déterminer de façon plus précise l'origine exacte des alluvions

accumulées, nous avons procédé à des analyses granulométriques et géochimiques. La granulométrie des alluvions du talweg du ruisseau des Deux-Aiguilles a été ainsi comparée à celle des formations représentées plus à l'amont, dans le bassin-versant: argiles du substrat, formations solifluées et alluvions de la terrasse historique. Les alluvions post-incendie sont caractérisées par deux modes: un principal à 125 m et un secondaire à 80 m. Or, 80 m est aussi le deuxième mode des argiles du substrat et le troisième mode de la très basse terrasse historique et 125 m est également le deuxième mode de cette dernière. On peut donc penser que l'érosion aréolaire a affecté l'ensemble des formations qui affleurent dans le bassin-versant. Cette généralisation de l'érosion aréolaire après l'incendie est confirmée par l'étude géochimique. En effet, aussi bien dans le ruisseau des Deux-Aiguilles que dans celui de Roque Vaoutade, les caractéristiques géochimiques (fig. 4) des dépôts de l'automne 1989 (respectivement V2A 2 et RV 2) sont nettement différentes de celles des dépôts antérieurs (respectivement V2A 1 et RV 1). Comme il est exclu que l'incendie ait pu modifier les proportions des corps étudiés ici, à la différence d'autres corps chimiques (Giovannini, 1987), ce que confirment d'ailleurs les mesures effectuées sur l'eau du ruisseau des Deux-Aiguilles et sur celle du Bayon qui ne montrent aucun changement significatif après l'incendie (Vaudour, Covo, 1991), cela signifie bien que les formations affectées par l'érosion aréolaire après l'incendie étaient différentes de celles, nettement plus réduites en surface, qui étaient affectées avant.

Il apparaît donc clairement que ce sont les pluies qui contrôlent alors exclusivement l'érosion aréolaire et l'écoulement superficiel au cours de l'automne 1989, étant rappelé que les températures atteintes par la surface lors de l'incendie ne sont pas connues et que, par conséquent, leur rôle (Giovannini, 1987) ne peut être apprécié. Plus précisément, la crue et l'accumulation principales sont déclenchées par une pluie de 30 mm à Vauvenargues et 23,6 mm à Trets, le 22 novembre. Cette pluie qui représente environ 25 % du total du mois n'a pas atteint des intensités considérables: en moyenne 3,7 mm/h à 4,2 mm/h avec des pointes à 4,7 à 5,2 mm/h. Les premiers écoulements sont observés vers 10 h 30 (Vaudour,

Nom de l'échantillon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	H ₂ O-	H ₂ O+
V2A 1	10,88	3,79	1,38	2,37	40,75	0,56	0,05	0,13	0,019	1,27	37,48
V2A 2	21,32	5,60	2,05	1,13	28,39	0,89	0,11	0,21	0,045	3,88	35,40
V2A 3	16,99	3,77	1,36	1,04	38,60	0,50	0,07	0,14	0,030	1,24	35,11
RV 1	33,13	6,49	2,57	0,78	26,80	0,93	0,11	0,28	0,047	1,79	25,16
RV 2	21,15	4,38	2,55	0,49	33,87	0,48	0,10	0,18	0,046	2,00	33,65
RV 3	12,19	3,19	1,60	0,45	39,44	0,32	0,10	0,13	0,035	1,86	39,10
RV 4	40,21	7,78	2,85	0,95	22,21	1,20	0,11	0,34	0,045	2,07	21,26

Fig. 4. - Caractéristiques géochimiques des dépôts des ruisseaux (en %).

Covo, 1991), soit assez tardivement. Mais les pluies de la veille, plus abondantes (63 mm à Trets, 50,6 mm à Vauvenargues) et plus intenses (intensités horaires moyennes: 6 mm/h et 5,1 mm/h, intensités horaires maximums: 16,4 mm/h et 9 mm/h) avaient déjà partiellement saturé les sols et formations superficielles. Cependant, la date tardive des pluies efficaces (les précipitations d'octobre 1989 sont inférieures de plus de 50 % à la normale mensuelle) a permis au sol de se tasser après la dilatation due à l'incendie, limitant ainsi cette efficacité. L'importance de l'ablation et du transport résulte donc, en premier lieu, de la suppression à peu près totale du couvert végétal par l'incendie, des effets mécaniques du feu et de la succession de deux épisodes pluvieux importants dont le cumul a provoqué un ruissellement abondant.

