



**SOMMAIRE**

<b>INDEX DES COMMENTAIRES ET DES CARTOGRAPHIES PAR COMMUNES .....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>1 PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE RETENUE.....</b>	<b>5</b>
1.1 LES BASES DE L'HYDROGEOMORPHOLOGIE.....	5
1.2 ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT DES BASSINS VERSANTS .....	5
1.3 CARTOGRAPHIE DES UNITES HYDROGEOMORPHOLOGIQUES.....	5
1.4 LES PRINCIPAUX OUTILS UTILISES.....	10
1.5 LES OUTILS COMPLEMENTAIRES .....	10
1.6 ATOUS ET LIMITES DE LA METHODE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE.....	10
<b>2 SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT DES BASSIN VERSANTS .....</b>	<b>11</b>
2.1 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE.....	11
2.2 TOPOGRAPHIE ET ORGANISATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	12
2.3 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE.....	14
2.4 CONTEXTE CLIMATIQUE ET REGIMES HYDROLOGIQUES .....	16
2.5 OCCUPATION DU SOL.....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
SYNTHESE.....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
<b>3 DONNEES HISTORIQUES .....</b>	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
<b>4 ANALYSE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE ET HISTORIQUE.....</b>	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
4.1 LE BASSIN DE L'ARNAVE .....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
4.2 LE GARD RHODANIEN.....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
4.3 LA CAMARGUE GARDOISE .....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
<b>5 CONCLUSION .....</b>	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
<b>6 BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>

**INDEX DES COMMENTAIRES ET DES CARTOGRAPHIES PAR COMMUNES**

<b>Communes</b>	<b>Commentaires pages</b>	<b>Cartographie au 1/25 000</b>	<b>Cartographie au 1/10 000</b>
ANGLES (Les)	p11, 12, 21, 22, 25, 31	5, 6	8
BEUCAIRE	p11, 21, 31	7, 8	
BEUVOISIN	p11, 20	10	
BELLEGARDE	p11, 13, 20, 32, 33	8	12
CARSAN	p11, 20	1	
COMPS	p11, 20, 21	7	
GARONS	p11, 20	8	
GENERAC	p20	9	
JONQUIERES-SAINT-VINCENT	P11, 20, 32	7	11
LAUDUN L'ARDOISE	P25	2	
LIRAC	P11, 20, 22, 25, 26	2, 4	2
MANDUEL	P11, 20	7, 8	
MONTFAUCON	P11-13, 20, 22, 25-29, 31	2	4
PONT-SAINT-ESPRIT	P11, 12, 14, 17, 20, 24	1	1
PUJAUT	9-13, 15-18, 20-22, 25, 27-31	3, 4, 6,	9, 6
ROCHEFORT-DU-GARD	9-12, 15, 17, 18, 20-22, 25, 27-31	4, 5	8
ROQUEMAURE	P11, 12, 17, 20-22, 25, 27-29	2, 3, 4	5, 6
SAINT-ALEXANDRE	P11, 20, 21, 23	1	1
SAINT-GENIES-DE-COMOLAS	P11, 17, 20, 21, 25, 27	2	3, 4, 5
SAINT-GILLES	P11, 20-22, 33, 34	9, 10	13
SAINT-LAURENT-DES-ARBRES	P11, 20, 21, 25	2	3, 4
SAINT-VICTOR-LA-COSTE	P20	2	
SAUVETERRE	P11, 12, 20, 22, 25, 27-29, 31	3, 6	6, 9
SAZE	p11, 12, 20-22, 29-31	5	8
TAVEL	P11, 20-22, 30-31	4	7
VAUVERT	P11, 20, 31, 32	10	
VENEJAN	P11, 20	1	
VILLENEUVE-LES-AVIGNONS	P11, 12, 15, 18, 20-22, 25, 28, 29, 31	6	9, 10

## INTRODUCTION

### CONTEXTE DE L'ETUDE

De par ses caractéristiques naturelles de climat et de relief, la région méditerranéenne se trouve fortement soumise au risque inondation avec des crues fréquentes et répétitives. Conscients de ce danger depuis plus d'une décennie, les services de l'Etat ont lancé de nombreuses études pour acquérir une connaissance plus précise des zones exposées. Depuis la Loi du 2 février 1995 dite "Loi Barnier" sur le renforcement de la protection de l'environnement, des Atlas des zones inondables et des Plans de Prévention des Risques Inondations (PPRI) ont été lancés dans le cadre de deux plans quinquennaux successifs. La Direction Régionale de l'Environnement de Languedoc-Roussillon a confié à GINGER et IPSEAU l'élaboration de l'**Atlas des zones inondables des bassins versants du Gard Rhodanien et de la Camargue Gardoise**.

