

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

1.1. Situation générale

Le Verdon est une rivière du Sud-Est de la France qui se jette en rive gauche de la Durance. Nous étudions la partie amont de son bassin versant, au-dessus de Saint André les Alpes. Le Verdon s'écoule alors dans les Alpes de Haute Provence.

Son bassin versant à Saint André a une surface de 562 km². Sa vallée est orientée Nord-Sud, encadrée de montagnes assez élevées (point culminant : le mont Pelat 3051 mètres).

Commandée par le Syndicat Mixte de Préfiguration du Parc Naturel Régional du Verdon, cette étude a pour objet de mieux connaître cette rivière, le milieu dans lequel elle s'intègre, son fonctionnement lors des crues, les risques d'inondation ou d'érosion liés au Verdon en amont de St André et à ses principaux affluents.

Ces préoccupations ont été brutalement remises à l'ordre du jour après la crue de novembre 1994 particulièrement dévastatrice sur ce bassin.

1.2. Démarche retenue

La première partie de l'étude consiste à établir un schéma de fonctionnement du Verdon et de ces affluents et de dresser un bilan de la situation actuelle. Cette analyse est conduite à partir des étapes suivantes :

1. **Analyse des débits de crue.** Cette première étape nécessite l'observation des précipitations locales et leur répartition sur le bassin versant. Une seconde étape consiste à critiquer et analyser les mesures de débits effectuées sur le bassin versant. Enfin, une analyse historique permet de valider les études statistiques.
2. **Détermination des apports solides.** Cette seconde étape nécessite l'analyse des principaux affluents (érosion dans le bassin versant, profil en long, granulométrie, régulation sur le cône de déjection) afin de déterminer les apports de matériaux au Verdon. De même, les principales zones érodées par le Verdon sont répertoriées. D'autre part, la capacité de transport le long de la rivière est déterminée à partir des débits liquides, de la pente représentative du transport solide, de la taille des matériaux, du tri granulométrique...
3. **Une simulation numérique des écoulements, mais surtout des évolutions du lit** lors des crues est alors possible. Elle permet, après croisement avec l'analyse de terrain, de déterminer les zones potentiellement inondables. D'autre part, l'observation du lit du Verdon et de ses principaux affluents permet de mettre en évidence les principaux risques d'érosion des berges.
4. Enfin, une **analyse du milieu naturel** est réalisée. Elle permet de mettre en évidence l'interaction entre la rivière et le milieu riverain. Une étude détaillée de l'état de la ripisylve a été menée. Elle est complétée par une analyse de l'état actuel de la ripisylve et par la définition du besoin en entretien.

La seconde partie de l'étude fournit des propositions de gestion de la rivière incluant les différentes contraintes :

1. **La vocation de l'espace riverain**, tronçon par tronçon, est définie en fonction des différentes contraintes et en concertation étroite avec les riverains.
2. **Les aménagements souhaitables** sont ensuite définis, commune par commune en précisant les enjeux défendus et le degré d'urgence de ces interventions.
3. **Un programme d'entretien de la ripisylve** est proposé et chiffré.
4. **L'opportunité de plans d'alerte** et d'évacuation des zones inondables est étudiée.

2. ANALYSE DES PRECIPITATIONS

2.1. Objectif

On cherche ici à connaître les précipitations représentatives de l'ensemble du bassin versant du Haut Verdon, mais aussi leur répartition spatiale afin de préciser, en particulier pour les affluents, les risques de fortes crues dans chaque zone.

Cette analyse spatiale est conduite à partir de pluviomètres (mesures des précipitations journalières). Dans une seconde étape, les pluviographes proches du bassin versant permettront de préciser les précipitations à faible pas de temps, dont la connaissance est indispensable pour l'étude des torrents affluents.

2.2. Etudes des pluies journalières

2.2.1. Données disponibles

Nous avons à notre disposition les pluies de dix stations pluviométriques réparties sur le bassin versant du Verdon et ses alentours. Les données disponibles sont les maxima journaliers mensuels sur toute la période d'exploitation. D'autre part nous disposons de pluies journalières (pour les stations de l'Ubaye et du Verdon) ou par périodes de dix jours pour les postes des Alpes Maritimes pendant les deux mois qui précèdent les deux crues les plus importantes de ces vingt dernières années : Octobre 1979 et Novembre 1994. Les caractéristiques sur les postes figurent dans le tableau suivant :

Bassin versant du	Nom du poste	Altitude	Période d'exploitation
Verdon	Saint André	895 m	1961-----1995
Verdon	Lambuisse	1125 m	1961-----1995
Verdon	Thorame	1130 m	1961----1970 1982-----1995
Verdon	Allos	1450 m	1961-----1995
Ubaye	Uvernet	1660 m	1961-----1995
Var	Entrevaux	500 m	1966-----1995
Var	Guillaumes	1670 m	1961-----1995
Var	Entraunes	1260 m	1961-----1995
Var	Estenc	1650 m	1985-----1995
Tinée	Saint Dalmas	1510 m	1961-----1995

2.2.2. Répartition spatiale

Nous pouvons avoir une idée des relations entre les différentes stations pluviométriques étudiées en analysant les coefficients de corrélation simple entre deux stations. Ceci nous permettra de préciser le fonctionnement du bassin versant. Pour cela nous pouvons procéder en deux étapes. La première analyse la valeur des coefficients de corrélation sur toute l'année. La seconde considère les valeurs mois par mois pour tenir compte de la spécificité de chaque saison.

2.2.2.1. Analyse sur l'année

Les séries de données sont constituées des maxima mensuels de tous les mois, pour toutes les années disponibles. Les coefficients de corrélation obtenus donnent une idée des relations entre les stations. Ils sont reportés dans le tableau suivant :

	Uvernet	S ^t André	Lambruisse	Entrevaux	Allos	S ^t Dalmas	Entraunes	Guillaumes	Thorame
Uvernet		0.55	0.62	0.55	0.82	0.77	0.76	0.72	0.75
S ^t André			0.71	0.66	0.62	0.61	0.58	0.68	0.81
Lambruisse				0.72	0.69	0.67	0.71	0.73	0.79
Entrevaux					0.63	0.66	0.69	0.72	0.71
Allos						0.75	0.78	0.80	0.83
S ^t Dalmas							0.81	0.77	0.75
Entraunes								0.81	0.78
Guillaumes									0.79
Thorame									

Ces résultats permettent de former trois grands groupes de stations :

1. **Allos, Uvernet, S^t Dalmas, Entraunes et Guillaumes.** Les corrélations sont bonnes. On retrouve tous les pluviomètres d'altitude assez élevée. Le poste de Guillaumes présente les caractères précédents bien que son altitude (1200 m) soit modérée, le village étant entouré de montagnes assez hautes. Les stations d'altitude ont donc un comportement homogène par rapport à la pluviométrie.
2. **Lambruisse, Saint André, Entrevaux.** Il s'agit des stations de "plaine". Ce sont les trois stations les plus en aval dans le bassin versant. Elles ne sont pas particulièrement bien corrélées entre elles. En revanche, elles le sont très peu avec les stations du haut bassin. Elles ont toutes les trois un fonctionnement différent, mais qui se distingue nettement de celui du haut bassin versant.
3. **Thorame.** Cette station¹ est assez bien corrélée avec toutes les autres stations. Cela correspond bien à sa position géographique centrale dans le bassin versant. Parfois elle est sous la même influence que celle des stations de l'amont, parfois plutôt sous la même que celle de l'aval suivant l'extension des précipitations.

¹ Il faut toutefois être prudent sur les interprétations des données de cette station. Nous avons moins d'années de mesures que pour les autres pluviomètres. Ici les résultats sont tout de même intéressants.

2.2.2.2. Analyse mois par mois

La même analyse que précédemment, mais conduite pour chaque mois de l'année permet de mettre en évidence l'évolution de la répartition spatiale suivant la saison. Cette analyse conduit à deux conclusions :

1. En automne (mois de septembre, octobre et novembre) les pluviomètres sont presque toujours très bien corrélés. Ceci signifie que les pluies se produisent uniformément sur tout le bassin versant. L'automne est en effet souvent marqué par de grandes dépressions océaniques ou méditerranéennes. C'est une saison propice aux crues importantes du Verdon puisque tout le bassin versant participe alors à la crue.
2. En été, au contraire, les corrélations sont très mauvaises entre toutes les stations. Cela correspond aux orages, qui peuvent ne concerner qu'une ou deux stations pluviométriques. Par contre, les averses violentes peuvent générer des crues sur les torrents, plus sensibles à des précipitations courtes et intenses.

Ainsi, le haut bassin versant forme un ensemble assez homogène qui subit généralement le même climat, sauf pendant l'été. Les caractéristiques des stations changent quand on se déplace vers l'aval. Elles sont plus marquées par le climat méditerranéen.

2.2.3. Etude des pluies extrêmes

2.2.3.1. Méthode utilisée

Le but de l'étude des pluies est de déterminer les pluies de temps de retour élevés (dix ans, cent ans). Pour chacun des postes, un ajustement à la loi de Gumbel permet de déterminer la pluie journalière décennale et le gradex. La relation établie est alors la suivante :

$$P_T = P_{T_0} + g \left[-\ln \left(-\ln \left\{ \frac{T-1}{T} \right\} \right) + \ln \left(-\ln \left\{ \frac{T_0-1}{T_0} \right\} \right) \right] \dots\dots\dots (1)$$

Avec

- P_T Pluie de période de retour T
- P_{T_0} Pluie de période de retour T_0
- g Gradex de la pluie (mm)

Ces calculs sont effectués pour les maxima annuels et pour les saisons de plus fort gradex. Selon les stations, la période de fortes précipitations est l'automne (de septembre à novembre) ou "l'hiver" (de septembre à janvier). La figure suivante illustre ces résultats sur l'année et en automne pour la station d'Allos :

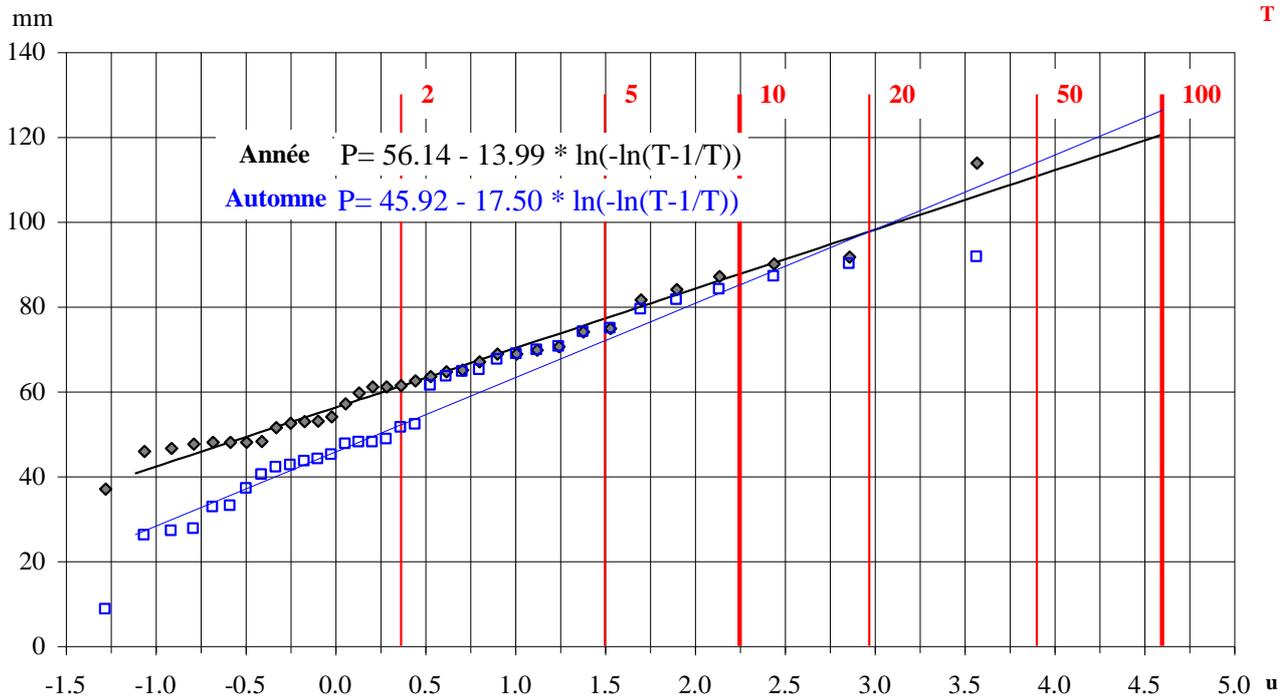


Figure 1 : Ajustements des pluies à Allos

De même la figure suivante correspond à la station de S^t André :