Au cours de l'hiver, la recolonisation végétale a commencé de façon peu perceptible d'abord. Les herbacées, en particulier les Graminées, ont assez vite colonisé les dépôts fins des talwegs (ruisseau des Deux-Aiguilles) et *Quercus coccifera* a vigoureusement rejeté de souche. Au printemps, ce fut le tour des *Quercus ilex* et *Quercus pubescens* (Baccouche, 1990). La conséquence en fut que, malgré des pluies de printemps particulièrement abondantes (plus de 200 mm en mai à Vauvenargues; plus généralement, le maximum se plaça au printemps, et non en automne comme en moyenne), l'ablation et le transport restèrent très modérés. La composition géochimique des alluvions déposées au printemps 1990 (fig. 4) paraît confirmer cette progression du couvert végétal. En effet, les échantillons RV 3 et V2A 3 ressemblent beaucoup plus à ceux déposés avant l'incendie (RV1 et V2A 1) qu'à ceux de l'automne (RV 2 et V2A 2). On peut interpréter cela en disant que ce sont les mêmes affleurements qui ont fourni d'abord les dépôts antérieurs à l'incendie puis ceux du printemps 1990, ce qui signifie que la végétation a recolonisé les territoires qu'elle occupait précédemment et protégeait de l'ablation avant l'incendie. En conséquence, la maigre formation végétale, cette garrigue à chêne kermès du printemps 1990, protégeait autant la surface de l'érosion pluviale et du ruissellement que la garrigue ou forêt claire à *Pinus halepensis*

2. Le retour à l'entaille (1990-1991)

- L'importance de l'entaille

a. Une entaille généralisée

Dans le ruisseau des Deux-Aiguilles, à l'accumulation de l'année précédente, succède, entre octobre 1990 et avril 1991, une légère entaille qui varie de 0,2 cm à 2 cm. L'entaille est beaucoup plus spectaculaire dans le ruisseau de Roque Vaoutade, où elle atteint 100 cm. Enfin, le plunge-pool du cimetière connaît un accroissement de rayon de 20 cm, soit un accroissement de surface de 78 % dû à un double recul: celui du bord inférieur et celui du bord supérieur (7,5 cm à 12 cm), ce dernier surtout par effondrement.

b. L'évolution chronologique de l'entaille

– Le ruisseau des Deux-Aiguilles

Une étude statistique des données recueillies dans le bassin-versant du ruisseau des Deux-Aiguilles a été effectuée (Crambes, Sandoz, 1991). Elle est basée sur le calcul de paramètres statistiques usuels comme la moyenne ou les coefficients de corrélation qui apportent déjà des résultats tout à fait intéressants. Cependant, l'analyse factorielle permet d'affiner les résultats.

Au cours du mois d'octobre, la moyenne des mesures est une très faible accumulation: 0,03 cm, non significative car inférieure à la marge d'erreur des mesures, soit 0,1 cm. La très faible valeur de l'écart-type (0,19) confirme l'homogénéité des mesures. En novembre, c'est l'entaille qui prédomine (0,26 cm) avec une très forte amplitude entre les deux extrêmes: - 3,2 cm et + 3,5 cm, responsable du fort écart-type (1,22). Les séries de décembre, janvier et février, plus homogènes (écart-type: 0,69 à 0,87), enregistrent, en moyenne, une légère accumulation (0,09 cm à 0,26 cm). Mars, en revanche, rappelle novembre: réapparition d'une entaille (moyenne: 0,50 cm) et d'un fort écart-type (1,49), tendance confirmée par avril (entaille moyenne de 0,23 cm, mais plus faible écart-type: 0,63). Donc, d'après les moyennes d'évolution, les mois de l'hiver se caractérisent par une accumulation alors que ceux d'automne et de printemps connaissent une ablation, à l'exception d'octobre qui est stable. Le coefficient de variation permet de montrer que si la série d'octobre est très homogène, celles de février, mars et avril le sont un peu moins, celles de novembre et décembre sont peu homogènes et celle de janvier très hétérogène.