### METHODOLOGIE RETENUE

La méthode de travail retenue pour cette étude est l'**analyse hydrogéomorphologique**, qui est une approche naturaliste fondée sur la compréhension du fonctionnement naturel de la dynamique des cours d'eau (érosion, transport, sédimentation) au cours de l'histoire. Elle consiste à étudier finement la morphologie des plaines alluviales et à retrouver sur le terrain les limites physiques associées aux différents lits (mineur, moyen, majeur) qui ont été façonnés par les crues passées. Dans l'élaboration du document, cette analyse géomorphologique appliquée aux espaces alluviaux se prête à être associée aux informations relatives aux crues historiques. L'analyse s'appuie sur l'interprétation géomorphologique d'une couverture stéréoscopique de photographies aériennes (mission IGN 2002 au 1/17 000ème) validée par des vérifications de terrain.

La présente étude est réalisée en conformité avec les principes retenus par les Ministères de l'Équipement et de l'Écologie et du Développement Durable pour la réalisation des Atlas des zones inondables par analyse hydrogéomorphologique, décrits dans un guide méthodologique publié en 1996<sup>1</sup>, ainsi qu'un cahier des charges national détaillé qui constitue aujourd'hui le document de référence pour ce type d'étude<sup>2</sup>. La fiabilité de cette approche et ses limites ont par ailleurs été vérifiées à l'occasion des crues exceptionnelles récentes (Aude 1999, Gard 2002).

### CONTENU ET OBJECTIFS DU DOCUMENT

L'étude hydrogéomorphologique est constituée de cartes d'inondabilité réalisées aux échelles du 1/25.000<sup>e</sup> et 1/10 000<sup>e</sup> qui sont accompagnées d'un commentaire relatif à chaque grand cours d'eau étudié. Ce document est décliné en **deux volets** :

- Le rapport constitue la première partie de ce document. Il s'articule autour de trois parties : le rappel de la méthodologie, la synthèse des principales caractéristiques physiques (climatologie, géologie, occupation du sol, hydrologie) qui concourent à l'inondabilité des cours d'eau et de leur plaine alluviale et enfin le commentaire par cours d'eau.

- L'atlas, qui présente les cartographies relatives aux cours d'eau, en mentionnant les communes concernées.

Conformément au cahier des charges, outre les rapports papier, l'ensemble des données du document est également restitué sous format informatique sur CD ROM. Les éléments du rapport (texte, schémas, photos) font l'objet d'une version numérique réalisée sous Word, et les éléments cartographiques sont digitalisés et intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG) réalisé sous MapInfo. La cartographie numérisée sera amenée rapidement à être rendue accessible au grand public sur INTERNET.

L'objectif de cette étude est la **qualification et la cartographie des zones inondables**. Il s'agit de fournir aux services de l'administration et aux collectivités territoriales (communes) des éléments d'information préventive utilisables dans le cadre des missions :

- d'information du public,
- de porter à connaissance et d'élaboration des documents de planification (PLU, SCOT),
- de programmation et de réalisation de Plans de Prévention des Risques Inondation (PPRI) qui ont une portée réglementaire.

La cartographie produite par l'analyse hydrogéomorphologique permet de disposer **d'une vision globale et homogène des champs d'inondation** sur l'ensemble des secteurs traités **en pointant à un premier niveau, les zones les plus vulnérables** au regard du bâti et des équipements existants. L'information fournie reste cependant essentiellement qualitative, même si elle est complétée, là où elles existent par des données historiques.

Dans la stratégie de gestion du risque inondation, le rapport suivant doit donc être perçu comme **un document amont, d'information et de prévention**, relativement précis mais dont les limites résident clairement dans la quantification de l'aléa (notamment vis-à-vis de la définition de la crue de référence et de la détermination des paramètres hauteur ou vitesse des écoulements). C'est pourquoi, dans les secteurs où les enjeux sont importants notamment en termes d'urbanisation ou d'aménagement, il se prête à être complété ultérieurement par des approches hydrologiques et hydrauliques.