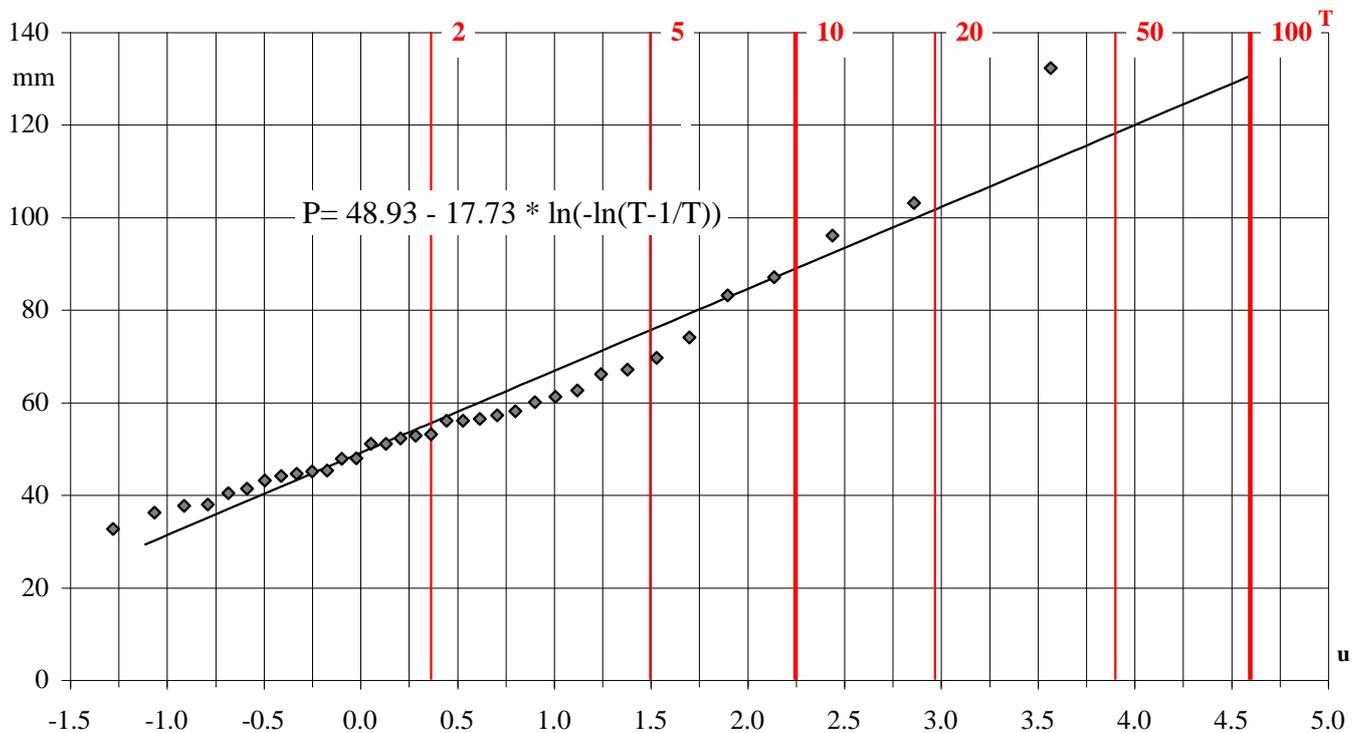


Figure 2 : Ajustements des pluies à S^t André.

On observe sur cette figure une rupture assez nette pour des périodes de retour supérieures à 5 ans. Cette rupture s'explique par un régime de précipitation plus intense qui n'apparaît qu'exceptionnellement (2 à 3 fois par décade en moyenne).

Ces précipitations plus rares engendrent les plus fortes crues. Il est donc nécessaire, dans un tel cas, de prendre en compte ces précipitations pour les crues extrêmes. On est donc conduit à réaliser un nouvel ajustement en deux parties, comme le montre la figure suivante :

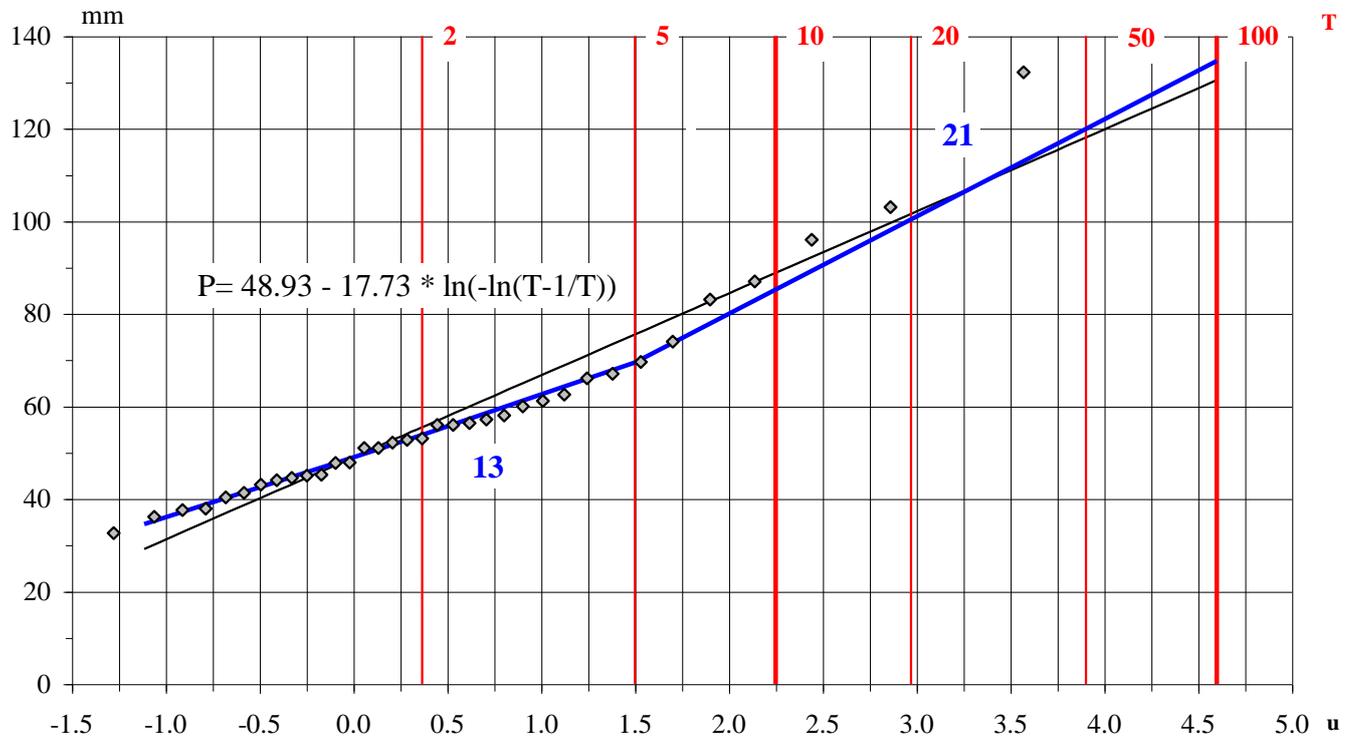


Figure 3 : Ajustement en deux parties sur le poste de S^t André.

Ce type de "cassure", fréquemment observée dans le Sud-Est, n'est observable que pour trois stations situées au sud du bassin versant. Le tableau ci-dessous indique les gradex "moyens" relevés sur ces postes et les gradex correspondant aux différents ajustements :

	Moindres carrés (ajustement unique)	Ajustement pluies extrêmes
Saint André	17.7	21
Entrevaux	19.2	20
Entraunes ²	29.3	30

² L'ajustement sur les trois derniers points conduit à un gradex de 67 mm, ce qui semble très excessif pour cette station. On a retenu, en confrontant avec les résultats sur les autres stations un gradex de 30 mm, ce qui est déjà une valeur très importante.

2.2.3.2. Résultats

Le tableau suivant regroupe les résultats obtenus pour toutes les stations. On a indiqué la saison conduisant au gradex le plus important et repéré les postes pour lesquels l'ajustement est réalisé sur deux segments.

Station	P10	Gradex	Saison
Uvernet	101	23.6	Automne
Allos	88	17.5	Automne
Thorame	90	16.5	-
Lambruisse	78	15.0	Hiver
Saint André	88	21.0	Deux segments
Saint Dalmas	118	29.4	Automne
Estenc	93	20.9	Hiver
Entraunes	115	30.0	Deux segments
Guillaumes	83	17.2	Automne
Entrevaux	98	20.0	Deux segments

Pour affiner l'étude de la répartition spatiale des pluies, notamment au franchissement des axes montagneux, les résultats ont été rangés selon des axes Nord-Sud, ou Est-Ouest. Rappelons que les pluies sont toujours plus abondantes sur les versants situés après les crêtes, par rapport au passage du nuage. Les figures suivantes montrent bien cette évolution.

La figure ci-dessous représente les stations pluviométriques selon deux axes Nord-Sud : la vallée du Verdon et la vallée du Var (à laquelle nous rajoutons S^t Dalmas).