Pour l'analyse factorielle, nous avons retenu quatre facteurs représentant respectivement 29,44 %, 25,15 %, 24,66 % et 17,05 % de l'information contenue. Comme cette analyse porte aussi sur un ensemble de mesures qui ne concernent pas uniquement le ruissellement (Crambes, Sandoz, 1991), nous nous contenterons d'aborder ici les seuls plans factoriels intéressant les trois stations du ruisseau. C'est pourquoi nous ne retiendrons que le deuxième facteur et une partie de l'information apportée par le troisième facteur.

Ce deuxième facteur oppose, notamment, pour la station 3, l'accumulation dans le talweg à la stabilité de la berge. Cela signifie que les rares dépôts qui s'y accumulent sont issus de l'ablation aux dépens des berges proches. De ce point de vue, la différence avec l'année 1989-1990 serait considérable. Ce facteur oppose également les accumulations dans le talweg des stations 1 et 3 avec la stabilité de la berge de la station 2. Cependant, la dynamique de la station 1 est différente de celle de la station 3: en effet, sapement de berge aval et incision y évoluent de façon parallèle. Les dépôts observés au fond du talweg ne proviennent probablement pas des berges immédiates, mais de l'amont.

Le troisième facteur associe l'accumulation dans le talweg de la station 1 et l'accumulation sur la berge de la station 2. Le matériel du talweg

de la station 1 proviendrait en majeure partie de la berge amont de cette station, ce qui s'oppose à l'hypothèse déduite du deuxième facteur. Les stations connaîtraient donc une dynamique « interne » qu'il ne faudrait pas négliger, comme en témoigne la station 1 où deux points de la berge, séparés seulement de quelques dizaines de centimètres, évoluent différemment. Pour la station 2, le matériel viendrait en majeure partie de l'amont et pourquoi pas? de la station 3, du moins en partie.

Au total, l'analyse factorielle apporte des précisions importantes sur le fonctionnement du ruisseau des Deux-Aiguilles et permet, d'une part, de proposer une dynamique de fonctionnement de chacune des stations et, d'autre part, d'établir des liaisons entre elles. Pour les autres stations, en revanche, le bilan est moins positif, probablement parce qu'elles mesurent des phénomènes dans des systèmes distincts.

- Les autres ruisseaux

Le détail de l'évolution de leur dynamique est très mal connu, faute de mesures précises. Cependant, dans le cas du ruisseau de Roque Vaoutade, il est très probable que l'essentiel de l'entaille se soit produit lors des premières crues d'automne. Il s'est accompagné d'un sapement latéral qui a déstabilisé les berges: le sommet, retenu par le dense réseau racinaire des *Quercus coccifera*, forme un surplomb d'environ 30 cm et s'éboule depuis, peu à peu. Après les premières crues d'automne, le creusement se concentre dans un chenal central entaillé de 20 cm, probablement au cours des crues de printemps. Au fond de ce chenal, quelques centimètres de dépôts fins (RV 4) se sont déposés. Ils ressemblent beaucoup à ceux (RV 1) déposés avant l'incendie, à la fois par leur médiane (350 m contre 390 m) et leur courbe granulométrique cumulative légèrement sigmoïdale (fig. 3) mais aussi par leur composition chimique (fig. 4). Des quatre échantillons prélevés dans ce ruisseau, ils sont les plus riches en fines (50,28 %) mais les plus pauvres en sables (34,14 %), ce qui indique une diminution nette de la compétence des écoulements par rapport à ceux de l'année 1989-1990. On peut affirmer que, dans le cas du ruisseau de Roque Vaoutade, deux années après l'incendie, les modes d'ablation et de dépôt sont redevenus ce qu'ils étaient à la veille de l'incendie.