### PERIMETRE ET ECHELLE D'ETUDE

**Le territoire d'étude** a été retenu par la DIREN Languedoc-Roussillon.

Il porte sur les parties du bassin versant de **l'Arnavé et du Rieuprime, du Gard Rhodanien et de la Camargue Gardoise** exclusivement inscrites dans le département du Gard (30) appartenant à la région Languedoc Roussillon. Dans ce périmètre est prise en compte l'intégralité des zones inondables des cours d'eau principaux, ainsi que les confluences avec les vallons latéraux.

**L'échelle de cartographie retenue est le 1/25.000<sup>e</sup> en général et le 1/10.000<sup>e</sup> pour les zones à enjeux**, sur un support de fond de plan monochrome constitué par l'orthophoto pour le 10 000 et le Scan 25 pour le 25 000, fournis par le maître d'ouvrage.

<sup>1</sup> Cartographie des zones inondables : approche hydrogéomorphologique – DAU/DPPR, éditions villes :& territoires, 1996,100p

<sup>2</sup> CCTP relatif à l'élaboration d'Atlas de zones inondables par technique d'analyse hydrogéomorphologique – M.A.T.E / D.P.P.R, mars 2001

## 1 PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE RETENUE

### 1.1 LES BASES DE L'HYDROGÉOMORPHOLOGIE

L'analyse hydrogéomorphologique s'appuie sur la géomorphologie, « science ayant pour objet la description et l'explication du relief terrestre, continental et sous-marin » (R. Coque, 1993). En étudiant à la fois la mise en place des reliefs à l'échelle des temps géologiques, les effets des variations climatiques et les processus morphogéniques actuels (qui façonnent les modelés du relief), la géomorphologie fournit une base pour la connaissance globale de l'évolution des reliefs à différentes échelles de temps et d'espace, qui permet de retracer pour chaque secteur étudié un modèle d'évolution, prenant en compte son histoire géologique et climatique.

La géomorphologie s'intéresse particulièrement (mais pas exclusivement) à la dernière ère géologique, le Quaternaire, qui a commencé il y a environ 1.8 millions d'années. C'est en effet pendant cette période que se sont mis en place les principaux modelés actuels qui constituent le cadre géomorphologique dans lequel s'inscrit la plaine alluviale dite fonctionnelle, c'est-à-dire *actuellement atteignable par les eaux de débordement d'un cours d'eau*.

### 1.2 ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT DES BASSINS VERSANTS

La vallée est l'unité morphologique commune, qui structure et cloisonne les paysages et constitue le cadre privilégié de l'analyse hydrogéomorphologique. Son organisation générale conditionne le déroulement des crues, et on peut distinguer schématiquement, d'amont en aval, trois grandes sections selon leur rôle :

- Le bassin de réception, aussi appelé zone de production des crues, car c'est là, le plus souvent, qu'elles se forment,
- Les zones de transfert,
- Les zones d'expansion de crue.