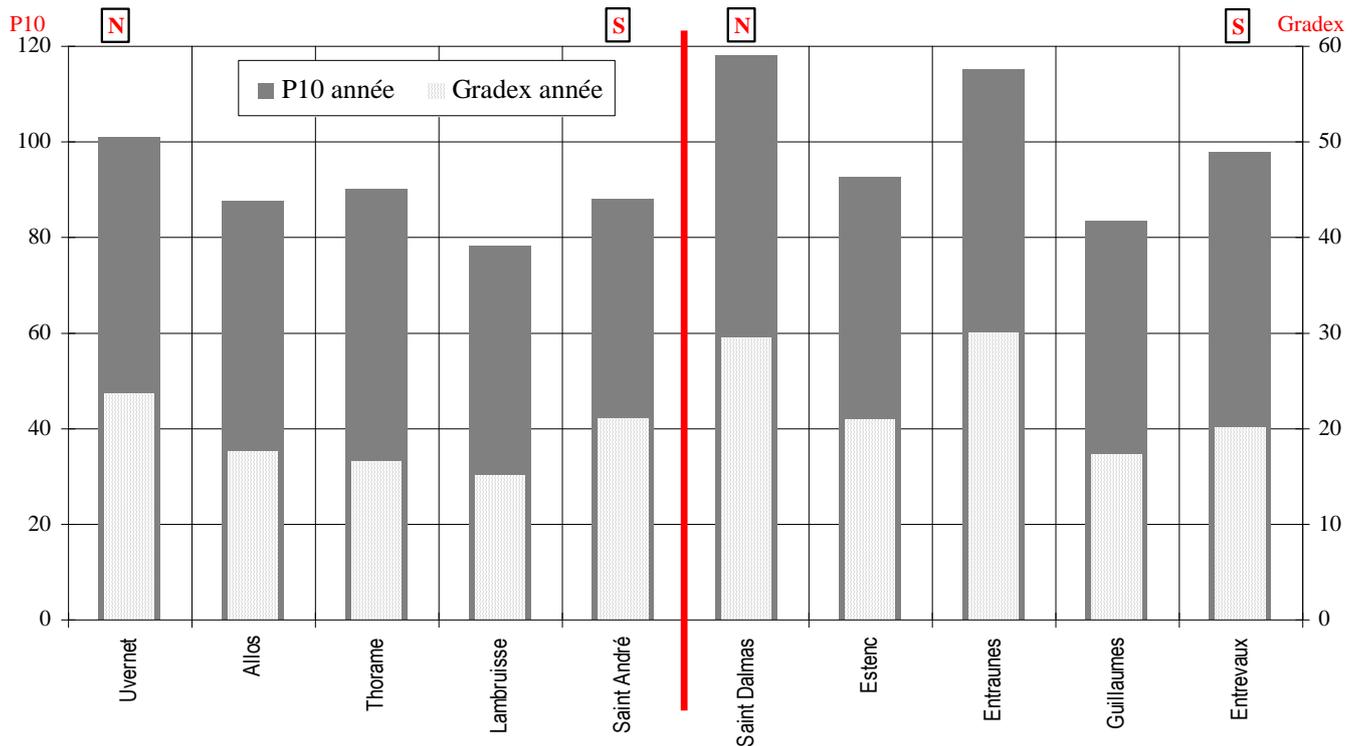


Figure 4 : Evolution des précipitations extrêmes suivant un axe Nord-Sud

Ce graphique conduit aux résultats suivants pour les deux vallées :

1. **Dans la vallée du Verdon**, l'évolution du nord au sud est perceptible. Il pleut plus et de façon plus intense (gradex plus fort) aux stations d'altitude qu'aux stations de "plaine", ceci surtout en automne. Les stations du haut bassin sont en effet plus exposées aux pluies, lorsque celles-ci sont assez généralisées, car elles sont entourées de crêtes élevées. L'évolution est moins nette pour les caractéristiques annuelles car les orages d'été interviennent alors. Ceux-ci peuvent être aussi violents en altitude que dans le bas du bassin.
2. **Dans la vallée du Var**, l'évolution est moins marquée. Toutefois, si l'on exclut Estenc, station pour laquelle nous disposons d'une dizaine d'années de mesures seulement, nous pouvons distinguer le même phénomène que celui qui se produit dans la vallée du Verdon.

Il est intéressant de regarder aussi l'évolution Ouest - Est, car un grand nombre de crêtes sont orientées Nord-Sud et provoquent des disparités selon les vallées. La figure présente les mêmes résultats suivant un axe Ouest-Est :

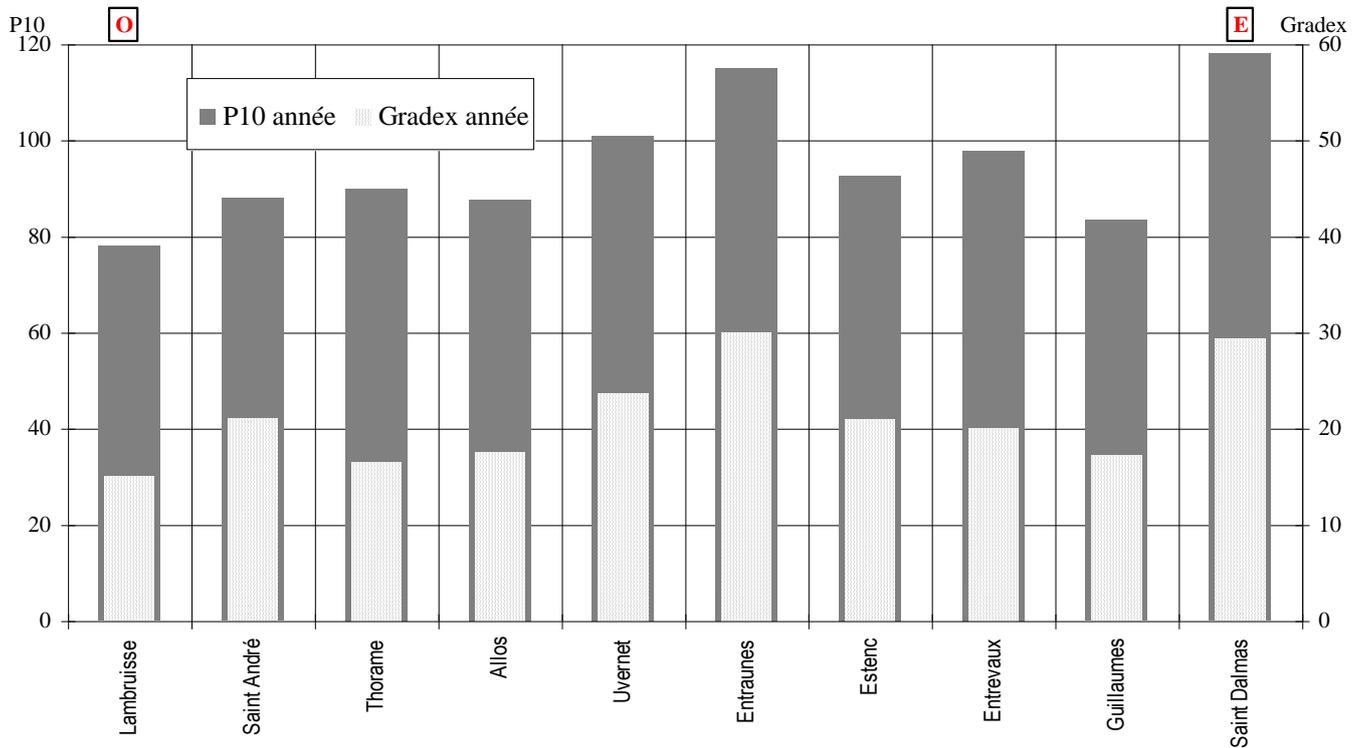


Figure 5 : Evolution des précipitations extrêmes suivant un axe Ouest - Est.

Sur cet axe, nous pouvons expliquer, mieux que sur le précédent graphique, les fortes pluies d'Entraunes. En effet, Entraunes est situé entre deux axes montagneux Nord-Sud et reçoit de ce fait des pluies plus abondantes. Lambruisse et Saint André sont aussi proches de crêtes, mais qui sont à des altitudes plus modestes (inférieures à 1500 mètres). L'influence du relief est donc moindre.

2.3. Pluies à faibles pas de temps

2.3.1. Méthodologie

Les résultats précédents doivent pouvoir être extrapolés pour des pas de temps différents de la journée. Pour cela, nous avons combiné deux analyses :

- L'étude de stations pluviographiques qui permettent une analyse des faibles pas de temps. Pour cela, nous avons retenu les postes de St Auban (vallée de la Durance) géré par Météo France et de Draix (haute Bléone), les données de cette dernière station nous ayant été communiquées par le CEMAGREF de Grenoble. Cette analyse est essentiellement destinée à analyser la décroissance de la pluie en fonction de sa durée (coefficient b de la loi de Montana).
- L'extrapolation des résultats de l'analyse de l'évolution des précipitations en fonction de leur durée. Cette étude³, menée en 1982 dans le Sud Est de la France, concerne la quasi-totalité des stations du bassin versant, mais est limitée à l'analyse des précipitations de 1 à 10 jours.

2.3.2. Analyse des postes pluviographiques

La station météo de **St Auban** est située dans la vallée de la Durance. On utilise ici un traitement réalisé par Météo France correspondant à 16 années d'observations à des pas de temps centrés de 6 mn à 24 h.

La station de **Draix** n'est située qu'à quelques kilomètres du bassin versant du haut Verdon, dans une zone de relief modérée. Elle est - a priori - plus représentative des stations étudiées.

La méthode employée consiste à ajuster, comme précédemment, une loi de Gumbel à l'échantillon pour chaque durée de pluie.

Les courbes intensité - durée - fréquence ont été déterminées et un ajustement a été conduit sur la relation entre pluie et durée à partir des courbes Intensité-Durée-Fréquence. On a retenu la formule suivante qui permet de prendre en compte la concavité du nuage de point :

$$P = \frac{ad}{d+c} \dots\dots\dots (2)$$

- P Précipitation en mm
- d Durée de la pluie en heure
- a,b,c Paramètres d'ajustement.

De même pour le Gradex (en mm) :

$$g = \frac{a'd}{d+c'} \dots\dots\dots (3)$$

³ CEMAGREF - Ministère de l'agriculture - 1982 - Analyse des fortes pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes du Sud-Est de la France.

Les ajustements réalisés sur les pluies décennales et sur le Gradex sont illustrés sur la figure suivante :

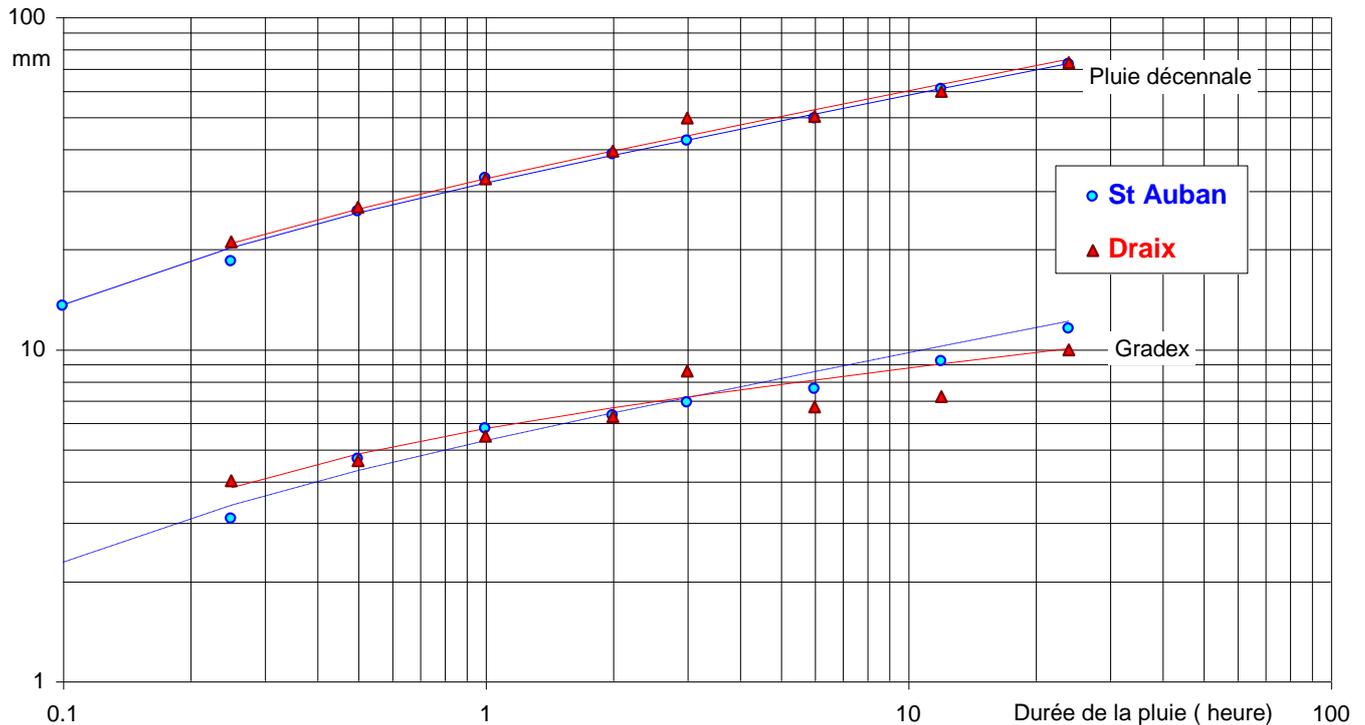


Figure 6 : Ajustement sur les pluies de S^t Auban et Draix.