- Le rôle prédominant de la reconquête végétale

a. Des précipitations moyennes

Au cours de l'année hydrologique 1990-1991, on observe deux pics principaux situés à l'automne et au printemps, plus précisément en octobre (156,6 mm à Vauvenargues, 153,8 mm à Trets) et en mars (100,6 mm à Vauvenargues, 147,8 mm à Trets). Un pic secondaire est observé en décembre, alors que le minimum est en février.

Non seulement octobre est le plus arrosé mais il enregistre les plus

fortes intensités (moyennes: 11,8 mm/h à Vauvenargues et 13,4 mm/h à Trets; maxima: respectivement 18,7 mm/h et 15,7 mm/h) qui expliquent bien l'entaille du ruisseau de Roque Vaoutade mais pas la stabilité de celui des Deux-Aiguilles. Les sols, asséchés pendant l'été, ont-ils une forte capacité d'absorption (ce qui paraît s'être déjà vérifié en septembre-octobre 1989)? La végétation intercepte-t-elle une part croissante des précipitations? Novembre est nettement moins arrosé (58 mm à Vauvenargues, 74 mm à Trets) et l'intensité des pluies diminue considérablement (moyennes: respectivement 3,6 mm/h et 5,5 mm/h; maximums: 4,2 mm/h et 6,3 mm/h), ce qui explique mal le développement de l'entaille. Avec des intensités nettement plus fortes (moyennes à Trets: 7,6 mm/h et à Vauvenargues: 7,7 mm/h; maximums: respectivement 10 mm/h et 7,8 mm/h), décembre est plus arrosé (72,4 mm à Vauvenargues). Les pluies de janvier sont, à la fois, peu abondantes (23,4 mm à Vauvenargues, 35,4 mm à Trets) et peu intenses (de 2,2 mm/h à 3,2 mm/h), tendance accentuée en février (total à Vauvenargues: 15,8 mm, à Trets: 33,2 mm, intensités maxima comprises entre 1,7 mm/h et 3,3 mm/h). Malgré cela, les mois de décembre à février sont caractérisés par une entaille des ruisseaux. En mars, réapparaissent de fortes intensités (moyennes: 6,6 mm/h à Vauvenargues et 12,2 mm/h à Trets; maxima: respectivement 7,1 mm/h et 14,1 mm/h). Les pluies d'avril sont moins abondantes (50,6 mm à Vauvenargues) et moins intenses (maxima: 3,3 mm/h). Au total, en 8 mois, les précipitations ont atteint plus de 500 mm à Vauvenargues, conformément au régime pluviométrique régional moyen, soit une nette augmentation par rapport à 1989-1990. Il n'existe donc pas de corrélation statistique entre les caractéristiques des précipitations moyennes mensuelles et l'évolution des talwegs. Cependant, les phases d'entaille semblent correspondre plutôt, pour l'essentiel, aux phases de précipitations abondantes et, surtout, intenses. Dans le détail, l'évolution est si complexe qu'il n'est pas possible de trouver des corrélations simples. Par exemple, et en se limitant au cas du chenal dans les trois stations du ruisseau des Deux-Aiguilles, on constate qu'il n'a évolué dans le même sens qu'à une seule occasion, lors de la faible pluie du 17 février 1991 (total: 5,2 mm à Trets et 11,4 mm à Vauvenargues, intensités ne dépassant pas 1,7 mm/h): une faible accumulation (1 à 4 mm). Par contre, la pluie du 12 décembre 1990, peu abondante (11,8 à 12,6 mm) mais intense à Trets (maximum d'intensité: 10 mm/h) provoque l'accumulation maximum à la station 1 (9 mm) et l'ablation maximum à la station 3 (20 mm). Somme toute, l'intensité des précipitations semble contrôler plus l'intensité de l'érosion linéaire que son sens.