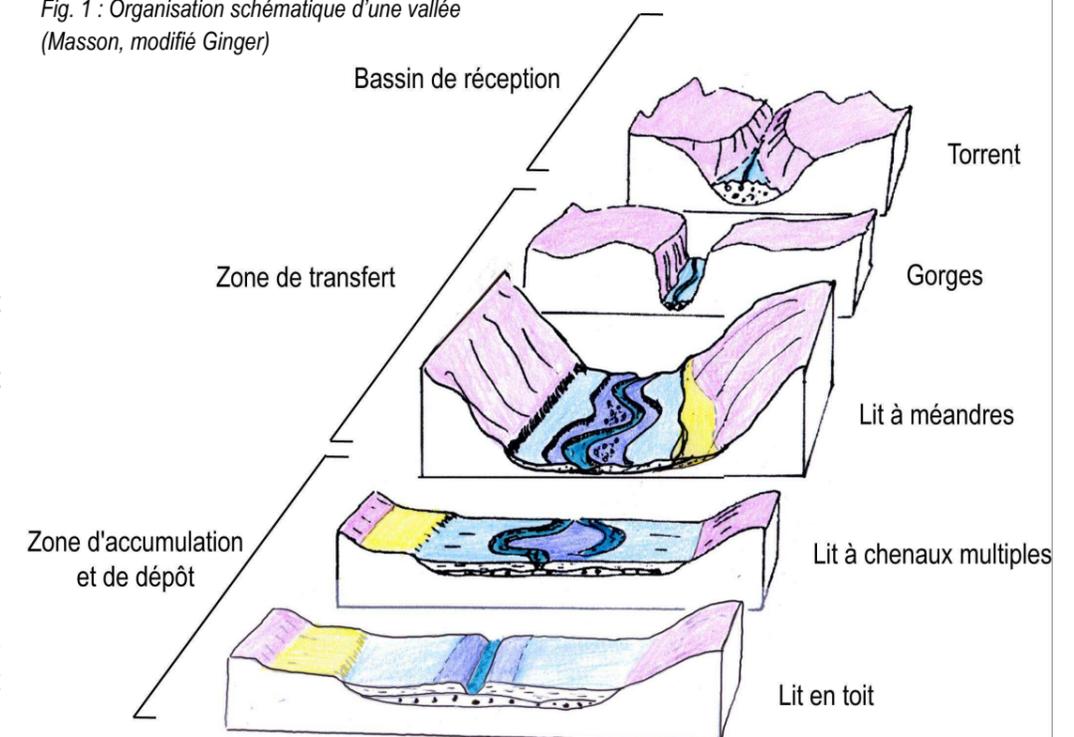
Le **bassin de réception** correspond à la partie supérieure du bassin versant, le plus souvent montagneuse et où les précipitations sont les plus intenses. Il peut présenter diverses formes (allongée, en éventail, ramassée) en fonction de l'organisation du réseau hydrographique. Celui-ci est exclusivement composé de torrents et de ravins drainant des vallons en V encaissés et qui confluent vers une vallée principale plus large. Les versants et les talwegs présentent des pentes fortes et le substrat affleure ; ce dernier peut être localement masqué par des formations superficielles telles qu'éboulis, sols, moraines glaciaires, selon les caractéristiques géologiques, climatiques et topographiques du secteur. Les coefficients de ruissèlement sont en général importants. Ils peuvent toutefois être sensiblement abaissés lorsque la présence d'une couverture végétale (forêt, maquis) ou d'un sol poreux (calcaire, grès...) favorise l'infiltration. Cette zone de production des crues fournit aussi par altération des roches l'essentiel du matériel qui sera transporté par le cours d'eau.

On considère généralement que le bassin de réception à proprement parler se termine lorsqu'une vallée principale est bien identifiée avec un chenal d'écoulement principal alimenté par un nombre plus limité d'affluents. Il est souvent relayé par une section de gorges, qui assure le transfert des débits liquides et solides. Au débouché des

gorges ou du bassin amont, on trouve souvent un cône de déjection, forme d'accumulation défini plus loin, construite par un cours d'eau torrentiel qui dépose sa charge solide à la faveur d'une rupture de pente.

Plus en aval, la **zone de transfert** est souvent constituée d'une vallée principale simple, au tracé assez rectiligne, qui s'élargit progressivement avec une pente longitudinale plus faible. En général, elle présente un fond plat, mais il peut arriver que la faible capacité du cours d'eau ne lui permettant pas de s'encaisser, la vallée prenne une forme en berceau, caractéristique de secteurs dits d'ennoiement. La plaine alluviale s'organise et les différents lits (mineur, moyen, majeur décrits ci-après) s'individualisent. La diminution de la pente permet le dépôt d'une partie de la charge solide. Ces dépôts peuvent être repris lors des crues, ou immobilisés pour un temps plus ou moins long, comme ceux qui constituent les terrasses par exemple. Dans tous les cas, ils constituent un stock sédimentaire potentiellement mobilisable par le cours d'eau.