Il semble que les précipitations durant trois heures relevées à Draix correspondent mal à l'ajustement. Cette particularité doit être attribuée à la faible période de mesure disponible (8 ans). De même, la relative dispersion sur les gradex du poste de Draix est vraisemblablement liée à la taille réduite des échantillons.

La différence entre les deux stations de mesures est particulièrement faible malgré l'éloignement des deux postes. Les paramètres sont les suivants :

	a	b	c	a'	b'	c'
S ^t Auban	33	0.75	0.05	5.5	0.75	0.05
Draix	34	0.75	0.05	6.3	0.85	0.10

Pour obtenir des paramètres représentatifs des précipitations sur le bassin versant du haut Verdon, il est nécessaire de refaire un ajustement en considérant :

- Que les pluies journalières restent conformes au choix précédent réalisé à partir de l'étude sur la répartition spatiale des pluviomètres.
- Que le coefficient b est un peu plus faible dans le bassin versant qu'aux deux stations, le relief y étant nettement plus marqué, même à proximité du lac de Castillon. En effet, en montagne, les précipitations de faible durée ne sont pas nécessairement les plus fortes, par contre, elles sont susceptibles de durer plus longtemps.

Notons que, pour notre analyse, le coefficient c est sans importance car seules les durées de pluies supérieures à 3 heures sont nécessaires pour notre étude hydrologique.

2.3.3. Analyse des postes du bassin versant

L'analyse des fortes pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes du Sud-Est de la France fournit les ajustements des pluies de 1, 2, 3, 4, 6 et 10 jours sur les pluviomètres d'Uvernet, Allos, Lambruisse, Saint André, Entraunes et Guillaumes. Nous connaissons donc les valeurs des pluies décennales et centennales pour différentes durées. Nous utilisons l'ajustement de Montana :

$$P_T = a \times t^{1-b} \dots\dots\dots(4)$$

Les coefficients a et b ont été réajustés afin de prendre en compte les ajustements précédents (basés sur 14 années de mesures supplémentaires). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Station	Pluie décennale		Pluie centennale	
	a	b	a	b
Uvernet	91.9	0.72	159	0.70
Allos	89.3	0.67	129	0.62
Thorame	91.7	0.67	132	0.64
Lambruisse	78.1	0.67	113	0.64
Saint André	88.1	0.68	156	0.65
Entraunes	118.5	0.67	217	0.64
Guillaumes	83.5	0.67	119	0.65

Ces résultats sont parfaitement cohérents avec les mesures réalisées sur les pluviographes (S^t Auban et Draix).

3. DETERMINATION DES DEBITS DE CRUE

3.1. Postes de mesure dans le bassin versant

3.1.1. Description des stations

Cinq stations de jaugeage sont réparties sur le bassin versant du Verdon à Saint André. Trois d'entre elles sont gérées par la DIREN P.A.C.A. : les données complètes nous ont été communiquées. Ce sont les stations de la Foux d'Allos sur le Verdon, Allos sur le Chadoulin, et de Saint André sur l'Issole. Nous disposons des débits moyens journaliers, des maxima mensuels de ces débits journaliers, et des maxima instantanés mensuels.

Les deux autres stations appartiennent à E.D.F. qui nous a communiqué les débits moyens journaliers sur une assez longue période. Nous avons aussi à notre disposition les hydrogrammes des crues de 1979, 1993 et 1994 pour ces stations, ainsi que sur le Verdon les hydrogrammes de novembre 1994 à Saint André et d'octobre 1979 à Castillon, et enfin le limnigramme de novembre 1994 à Colmars. Le tableau suivant regroupe les caractéristiques des stations de mesure :

Rivière	Commune	Altitude	Remarques
Verdon (10.1 km ²)	Allos (La Foux)	1800 m	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 9 ans de données, ◆ Station très à l'amont dans le bassin versant. ◆ Impossibilité de réaliser des jaugeages en crue.
Chadoulin (34.6 km ²)	Allos	1414 m	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 12 ans de données. ◆ Détruite en septembre 94 (contournée). Station actuellement arrêtée.
Issole (137 km ²)	Saint André	938 m	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 62 ans de données. ◆ Station très ancienne et bien placée. ◆ C'est la seule station assez fiable dans le bassin versant.
Verdon (158 km ²)	Colmars	1230 m	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 36 ans de données. ◆ Risque d'engrèvement en cas de crue de la Lance
Verdon (569 km ²)	S ^t André	881 m	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 8 ans de données disponibles, mais mesures sur une période nettement plus longue. ◆ Détarages importants de la station d'après EDF. ◆ Extrémité aval de la zone d'étude, en amont immédiat du lac de Castillon. Station très bien corrélée avec la mesure des niveaux dans la retenue.

3.1.2. Critique des données

Dans les rivières torrentielles, il est nécessaire de vérifier la validité des mesures effectuées en crue en analysant les courbes de tarage (relation hauteur-débit) des stations. Cette analyse n'est malheureusement possible que pour les données les plus récentes, en particulier les crues de 1979 et 1994.

La DIREN nous a communiqué les jaugeages qui sont effectués régulièrement au droit des stations de mesure de débits : la Foux, Allos (Chadoulin) et pont de Mourefrey (Issole). Ceux-ci sont très rarement réalisés en crue, ce qui rend hasardeuse l'extrapolation des débits de crue. Il est donc nécessaire d'ajuster des lois hydrauliques sur ces points de mesure pour limiter les erreurs d'extrapolation.

Par contre, on ne connaît pas les courbes de tarage des stations EDF (Colmars et St André).

3.1.2.1. Haut Verdon à la Foux

La courbe de tarage fournie par la DIREN est bien ajustée aux jaugeages, mais elle est fondée ensuite sur une extrapolation linéaire du débit en fonction de la hauteur. Nous avons donc modifié cette courbe par le recours à un calcul hydraulique.

Nous pouvons utiliser deux méthodes différentes :

1. la loi de Strickler,
2. le nombre de Froude en considérant qu'il est égal à 1 (écoulement critique), c'est à dire $v^2 = gh$.

Pour le Verdon à la Foux, l'ajustement optimal est obtenu en prenant la formule de Strickler avec les hypothèses suivantes :

- largeur proportionnelle à la hauteur ($L = 10 h$),
- pente 6 %,
- fond du lit à la cote 11 cm de l'échelle,
- coefficient de Strickler égal à 20.

La courbe de tarage a donc l'équation suivante :

$$Q = 15 \times h - 0.11 h^{8/3} \dots\dots\dots (5)$$

Notons que la courbe de tarage traduit une très faible sensibilité aux variations de débit et que pour l'étude des crues, une forte extrapolation est nécessaire par rapport aux débits jaugés. Cette station ne fournit donc qu'un ordre de grandeur des débits de crue.

La courbe ainsi obtenue est indiquée à la figure suivante :

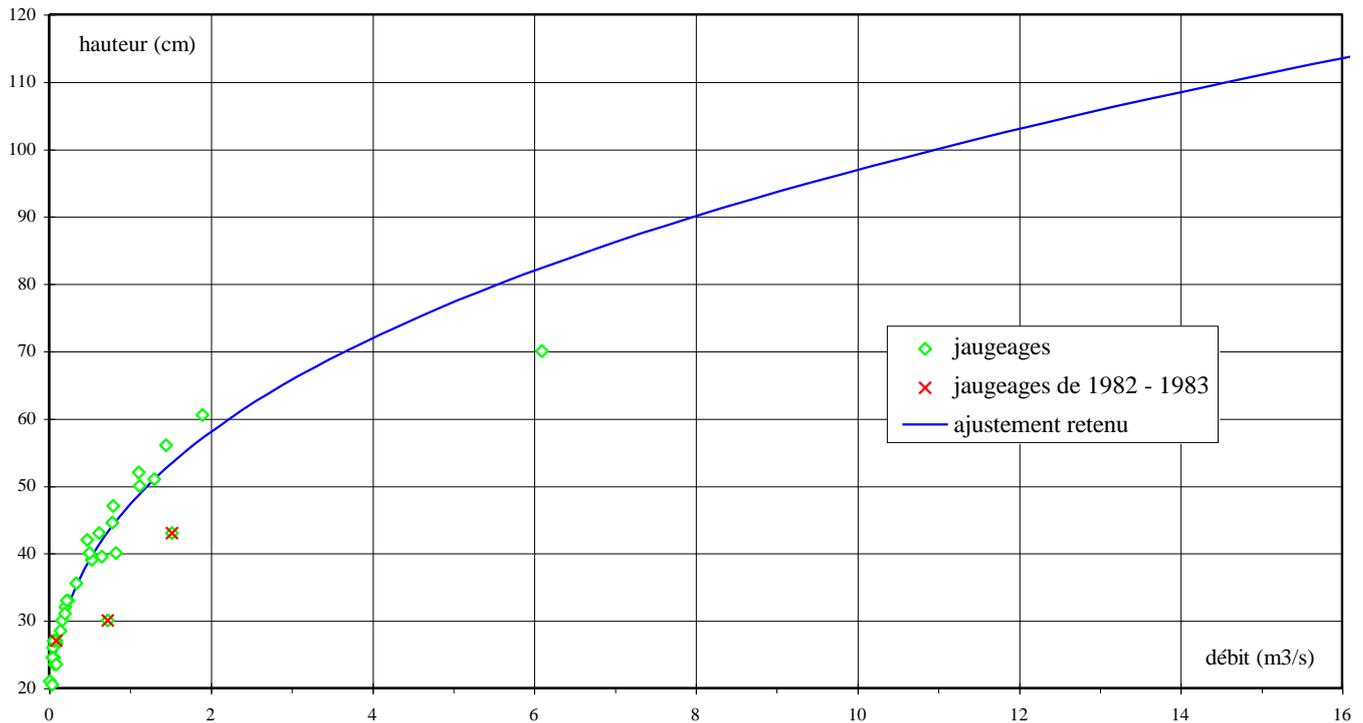


Figure 7 : Courbes de tarage de la station du Verdon à la Foux.

3.1.2.2. Chadoulin à Allos

La station d'Allos ne sera utilisée que pour la crue de 1979. Elle a, en effet, été contournée pendant la crue de novembre 94. De plus, le lit a été recalibré, la largeur est désormais trop importante pour obtenir des mesures satisfaisantes.

Pour la crue de 1979, le meilleur ajustement est obtenu en considérant que l'écoulement est critique au droit de la station. La largeur est d'environ 5 mètres. Nous estimons que le fond est à la cote 0.3 mètre. L'équation de la courbe de tarage est :

$$Q = 15.7 h - 0.3 \sqrt[3]{2} \dots\dots\dots (6)$$

3.1.2.3. Issole au Pont de Mourefrey

Les jaugeages effectués au Pont de Mourefrey sont assez nombreux, mais nous n'avons qu'un seul point de débit supérieur à 10 m³/s. Ceci rend difficile toute utilisation de la courbe en période de crue. La courbe de la DIREN est dans ce cas aussi linéaire pour les fortes valeurs. Le meilleur ajustement est réalisé avec la loi de Strickler avec les hypothèses suivantes :

- largeur de 14 mètres supposée grande devant la hauteur,
- fond du lit à la cote 0.4 m de l'échelle,
- pente de 1.2 %,
- coefficient de Strickler : 25.