b. Le rôle décisif du couvert végétal

La reconquête végétale, amorcée dès l'hiver 1989-1990, s'est poursuivie, colorant progressivement en vert un paysage qui était gris et noir. La couverture végétale des lits majeurs de nombreux ruisseaux s'est densifiée par l'intermédiaire d'herbacées (Graminées surtout) formant un peigne efficace lors des écoulements. Mais le rôle principal a été joué par les

buissons, ceux de *Quercus coccifera*, en particulier, qui, lors des fortes averses, jouent le rôle d'un filet divisant le ruissellement diffus et bloquant la progression vers les talwegs des éléments de taille millimétrique ou plus importante. Dans ces conditions, le ruissellement concentré peut conserver une certaine compétence qu'il utilise à creuser les talwegs, comme avant l'incendie.

- Le retour à la situation d'avant l'incendie?

Les analyses granulométriques et géochimiques effectuées sur les dépôts du printemps 1990 ou de l'année hydrologique 1990-1991 (cf. ci-dessus) montrent leur parenté, parfois étroite, avec les dépôts antérieurs à l'incendie et leur différence marquée avec ceux qui se sont accumulés lors de l'automne 1989. Par ailleurs, la reprise de l'entaille semble renouer également avec la dynamique qui a précédé l'incendie.

Ainsi, l'année 1990-1991 confirme l'évolution qui apparaissait dès la fin de l'année 1989-1990, c'est-à-dire le retour à des conditions tout à fait comparables à celles qui précédaient l'incendie, du moins du point de vue de l'érosion linéaire.

3. L'accumulation dans le lit majeur (1991-1992)

L'essentiel de l'année 1991-1992 se caractérise par une très forte accumulation en septembre 1991 suivie par une stabilité presque totale.

- L'accumulation en septembre 1991

La première crue du ruisseau des Deux-Aiguilles s'est produite le 12 septembre, à la suite d'une pluie abondante (37,4 mm à Trets, 54,2 mm à Vauvenargues) et intense (intensité maximum: 13,6 mm/h à Vauvenargues, 4,1 mm/h à Trets; intensité moyenne: respectivement 11,8 mm/h et 4,1 mm/h). La crue est restée modérée, peignée par la végétation et sans effet morphologique.

La deuxième crue commence le 28 septembre et se prolonge, à la station 3, au moins jusqu'au 4 octobre. A cette même station, elle atteint 2 m de large et 30 cm de profondeur et dépose jusqu'à 8 cm de limons sableux entre les Graminées du lit majeur. Le lit mineur, large de 1,20 m, reste individualisé et même légèrement surcreusé localement de 0,6 cm, le 30 septembre. Le 4 octobre, la migration du banc médian s'est affirmée. Plus à l'aval, à proximité de la station 2, au confluent d'un ravin descendant de l'oppidum, la crue a atteint exceptionnellement 60 cm de haut dans un lit unique large, à la base, de 1,70 m. Environ 10 m à l'aval, la réapparition du lit majeur a provoqué, à sa surface, des dépôts de cailloux et blocs anguleux de calcaire et de brèches de taille maximum

26 cm x 26 cm x 9 cm qui ont submergé les Graminées et les repères de la station 2. Dans cette station également, le lit mineur s'est reconstitué après le maximum de la crue (le 29 ou le 30 septembre) et légèrement surcreusé de 1 cm. Probablement en même temps, les dépôts de crue ont été entaillés par des rigoles profondes de 1 à 2 cm, larges de 5 cm et à bords doux.

D'autres rigoles, nombreuses, ont creusé les argilites des flancs des ravins qui entaillent les versants de l'oppidum. Le bord méridional du plonge-pool du cimetière a reculé de 6 cm et le chenal, à l'aval, a d'abord été surcreusé puis en partie colmaté par des graviers et petits cailloux dont l'accumulation dépasse de 1,2 cm la surface antérieure à la crue.

Dans l'attente des résultats des analyses en cours, on peut cependant affirmer que des dépôts postérieurs à l'incendie ont été remaniés, caractérisés par des charbons de bois abondants dans les laisses de crues et de petites particules charbonneuses dans le lit médian de la station 3.