Fig. 1 : Organisation schématique d'une vallée  
(Masson, modifié Ginger)



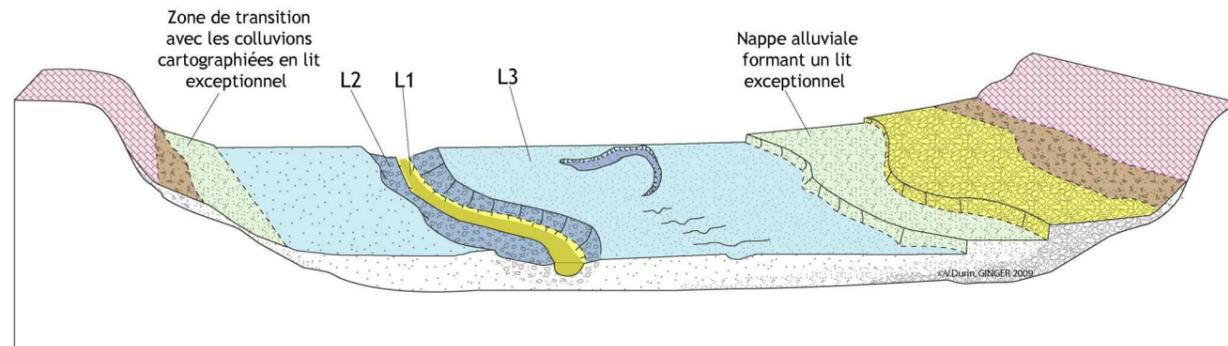
Sur cette section, deux dynamiques sont associées : celle de dépôt et celle d'érosion. Leur rapport est fonction de l'intensité des crues (une petite crue déposera sa charge tandis que les grandes crues éroderont les berges), du lit concerné.

### 1.3 CARTOGRAPHIE DES UNITES HYDROGÉOMORPHOLOGIQUES

La cartographie hydrogéomorphologique est basée sur l'identification des unités spatiales homogènes modelées par les différents types de crues au sein de la plaine alluviale.

Les critères d'identification et de délimitation de ces unités sont la topographie, la morphologie et la sédimentologie, souvent corrélées avec l'occupation du sol.

Dans le détail, on identifie les **unités hydrogéomorphologiques actives**, les **structures géomorphologiques secondaires** influençant le fonctionnement de la plaine alluviale et les unités sans rôle hydrodynamique particulier, c'est-à-dire l'**encaissant**.



### Légende

- L1 - Lit mineur
- L2 - Lit moyen
- L3 - Lit majeur
- L4 - Lit majeur exceptionnel
- Terrasse
- Colluvions
- Versants
- Bras de décharge

#### 1.3.1 Les unités actives constituant la plaine alluviale moderne fonctionnelle

Délimitées par des structures morphologiques (talus), elles correspondent souvent chacune à une gamme de crues.

Le **lit mineur**, incluant le lit d'étiage correspond au lit intra-berges et aux secteurs d'alluvionnement immédiats (plages de galets). Il est emprunté par la crue annuelle, dite crue de plein-bord car principalement contenue entre les berges de ce lit, ne débordant qu'au niveau des secteurs les plus bas. On peut distinguer les lits mineurs dont le fond est formé de matériel fin (sables, limons), situés plutôt en aval des cours d'eau, les lits mineurs rocheux et ceux dont le fond est pavé de galets et de blocs, ce qui traduit leur forte capacité de transport et leur caractère torrentiel.

Le **lit moyen** représenté en bleu foncé, est fonctionnel pour les crues fréquentes à moyennes (périodes de retour 2 à 10 ans). Il assure la transition entre le lit majeur et le lit mineur. Dans cet espace, les mises en vitesse et les transferts de charge importants induisent une dynamique morphogénique complexe et changeante. L'activité dynamique du cours d'eau est matérialisée par l'alternance de chenaux de crue (parfois directement branchés au lit mineur), et de bancs d'alluvionnements grossiers remaniés au gré des crues. Lorsque l'espacement des crues le permet, une végétation (ripisylve) se développe dessus. Les bras de méandres abandonnés en temps normal mais présentant de forts écoulements en cas de crue sont inclus dans le lit moyen.

Le **lit majeur** représenté en bleu clair, est en général fonctionnel pour les crues rares à exceptionnelles. Il présente un modelé plus plat, situé en contrebas de l'encaissant. La dynamique des inondations dans ces secteurs privilégie

en général les phénomènes de décantation, car ils sont submergés par des lames d'eau moins épaisses que dans les lits mineurs et moyens, avec pour conséquence une mise en vitesse moindre et le dépôt des sédiments. Cependant, lors des crues les plus importantes, les vitesses et hauteurs d'eau en lit majeur peuvent s'avérer localement suffisantes pour générer des phénomènes d'érosion et la création d'un nouveau bras de décharge, voire d'un détournement du lit mineur.