La courbe de tarage a ainsi l'équation suivante :

$$Q = 38h - 0.4 \sqrt[5]{3} \dots\dots\dots (7)$$

La figure suivante illustre les résultats ainsi obtenus :

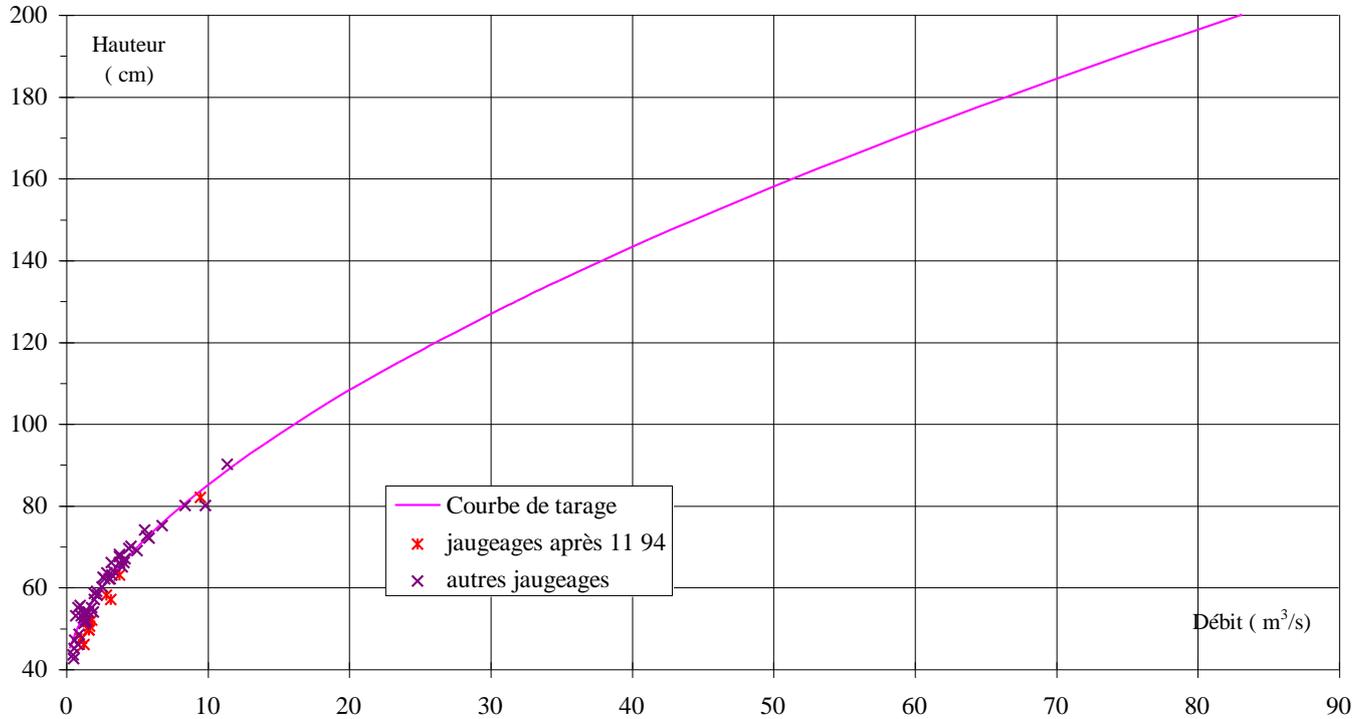


Figure 8 : Courbe de tarage de L'Issole au Pont de Mourefrey.

On remarque que la crue de 1994 a vraisemblablement causé un enfoncement du lit - et donc de la ligne d'eau - de quelques centimètres.

3.1.3. Traitement statistique des données des stations de jaugeage

Le but de cette étude statistique des débits est de trouver le débit décennal à la station. De même que les pluies, les débits extrêmes obéissent souvent à une loi de Gumbel pour des périodes de retour de l'ordre de 10 ans. Le débit centennal sera ensuite calculé au moyen de la méthode du Gradex.

Nous allons donc ajuster cette loi aux débits des trois stations de la DIREN, et ceci pour les maxima annuels des débits moyens journaliers, et les débits instantanés.

La figure suivante indique un tel résultat pour la station sur l'Issole (débits instantanés seuls) :

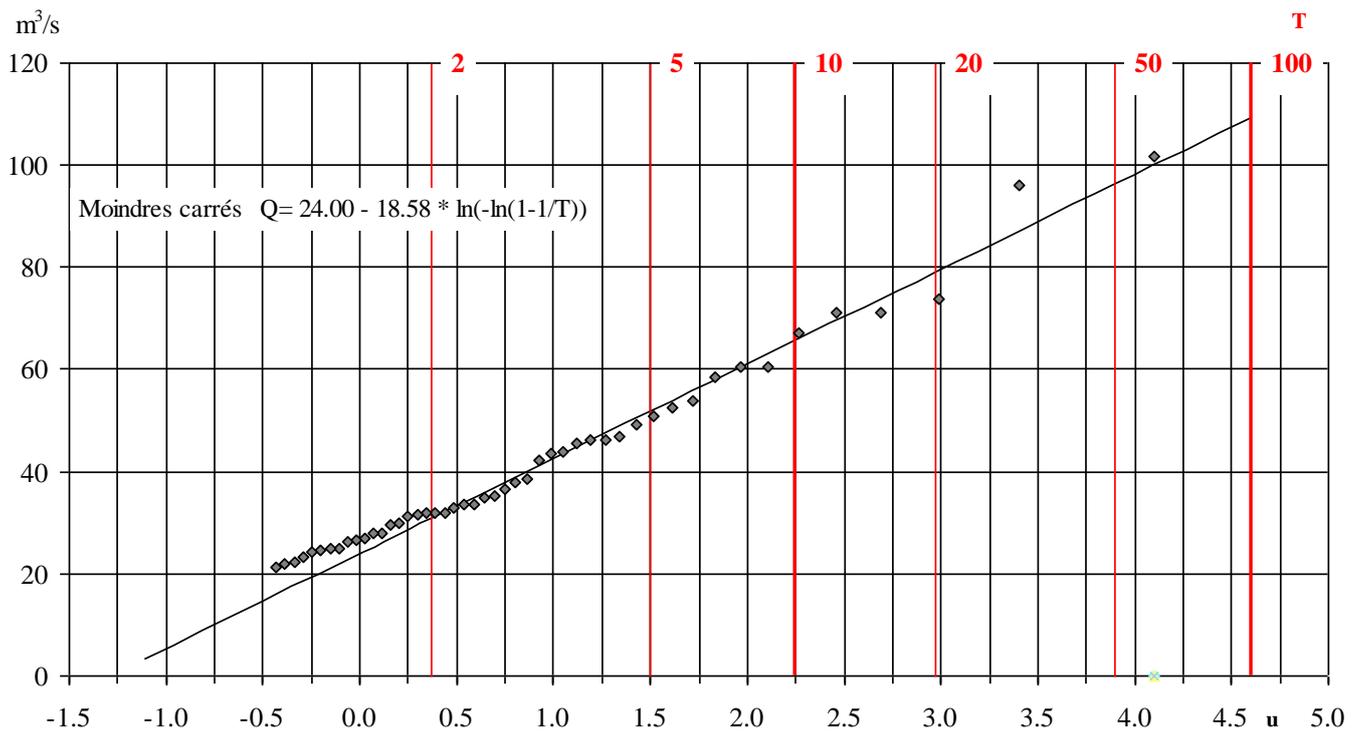


Figure 9 : Ajustement sur les débits mesurés sur l'Issole.

De même, la figure suivante indique le même ajustement sur le haut Verdon à la Foux :

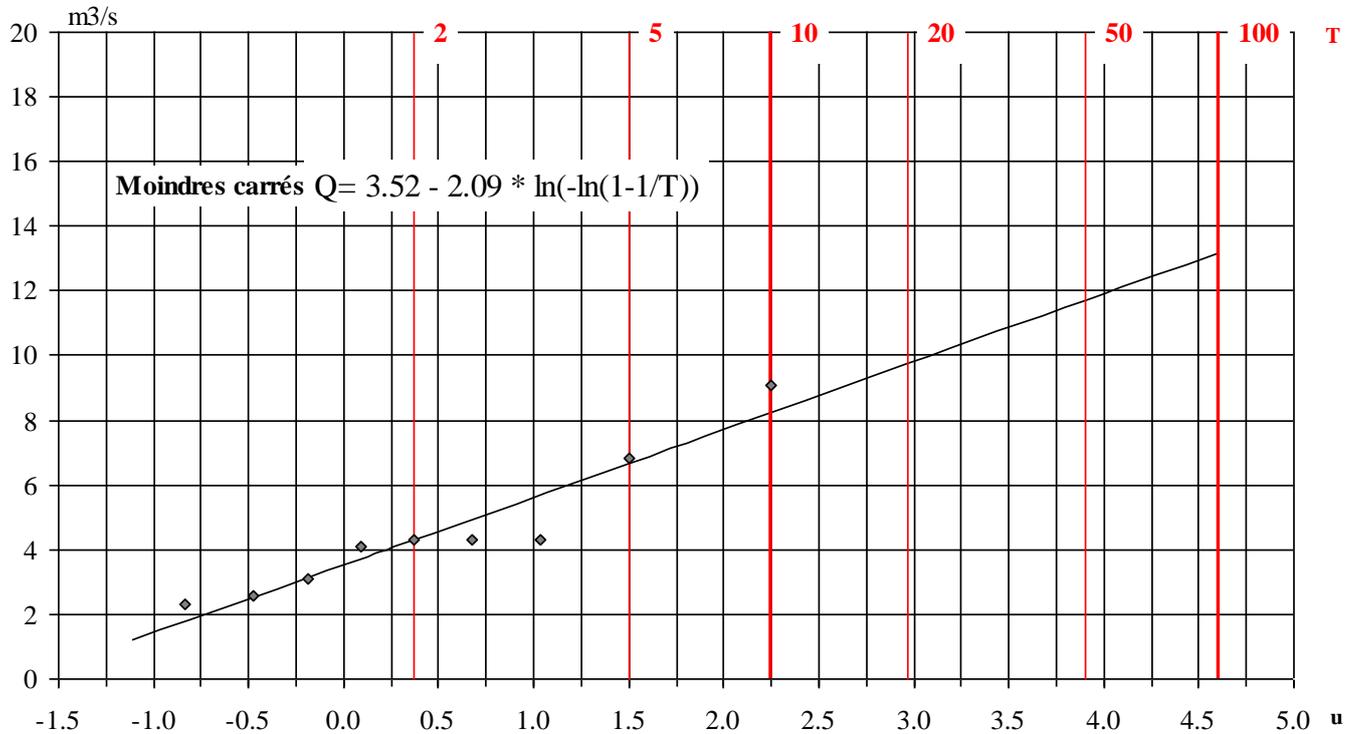


Figure 10 : Ajustement sur les débits mesurés sur le haut Verdon.

Comme nous pouvons le voir à la lumière de ces deux ajustements, il est difficile d'accorder la même confiance aux résultats des deux stations, la période de mesure sur l'Issole étant nettement plus importante.

Les valeurs mesurées à la Foux semblent particulièrement faibles, ce qui s'explique en partie par la faible durée des mesures sur ce poste. Ainsi, en se basant sur les autres mesures et sur les précipitations probables sur ce petit bassin versant de haute montagne, on considère un débit décennal instantané de 10 m³/s, soit un débit décennal journalier de 3.9 m³/s.

Pour le poste de Colmars, on utilise les résultats des ajustements d'EDF cités dans l'étude de l'estimation des crues extrêmes du Verdon à Castillon et à Chaudanne (1990).