Il semble que les débits et l'efficacité morphologique exceptionnels de cette crue soient dus à trois pluies d'abondance et d'intensité moyenne, réparties sur 5 jours, mais survenant une douzaine de jours seulement après les pluies du 12 (et du 11 à Vauvenargues). En effet, si la pluie du 25 est abondante et intense à Vauvenargues (total: 57,2 mm, intensité moyenne: 9,7 mm/h, intensité maximum: 12,6 mm/h), elle reste très modérée à Trets (respectivement: 5,4 mm, 1,4 mm/h, 1,5 mm/h). Le 28, il tombe 57,2 mm à Vauvenargues et 32 mm à Trets avec des intensités comparables (en moyenne: 5,2 et 4,8 mm/h, maximum: 5,6 et 6,1 mm/h). Les précipitations du 29 sont plus modestes: 21 mm à Vauvenargues, 14,4 mm à Trets et les intensités maximums descendent en-dessous de 5 mm/h.

La troisième crue a été observée le 13 octobre. Cantonnée au lit mineur, elle n'a pas eu d'action morphogénique.

- La stabilité depuis

Alors que trois séries de mesures ont dû être encore effectuées en octobre 1991, suite à des pluies qui n'ont eu aucun effet morphologique, cinq séries seulement ont été faites, avec le même résultat négatif, entre le 29 octobre 1991 et le 25 mai 1992! Cette stabilité, tout aussi extraordinaire que l'accumulation de septembre 1991, est due, à n'en pas douter, à une nouvelle progression du taux de couvert végétal favorisée par l'abondance des pluies de septembre mais aussi, et surtout, à l'indigence extrême des précipitations hivernales, comparables à celles de 1990: 28 à 30 mm en janvier et 18 à 22 mm en février, avec une légère augmentation en mars: 40,2 mm à Trets et 60 mm à Vauvenargues, les maximas quotidiens ne dépassant jamais 18,8 mm à Vauvenargues et 12 mm à Trets.

En fait, le maximum secondaire printanier s'est placé très tard, en juin, avec 89,6 mm à Vauvenargues (pour 16 jours de pluie) et, surtout, 166 mm à Trets pour 19 jours de pluie! Cependant, les totaux journaliers n'ont pas dépassé, respectivement, 22,6 mm et 36,4 mm, les intensités horaires

maximas étant atteintes le 1^{er} juin avec 7,7 mm/h. A cette occasion, le ruisseau des Deux Aiguilles a connu sa première crue depuis le 4 avril, crue qui a affecté l'ensemble de son cours alors que la précédente s'était arrêtée à l'aval de la station 3. Cette crue du 1^{er} juin n'a cependant eu qu'une action étroitement limitée au chenal non encore totalement végétalisé de la station 3 qu'elle a entaillé de 0,5 cm. Les nombreuses autres crues du mois de juin n'ont eu aucune efficacité morphogénique.

Le rôle décisif du couvert végétal est prouvé également par le comportement du plunge-pool dont le bassin-versant reste encore peu protégé par les petits buissons qui ont repoussé et où les Graminées restent rares. Sans entrer dans le détail de l'évolution complexe de sa partie basse où accumulation et entaille se succèdent (comme en septembre 1991), on peut dire qu'il a réagi nettement lors des pluies du 1^{er} juin, mais aussi aux fortes pluies de la 3^e décade.

CONCLUSION

L'incendie d'août 1989 a provoqué une accélération considérable de l'érosion linéaire, même s'il est difficile de comparer avec la situation immédiatement antérieure. Cependant, la vitesse d'accumulation dans les talwegs, pendant l'année 1989-1990, est très supérieure à celles enregistrées dans la basse terrasse holocène préhistorique (0,25 à 0,6 mm/an) ou dans la très basse terrasse postérieure au Haut-Empire Romain (Ballais, Crambes, 1992). Dans le cas du ruisseau de Roque Vaoutade, la très basse terrasse s'est accumulée à une vitesse minimum de l'ordre de 1 mm/an, soit 650 fois moins vite que l'accumulation postérieure à l'incendie !