Photo 1 : Lit majeur limoneux

Au sein de la plaine alluviale on peut parfois identifier deux niveaux alluviaux inondables étagés. Le géomorphologue peut alors cartographier en **lit majeur exceptionnel** ces zones qui bien qu'elles soient atteignables par les crues, ne le sont que moins fréquemment du fait de leur surélévation. A la demande du maître d'ouvrage, et dans un souci de simplicité de l'information visuelle présentée, le présent atlas ne distingue pas le lit majeur exceptionnel du reste du lit majeur, hormis en certains points particuliers décrits dans le chapitre 4. Afin d'éviter toute perte d'information les lit zones de lit majeur exceptionnel repérées par le maître d'œuvre et n'apparaissant pas sur l'atlas ont été transmises au maître d'ouvrage sous format informatique.

La **délimitation** entre lit mineur / moyen / majeur est matérialisée par un figuré de talus. Les **talus peu nets** sont cartographiés en discontinu. Ils peuvent correspondre soit à des talus convexo-concaves à pente très douce et donc peu marqués, ou à des ruptures de pente faiblement marquées dans le profil transversal des vallées.

La **limite extérieure de la plaine alluviale fonctionnelle** correspond à l'**enveloppe des unités hydrogéomorphologiques** et donc de la **zone inondable au sens géomorphologique** (c'est-à-dire sans tenir compte des aménagements et des impacts négatifs qu'ils peuvent avoir sur les crues). Cette limite peut être selon les cas très nette et placée avec précision (présence d'un talus net plus ou moins haut, bas de versant franc) ou imprécise (talus peu nets, fonds de vallons en berceau, talus déstabilisés par les crues) ; c'est principalement le cas dans les secteurs présentant une forte couverture colluviale (cf. 1.3.3) ou une zone de transition avec des glacis colluvio-alluviaux.

#### 1.3.2 Structures secondaires géomorphologiques



Photo 2 : Bras d'écoulement secondaire en lit moyen

**Atterrissements** : Les lits sont aussi caractérisés par des atterrissements sous forme de bancs de graviers ou de galets, qui peuvent être de taille conséquente. Ce sont des **formes temporaires**, qui sont détruites par remobilisation des matériaux lors des crues.

**Bras secondaire de décharge et axe d'écoulement en crue** : les **chenaux de crue** parcourant les lits moyens et majeurs sont représentés, soit par un figuré de talus s'ils sont nets et bien inscrits dans la plaine (**bras de décharge**), soit par une flèche localisant la ligne de

courant si la forme est peu imprimée dans la plaine (**axe d'écoulement**). Ils se traduisent lors des inondations par des vitesses et des hauteurs d'eau plus importantes que dans le reste du lit majeur, indiquant donc un risque plus fort. Les bras secondaires et les axes d'écoulement sont fréquents dans les lits moyens et majeurs des cours d'eau. Les chenaux de crue en lit majeur, souvent fonctionnels uniquement pour les crues exceptionnelles, peuvent être dévastateurs en termes de dégâts.

**Points de débordement** : Les points de débordements correspondent à des secteurs privilégiés de déplacement du lit mineur (rescindement de méandre par exemple). Ils sont souvent à l'origine d'un bras de décharge ou d'un axe d'écoulement.

**Cônes de déjection** : De nombreux affluents présentent à leur exutoire une accumulation de sédiments grossiers qui forment des cônes dits « de déjection ». Ces cônes se forment à la confluence entre une vallée secondaire à forte pente et une vallée principale. La pente de l'affluent diminue brutalement lorsqu'il pénètre dans la plaine, entraînant le dépôt de sa charge solide. Au fil des crues, ces dépôts s'accumulent selon une forme bombée, car l'essentiel se fait à proximité du lit mineur. Le sommet du cône, située au point de sortie de la vallée torrentielle est nommé l'apex. Ces cônes sont caractérisés par des phénomènes hydrodynamiques et hydrauliques torrentiels spécifiques :

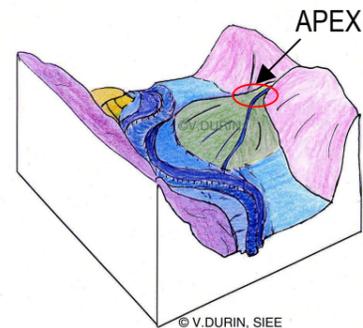


Figure 3 : Schéma d'un cône de déjection

- le lit mineur est en général perché sur l'axe sommital du cône,
- la charge solide transportée par les cours d'eau qui façonnent un cône est très importante, et rend les crues plus dévastatrices (cf photos 3),
- le dépôt puis l'érosion de la charge solide dans le lit mineur engendre une « respiration » du lit,
- la probabilité que ces dépôts comblent le lit mineur est forte ; celui-ci se crée alors un nouveau lit : il peut divaguer à partir de l'apex,
- les écoulements débordants ne peuvent revenir dans le lit mineur et divergent sur la topographie en éventail du cône.