Au pont de Méouilles, le même ajustement que précédemment a été réalisé, mais seulement sur les débits moyens journaliers, les valeurs instantanées n'étant pas disponibles. De plus, on ne dispose que de 8 années de mesures, ce qui est très insuffisant pour obtenir une estimation fiable du débit décennal. L'ajustement de Gumbel conduit au débit moyen journalier décennal de 100 m³/s, ce qui est très faible.

On préférera donc retenir l'estimation d'EDF, basée sur les relevés au barrage de Castillon (bassin versant de 655 km²) en considérant que le débit de crue est proportionnel à la surface du bassin versant à la puissance 0.75.

A partir des hydrogrammes au pont de Méouilles, EDF considère que le rapport du débit maximum instantané au débit moyen journalier est de 1.76. On a donc utilisé ce coefficient pour la détermination du débit instantané.

Les résultats obtenus sont reportés ci-dessous :

Station	Rivière	Surface de bassin versant (km ²)	débit décennal ajusté	
			Débit journalier (m ³ /s)	Débit de pointe (m ³ /s)
La Foux	Verdon	10.1	3.9	10
Allos	Chadoulin	34.6	11.4	24.2
Pont de Mourefrey	Issole	137	36	66
Colmars	Verdon	158	40	70
Pont de Méouilles	Verdon	569	152	260

3.2. Relation pluie-débit

3.2.1. Détermination du débit décennal (Adaptation de la méthode Crupédix)

Il est utile de pouvoir calculer les débits décennaux sur les sous-bassins versants non jaugés. Pour cela nous allons comparer la méthode Crupédix régionalisée aux résultats statistiques sur les bassins versants jaugés. La formule est la suivante :

$$Q_{10} = C_r \times S^{0.8} \times \left(\frac{P_{10}}{80} \right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

Cr est un coefficient régional que nous allons ajuster en fonction des résultats des stations de jaugeage.

Nous allons donc calculer par la méthode Crupédix (au coefficient Cr près) les débits décennaux au droit des stations de mesure.

Nous aurons besoin de définir une pluie ou un gradex pour un bassin versant contenant plusieurs stations pluviométriques. L'étude pluviométrique réalisée précédemment nous permet d'estimer une pluie représentative.

Nous utiliserons la méthode de Thiessen dans ses grandes lignes. C'est à dire qu'en première approximation nous prenons la station la plus proche. Puis nous ajustons en fonction du relief, des particularités du bassin versant.

Les pluies représentatives pour les différents postes de mesures sont les suivants :

⇒ **Verdon à la Foux.** Nous pouvons prendre les pluies d'Allos et Uvernet, avec des pondérations de 2/3 pour Allos et 1/3 pour Uvernet pour tenir compte de l'altitude plus élevée du bassin versant par rapport à Allos. Nous obtenons $P_{10} = 92$ mm.

⇒ **Chadoulin à la Foux.**

- 80 % station d'Allos
- 20 % station d'Entraunes

Ces valeurs conduisent à $P_{10} = 93.4$ mm.

⇒ **Issole au pont de Mourefrey.**

- 1/3 station de Thorame, représentative de l'amont,
- 1/2 station de Lambruisse, représentative du milieu du bassin versant,
- 1/6 station de Saint André pour la partie aval.

Nous prendrons donc $P_{10} = 83.7$ mm.

⇒ **Verdon à Colmars.**

- 80 % station d'Allos
- 20 % station d'Entraunes

Ces valeurs conduisent à $P_{10} = 93.4$ mm.

⇒ **Verdon au pont de Méouilles.**

- 30% station de Allos, représentative de l'amont,
- 30 % station de Thorame, représentative du milieu du bassin versant,
- 15 % station de Lambruisse représentative de milieu du bassin versant de l'Issole,
- 15 % station d'Entraunes représentative des affluents rive gauche en aval de Colmars,
- 10 % station de Saint André pour la partie aval.

Nous prendrons $P_{10} = 91.2$ mm.

Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

	Surface (km ²)	Pluie (mm)	Estimation Crupédix	Q ₁₀ ajusté	Cr
La Foux	10.1	92	8.4	10	1.2
Chadoulin	34.6	88	23.2	24	1.0
Issole	137	84	56.1	66	1.2
Colmars	158	88	78.2	70	0.9
Pont de Méouilles	569	91	207.9	267	1.2

Le coefficient obtenu est de 1.2 sur les stations les plus fiables (Issole et Pont de Méouilles). Il est plus faible à Colmars et sur le Chadoulin, ces deux postes étant plus douteux. En effet, une faible période d'observation conduit fréquemment à sous-estimer les débits exceptionnels.

Suivant le torrent étudié, le coefficient régional doit être compris, dans le bassin versant entre 1 et 1.3.

3.2.2. Détermination du débit centennal

L'estimation du débit centennal se fait par la méthode du Gradex. Celle-ci fait l'hypothèse suivante : à partir d'un certain débit dans la rivière, souvent proche du débit décennal, le sol est totalement saturé et toute la pluie ruisselle. Les forts débits suivent donc la même loi que les fortes pluies (de la durée égale au temps moyen de ruissellement du bassin versant).

En fait, à partir d'une fréquence décennale, il n'y a pas tout de suite un refus brutal de l'infiltration mais plutôt une augmentation progressive du coefficient de ruissellement. Le CEMAGREF de Lyon a donc établi une formulation permettant de traduire cette évolution progressive en fonction de la période de retour. Il propose la relation suivante :

$$Q_T = Q_{10} + G \ln \left[1 + \frac{G_f}{G} \frac{T - 10}{10} \right] \dots\dots\dots (8)$$

Avec

Q_T Pluie de période de retour T,

Q_{T0} Pluie de période de retour T₀,

G Gradex des débits (m³/s) donné par la relation :

$$G = \frac{gSR}{d} \dots\dots\dots (9)$$

d Durée considérée (en général, il s'agit du temps de concentration),

R Rapport du débit de pointe au débit moyen durant la durée considérée,

g Gradex de la pluie (mm)

G_f Gradex des débits (m³/s) correspondant aux faibles temps de retour. Il est issu directement des ajustements de Gumbel sur les débits.

Cette formulation correspond, dans son principe, à une évolution sans doute beaucoup plus proche de la réalité physique des phénomènes (saturation progressive des sols). Par contre, lorsque les gradex sont très contrastés (par exemple, au pont de Méouilles, $G_f = 61\text{m}^3/\text{s}$ et $G = 240 \text{ m}^3/\text{s}$), cette formulation surestime l'infiltration au-delà de la pluie décennale. On préfère alors considérer que le gradex des débits pour les faibles temps de retour est égal à la moitié du gradex pour les forts temps de retour.

La figure suivante permet la comparaison des trois méthodes au pont de Méouilles :

- Gradex brutal,
- Gradex suivant la formulation du CEMAGREF,
- Gradex suivant la formulation du CEMAGREF adaptée aux forts écarts de gradex.

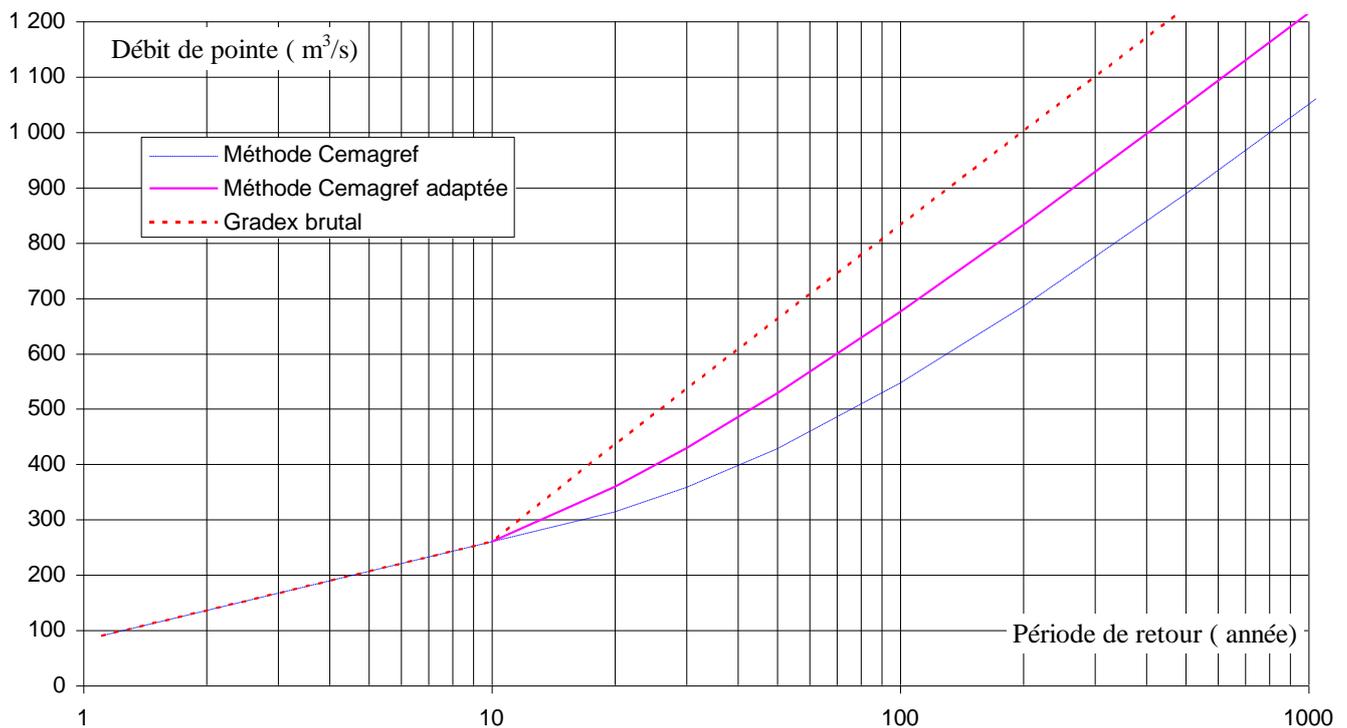


Figure 11 : Influence des différentes méthodes de mise en oeuvre du gradex.

Il apparaît que la méthode du CEMAGREF, adaptée au cas des rivières à fort gradex, conduit aux résultats les plus crédibles. C'est donc cette méthode qui est mise en oeuvre ici.

La même méthode appliquée aux autres stations de mesure, conduit aux résultats suivants sur les débits de pointe :

	Rivière	Surface	Gradex	Débits de pointe (m ³ /s)		
		(km ²)	(m ³ /s)	Q ₁₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀ /Q ₁₀
La Foux	Verdon	10.1	11.9	10	30	3.0
Allos	Chadoulin	34.6	19.5	24.2	74	3.1
Pont de Mourefrey	Issole	137	62.8	66	173	2.6
Colmars	Verdon	158	96.6	70	235	3.4
Pont de Méouilles	Verdon	569	226	259	645	2.5

3.3. Les crues historiques

3.3.1. Analyse d'ensemble

On a regroupé ici toutes les crues connues sur le bassin versant du haut Verdon. Les crues de 1979 et 1994, pour lesquelles on dispose de plus d'informations, sont ensuite analysées en détail.

De nombreuses données sont disponibles sur le bassin du Verdon depuis le début du siècle, en raison de l'intérêt que représentait cette rivière pour l'hydroélectricité. Malheureusement, elles concernent surtout la partie aval du bassin versant, qui a un fonctionnement bien différent du Verdon à Saint André.