De la même façon, et toujours sur ce même ruisseau, la vitesse d'entaille, en 1990-1991, est tout aussi spectaculairement supérieure à celle de l'entaille de la très basse terrasse postérieure au Haut-Empire Romain: 1000 mm/an contre 2 mm/an ! La même comparaison ne peut être faite, sur le ruisseau des Deux-Aiguilles, où la très basse terrasse n'est pas datée.

Ainsi, même si, compte-tenu de la répartition très particulière des pluies en 1989-1990, aucune catastrophe ne mettant en péril des biens ou des infrastructures ne s'est produite, comme nous pouvions le craindre, l'accélération de la morphogénèse est considérable. Cependant, après un an à peine, il était possible de penser à une stabilisation rapide de la morphogénèse, d'autant que les précipitations restent inférieures aux normales depuis 1989. Cependant, la crue exceptionnelle de septembre 1991 montre que cette stabilisation reste imparfaite et qu'il faudra probablement, comme en Californie (Vega, Diaz-Fiernos, 1987), attendre au moins 4 ou 5 ans pour retrouver une morphogénèse comparable, dans son sens et son intensité, à celle d'avant le 28 août 1989.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BACCOUCHE N., 1990. – *La forêt du massif de Sainte-Victoire et les incendies: le cas de l'incendie de 1989*, Mémoire de DEA, Univ. Aix-Marseille II, 79 p., ronéot.
- BALLAIS J.-L., CRAMBES A., 1992. – Morphogenèse holocène, géosystèmes et anthropisation sur la montagne Sainte-Victoire, *Méditerranée, Aix-en-Provence*, 1.2, pp. 29-41.
- BALLAIS J.-L., BOSCH M.-C., SANDOZ A., 1992. – La morphogenèse sur la Sainte-Victoire après l'incendie: l'exemple du ruissellement (1989-1992), *Méditerranée, Aix-en-Provence*, 1.2, pp. 43-52.
- CLAUZON G., VAUDOURE J., 1969a. – Dynamique récente d'un versant en Basse-Provence, *Méditerranée, Aix-en-Provence*, 4, pp. 353-370.
- CLAUZON G., VAUDOURE J., 1969b. – Observations sur les effets de la pluie en Provence, *Z. für Geom.*, Berlin, N.F., 13, 4, pp. 390-405.
- CLAUZON G., VAUDOURE J., 1971. – Ruissellement, transports solides et transports en solution sur un versant aux environs d'Aix-en-Provence, *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn.*, Paris, XIII, 5, pp. 489-503.
- CRAMBES A., SANDOZ A., 1991. – *Histoire morphoclimatique récente et dynamiques actuelles sur le piémont sud du massif de la Sainte-Victoire*, Mém. de Maîtrise, Univ. Aix-Marseille II, 153 p. + annexe, ronéot.
- GIOVANNINI G., 1987. – Effect of fire and associate heating wave on the physicochemical parameters related to the soil potential erodibility, *Ecologia Mediterranea*, Marseille, XIII, 4, pp. 111-117.
- JORDA M., PROVANSAL M., 1992. – La montagne Sainte-Victoire. Structure, relief et morphogenèse antérieure au Postglaciaire, *Méditerranée, Aix-en-Provence*, 1.2, pp. 17-28.
- VAUDOURE J., MARTIN C., COVO J., 1988. – Premières données hydrochimiques sur le Bayon dans les environs du barrage travertineux de la cascade de Saint-Antonin (B.-du-R.), *Travaux 1988 UA 903, Aix-en-Provence*, XVII, p. 163-178.
- VAUDOURE J., COVO J., 1991. – Un cycle de mesures hydrochimiques sur le Bayon en année sèche et après l'incendie de la Sainte Victoire du 28 août 1989, *Travaux UA 903 du CNRS, Aix-en-Provence*, XX, pp. 37-46.
- VEGA J.A., DIAZ-FIERNOS F., 1987. – Wildfire effects on soil erosion, *Ecologia Mediterranea, Aix-en-Provence*, XIII, pp. 119-125.