Nous présentons les quelques débits relevés sur le haut bassin versant. Ce ne sont toutefois que des ordres de grandeur surtout pour les crues antérieures à 1951. En effet, les stations de jaugeage du Haut Verdon subissaient d'importantes variations du lit de la rivière. De plus les jaugeages n'étaient pas très fréquents et les mesures étaient faites à heure fixe : ce ne sont souvent ni des débits de pointe, ni des débits moyens journaliers. Enfin, il n'a pas été possible de vérifier la validité des données.

Ces lacunes n'enlèvent pas son intérêt à cette analyse dont l'objet est de situer les crues récentes dans l'ensemble des fortes crues historiques. La connaissance précise des débits n'est donc pas indispensable.

Les temps de retour estimés de la crue sont mis entre parenthèses après la valeur du débit.

1920, les 23 et 24 septembre

Station	Rivière	Débit moyen (m ³ /s)	Débit de pointe (m ³ /s)
Allos	Verdon	50	75 le 23 vers 20h
Allos	Chadoulin	24 (80 ans)	41 (30 ans) le 23 vers 20h
Thorame	Verdon		185 le 24 vers 8h

La valeur qui nous a été présentée dans le mémoire de CARZON comme un débit moyen, notamment pour le Chadoulin, est sans doute en fait une lecture à heure fixe de l'échelle. Ce qui peut expliquer une surestimation du **débit moyen** journalier et donc du temps de retour très élevé. D'autre part, il est vraisemblable que les incertitudes sur les débits du Chadoulin ne soient pas plus faibles qu'actuellement, les mesures dans ce torrent étant particulièrement difficiles (la station est actuellement arrêtée, suite aux crues de 1994).

1926, les 19, 20 et 21 novembre

Station	Rivière	Débits journaliers	
		19 novembre	21 novembre
Colmars	Verdon	9.6	61
Thorame	Verdon	150	210
Saint André	Issole	48.5 (23 ans)	53 (28 ans)

1951, du 8 au 11 novembre

Station	Jour	Rivière	Débit à 7h	Débit journalier		Débit de pointe	
				Valeur	Temps de retour	Valeur	Temps de retour
Colmars	8 novembre	Verdon	37				
	9 novembre		78			87	14 ans
Castillon	10 novembre	Verdon		259	24 ans	360	16 ans
	11 novembre			291	31 ans	415	23 ans

1979, le 28 janvier

Station de pont de Mourefrey sur l'Issole, débit moyen : 37 m³/s (13 ans), débit de pointe : 47 m³/s (8 ans).

1979, du 13 au 17 octobre

Nous donnons ici uniquement les débits de pointe aux stations de jaugeage. Cette crue sera détaillée au paragraphe suivant. Elle est composée de plusieurs crues successives, et les maxima aux stations n'ont pas eu lieu pour les mêmes épisodes. C'est pourquoi il y a des décalages de temps parfois importants.

Station	Rivière	Date	Débit de pointe	
			Valeur (m ³ /s)	Temps de retour
La Foux	Verdon	le 13 à 21h	5.4	< 10 ans
Allos	Chadoulin	le 14 à 20h	18	< 10 ans
Pont de Mourefrey	Issole	le 17 à 0h	54	< 10 ans
Castillon	Verdon	le 17 à 3h	337	14 ans

1993, le 8 octobre

Station	Débit journalier		Débit de pointe	
	Valeur	Temps de retour	Valeur	Temps de retour
La Foux (Verdon)	2.8	< 10 ans	3.8	< 10 ans
Pont de Mourefrey (Issole)	35.6	12 ans	51.5	< 10 ans

1994, le 5 novembre

De même que la crue de 1979, cette crue et celle de Septembre 1994 sera détaillée dans le paragraphe suivant.

Station	Rivière	Débit journalier		Débit de pointe	
		Valeur	Temps de retour	Valeur	Temps de retour
La Foux	Verdon	5.6	19 ans	8.6	< 10 ans
Pont de Mourefrey	Issole	36.6	12 ans	75.5	13 ans
Pont de Méouilles	Verdon	298	58 ans	640	98 ans

Sur le Chadoulin, la crue du 24 septembre a été du même ordre que la crue de novembre (la station de jaugeages a d'ailleurs été contournée et détruite). L'estimation du débit (données DIREN) a été la suivante, débit moyen : 14 m³/s (12 ans), débit de pointe : 38 m³/s (30 ans).

Notons que la période de retour de la crue est proche de 100 ans à S^t André et, vraisemblablement, à Colmars en amont du confluent avec la Lance⁴. Etant données les débits relativement faibles de l'Issole et les fortes crues de la Lance mais aussi du torrent de S^t Pierre et du Riou d'Ondres, il est probable que la crue ait été plus que centennale entre Colmars et S^t André.

Il est possible d'estimer la crue en amont du confluent avec l'Issole en considérant une crue de 550 m³/s pour un bassin versant de 432 km² (on soustrait alors le débit et la superficie correspondant à l'Issole). Dans ce cas, la période de retour serait proche de 120 ans. Etant données les imprécisions liées à ce calcul, il ne s'agit que d'un ordre de grandeur.

Récapitulatif

Nous pouvons comparer les crues historiques aux crues décennales et centennales calculées précédemment pour les stations où nous avons plusieurs données de débits. Les autres points de mesure apparaissent trop rarement pour que l'on puisse tirer des conclusions.

Pour le Chadoulin, nous observons deux crues de temps de retour compris entre 10 et 30 ans en 80 ans environ. Il n'y a donc pas de contradiction entre l'analyse des crues historiques et les calculs statistiques, même si cette station n'est pas des plus précises.

Pour l'Issole, nous observons trois crues dont le temps de retour est compris entre 10 et 30 ans en 80 ans. Ces observations semblent, dans ce cas aussi valider, les calculs.

Pour le Verdon au Pont de Méouilles (ou à Castillon), trois crues d'une période de retour supérieure à 10 ans (dont une de période de retour 100 ans) ont été observées depuis 1951, ce qui valide l'analyse statistique des débits.

⁴ La hauteur d'eau était proche de 4 mètres au niveau du pont amont de Colmars pour une largeur d'environ 10 mètres. Les berges étant rocheuses, cela correspond, pour un écoulement critique (nombre de Froude égal à 1) à un débit très proche du débit centennal.

3.3.2. Les crues de 1979 et 1994

3.3.2.1. Etude de la propagation des crues

3.3.2.1.1. Octobre 1979

Les hydrogrammes de cette crue montrent plusieurs pointes qui s'expliquent par un épisode pluvieux très long. La figure suivante regroupe les données disponibles :

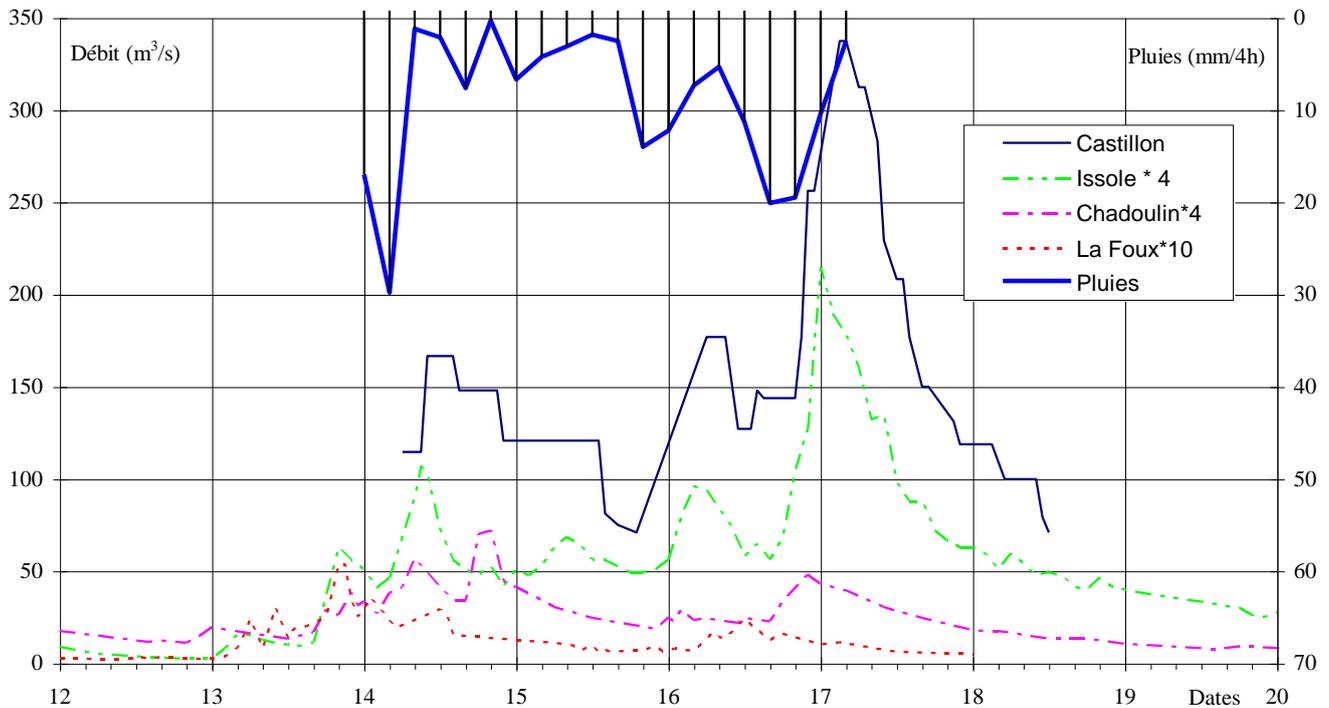


Figure 12 : Hydrogrammes de la crue de 1979.

*Attention : L'échelle a été distordue pour les stations autres que Castillon, pour rendre le document plus lisible. Issole*4 signifie que le débit réel est multiplié par 4 sur le schéma.*

La pluie a été mesurée par les pluviographes d'EDF.

Nous observons en fait une succession de crues du 14 au 17 octobre. Elles sont plus fortes sur le haut bassin au début : le 13 sur le Verdon à la Foux et le 14 sur le Chadoulin à Allos. Elles sont plus fortes à l'aval à la fin de tous les épisodes : le 17. Par contre, à la fin de l'épisode, il semblerait que la pluie se soit transformée en neige sur les sommets, ce qui expliquerait les faibles débits dans la partie amont du bassin versant malgré la saturation des sols par le début de l'épisode.

Il est intéressant de regarder les différents temps de montée des crues. Nous distinguons trois pointes de pluie : le 14 à 4 h, le 15 à 20 h et le 16 à 16 h. La station de la Foux ne donne pas de résultats intéressants, nous ne les étudierons donc pas.

Les temps de montée de crue sont indiqués dans le tableau suivant :

Station	Rivière	Surface de bassin versant (km ²)	Temps de montée (heures)		
			1 ^{ère} crue	2 ^{ème} crue	3 ^{ème} crue
Allos	Chadoulin	34.6	4	4	6
Pont de Mourefrey	Issole	137	6	8	8
Castillon	Verdon	655	8	12	12

La première pointe de pluie est intense, elle donne donc des temps de montée rapides pour tous les bassins versants. Puis les pluies sont moins fortes mais durent plus longtemps. De plus les bassins versants se saturent. Les temps de montée sont donc un peu plus longs, mais les crues des grands bassins versants sont fortes. Les débits maxima et les temps de retour de la troisième crue regroupés ci dessous :

	Débit de pointe	Temps de retour
Chadoulin	12.5	19 ans
Issole	54	< 10 ans
Castillon	337	14 ans

3.3.2.1.2. Septembre 1994

Cette crue concerne essentiellement le haut bassin versant. Ainsi, en 32 heures, le poste d'Allos a reçu 100 mm et celui de Lambruisse a seulement atteint 56 mm.

Les temps de montée de crue sont indiqués dans le tableau suivant :

Station	Rivière	Surface de bassin versant (km ²)	Temps de montée (heures)	
			1 ^{ère} crue	2 ^{ème} crue
Allos	Chadoulin	34.6	Panne du limnigraphe. Débit compris entre 35 et 50 m ³ /s	
Colmars	Verdon	158	138 30 ans	127 26 ans
Pont de Méouilles	Verdon	569	330 17 ans	

EDF indique un engravement de 70 à 80 cm au niveau de la station de Colmars à la décrue, ce qui ne se serait jamais produit depuis 1957. Cela semble indiquer que la Lance a connu une forte crue lors de cet épisode, se traduisant déjà par un dépôt de matériaux au confluent.

Les imprécisions relatives aux débits du Chadoulin conduisent à une période de retour comprise entre 19 et 38 ans. Il est donc significatif que cet épisode a été très fort dans le haut bassin versant mais que son ampleur a diminué en allant vers l'aval.

Il est probable que les précipitations de cet épisode, ajoutées aux pluies abondantes qui l'ont suivi, ont participé de façon décisive à la genèse de la crue de Novembre 1994. D'autre part, en particulier pour le Chadoulin, le Clignon et la Lance, l'épisode de Septembre a favorisé la

fourniture en matériaux lors de la crue de Novembre 1994 en déstabilisant les berges en de nombreux endroits.

3.3.2.1.3. Novembre 1994

Nous possédons les hydrogrammes et hyétogrammes suivants⁵ :

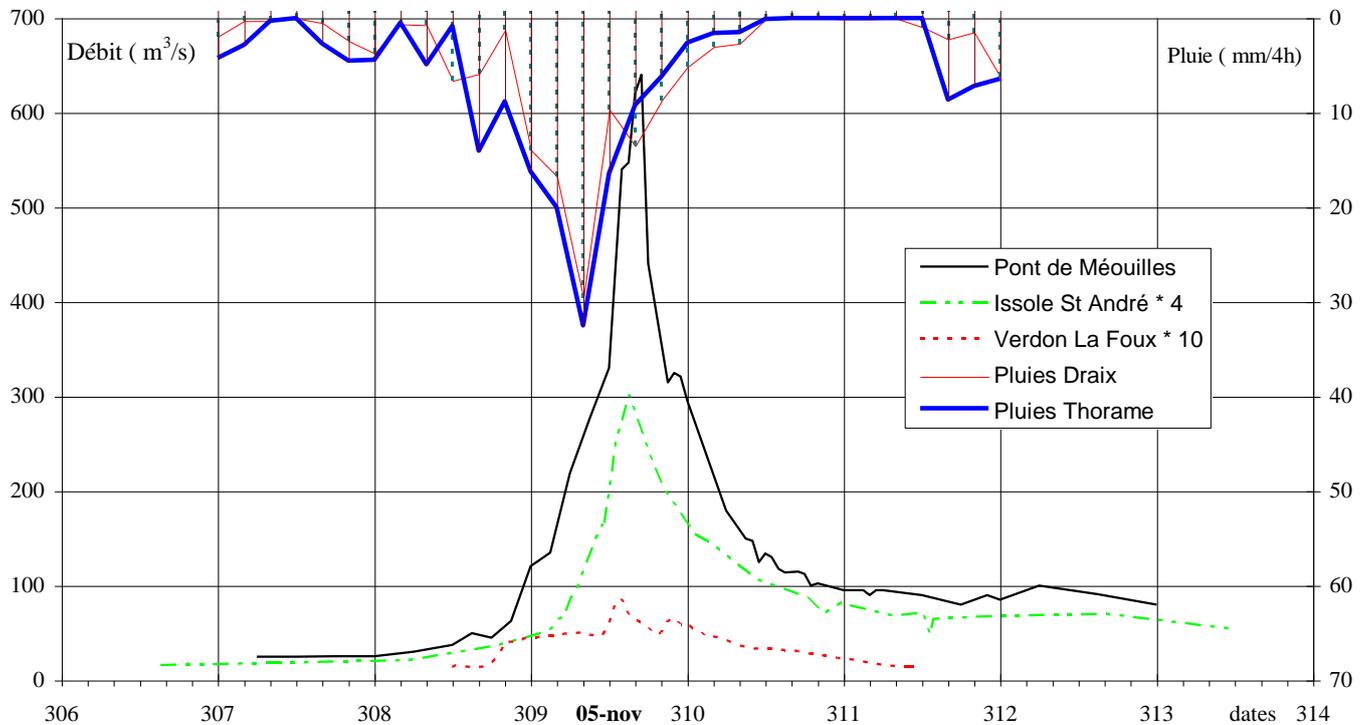


Figure 13 : Hydrogramme de la crue de Novembre 1994.

Analyse des pluies

Pour cet épisode, on connaît les précipitations enregistrées sur les pluviographes de Draix (au Nord-Est de Lambruisse) et Thorame. Notons que, malgré leur éloignement, ils donnent des valeurs très proches. La pluie a, en effet, été assez uniforme sur tout le bassin versant du Verdon.

⁵ On ne connaît, sur le poste de Colmars que l'évolution des hauteurs d'eau en fonction du temps et l'estimation du débit maximum. L'engrèvement important au niveau de la station en limite considérablement la validité et explique un débit de pointe mesuré particulièrement important : 300 m³/s. L'analyse des écoulements au niveau du pont amont conduit plutôt à un débit de l'ordre de l'ordre de 240 m³/s.

Nous avons déterminé les **périodes de retour** des pluies de 1, 2, 3, 4, 6 et 10 jours. Notons que la pluie s'étant arrêtée le 6 Novembre, les durées indiquées correspondent donc à la préparation des terrains avant la crue. Cette analyse conduit aux périodes de retour suivantes en fonction de la durée considérée :

	1 jour	2 jours	3 jours	4 jours	6 jours	10 jours
Allos	7	54	32	31	16	17
Uvernet	8	19	15	14	10	12
Thorame	3	19	14	15	8	11
Lambruisse	4	15	12	16	9	11
Saint André	4	6	6	6	5	6

Ces calculs confirment l'idée générale sur la crue de novembre 94 : les pluies n'ont pas été très intenses, mais très longues et le bassin versant était déjà saturé quand les pluies les plus intenses sont tombées.

Nous ne possédons malheureusement pas les valeurs journalières de la vallée du Var, mais seulement les pluies du 1 au 10 novembre. Ce cumul est maximum à Entraunes et fort à Estenc. Les pluies les plus fortes ont donc eu lieu sur le haut bassin versant et à l'Est immédiat du Verdon. Ceci explique sans doute que ce sont les affluents rive gauche du Verdon qui ont subi les plus fortes crues : la Lance (Colmars), le torrent de Saint Pierre et le Riou d'Ondres (entre Beauvezer et Thorame).

Analyse des débits

De même que pour la crue de 1979 nous pouvons analyser l'évolution des temps de montée de la crue et des temps de retour des débits (de pointe et journaliers).

Les temps de montée de la crue sont les suivants :

Station	Rivière	Bassin versant (km ²)	Temps de montée (heures)
La Foux	Verdon	10	6
Colmars	Verdon	158	7
Issole	Issole	137	7
Pont de Méouilles	Verdon	562	9

Les temps de montée ne sont pas très grands par rapport à la première crue d'octobre 1979, le décalage entre les pointes de crues (entre l'amont et l'aval) est très réduit : 1 heure pour les 14 kilomètres qui séparent la Foux de Colmars et 2 heures pour les 29 kilomètres entre Colmars et le pont de Méouilles. Ceci correspondrait à une vitesse de propagation d'environ 15 km/h, à peu près homogène entre la Foux et Saint André.

Les temps de retour de la crue (déjà indiqués) sont les suivants :

- ⇒ Une vingtaine d'années à la Foux,
- ⇒ Une centaine d'années entre Allos et Colmars,
- ⇒ Entre 100 et 150 ans entre Colmars et la Mure,
- ⇒ Une douzaine d'années seulement sur l'Issole,
- ⇒ Une centaine d'années au pont de Méouilles.

Nous pouvons remarquer que la crue a été plus forte pour les grands bassins versants que pour les petits. Ceci s'explique par des pluies très étendues mais des intensités (sur quelques heures) assez modérées.

De plus, elles ont été particulièrement intenses entre Allos et Thorame, en particulier en rive gauche.

3.3.2.2. Calcul du coefficient de ruissellement

Il peut être intéressant d'étudier comment varie le coefficient de ruissellement selon les crues et selon l'endroit du bassin versant. Celui-ci est défini comme le rapport entre le volume de pluie et le volume écoulé dans la rivière qui lui correspond, au cours d'un épisode.

Vu la complexité de la crue de 1979, nous avons réalisé quatre calculs :

- un coefficient global sur toute la durée de la crue du 14 à 0h au 18 à 7h,
- trois coefficients pour les épisodes successifs :
 - ◇ la journée du 14,
 - ◇ du 15 à 16h au 16 à 12h,
 - ◇ du 16 à 12h au 18 à 7h.

Pour la crue de 94, nous avons considéré l'épisode du 4 à 12h au 7 à 0h.

Les résultats figurent dans le tableau suivant :

	Crue de 79				Crue de 94
	1 ^{er} épisode	2 ^{ème} épisode	3 ^{ème} épisode	Global	
La Foux					0.67
Chadoulin	0.40	0.35	0.44	0.44	-
Issole	0.13	0.26	0.39	0.27	0.29
Castillon ⁶	0.25	0.40	0.57	0.43	0.53

Ces valeurs permettent de retrouver les conclusions des paragraphes précédents. A savoir qu'en 1979, le bassin versant s'est progressivement saturé, ce qui a provoqué la crue du 17 octobre alors que la pointe de pluie n'était pas particulièrement importante. Nous pouvons

⁶ Pour la crue de Novembre 1994, le calcul est réalisé au pont de Méouilles, en amont immédiat du lac de Castillon.

remarquer aussi que les coefficients de ruissellement sont forts en 1994, par rapport au premier épisode de 1979. Ceci montre une fois de plus qu'en Novembre 1994 les terrains étaient saturés par un automne particulièrement pluvieux.

Une autre analyse, non présentée ici et basée sur l'utilisation d'un modèle pluie-débit, met aussi en évidence la saturation des sols dans le bassin versant avant la crue de Novembre 1994.

3.4. Débits retenus

Les résultats de l'étude hydrologique précédente sont étendus aux principaux torrents affluents du Verdon suivant les mêmes méthodes que précédemment.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

		Surface (km ²)	Débits de pointe (m ³ /s)		
			Q ₁₀	Q₁₀₀	Q ₁₀₀ /Q ₁₀
Verdon	La Foux	10.1	10	30	3.0
	Seignus	47	32	96	3.0
	Colmars	158	80	235	2.9
	Pont de Méouilles	569	259	645	2.5
	Castillon	655	290	722	2.5
Chadoulin	Allos	34.6	24	65	2.7
Bouchier	Allos	26	20	60	3.0
Clignon	Pont de Clignon	21.7	17	52	3.1
Lance	Colmars	34	25	75	3.0
Chasse	Villars - Colmars	38.4	26	72	2.8
Ravin de S ^t Pierre	confluent Verdon	13	12	35	2.9
Riou d'Ondres	confluent Verdon	17.6	15	44	2.9
Encure	confluent Issole	16.9	14	37	2.6
Issole	Château Garnier	38.8	26	68	2.6
	Pont de Mourefrey	137	66	173	2.6

Ces résultats doivent être considérés avec prudence, les déterminations des débits étant d'autant plus difficiles que l'on va vers l'amont. Ainsi, les seules stations fiables sont situées à l'extrémité aval du bassin (Verdon au Pont de Méouilles et Issole au Pont de Mourefrey).