Certains des cônes identifiés dans la présente étude peuvent être considérés comme des formes actuelles, tandis que d'autres seraient des formes construites antérieurement à l'Holocène (- 10 000 ans), mais qui restent actives aujourd'hui, car les cours d'eau ne les ont pas ré-entaillé (le lit mineur ne s'est pas incisé). C'est en particulier le cas en Camargue Gardoise, dans la partie basse des Costières.

La cartographie s'est attachée à distinguer les cônes qui peuvent être facilement et fréquemment réactivés : un figuré spécifique délimitant la forme est alors superposé soit au lit majeur (cônes actifs pour des épisodes fréquents à rare), soit au lit exceptionnel (remobilisation pour des événements très rares). Lorsque le figuré débordement sur ancien cône est associé à une terrasse, il indique une probabilité faible mais possible de remobilisation pour un épisode pluviométrique exceptionnel, essentiellement sous la forme de débordements annexes.

**Dépressions de lit majeur** : Ce sont des zones qui présentent une topographie un peu déprimée par rapport au niveau topographique moyen du lit majeur et qui sont d'origine naturelle.

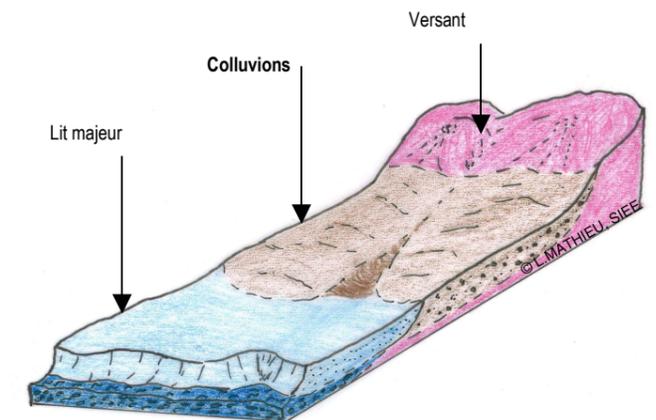
### 1.3.3 Les formations constituant l'encaissant de la plaine alluviale fonctionnelle

Elles comprennent les terrasses alluviales, les formations colluviales, ainsi que les versants encadrant directement la plaine alluviale. L'identification des unités qui constituent l'encaissant conditionne **la compréhension de l'histoire et des conditions de formation de la plaine alluviale**, et fait partie intégrante de l'interprétation hydrogéomorphologique. Leur report partiel en bordure des limites de la zone inondable, complété par celui de la **structure du relief**, facilite la lecture de la carte. Il permet par ailleurs aux aménageurs d'ouvrir la réflexion sur les alternatives envisageables par rapport à l'urbanisation en zone inondable, et par conséquent sur une problématique de planification spatiale. Leur identification est aussi nécessaire car elles ont un rôle important sur **l'activité hydrodynamique des cours d'eau** : les points durs rocheux favorisent des inflexions de méandre, et les formations des terrasses ou les dépôts de pieds de versant (éboulis, colluvions) constituent un stock sédimentaire potentiellement mobilisable par érosion des berges lors des crues. Ces structures héritées ont donc un rôle essentiel car elles contribuent à alimenter en matériaux grossiers les lits des rivières actuelles.

Les **terrasses alluviales** sont des dépôts fluviatiles fossiles formant un stock de matériaux grossiers considérable, témoins de l'hydrodynamique passée. Elles jouent un rôle en constituant des réserves aquifères ou en alimentant la charge de fond du cours d'eau lors des crues par sapement de berge. Elles sont cartographiées avec leur talus, qui peut lui-même former la limite de l'encaissant.

Les **versants** plus ou moins raides, sont taillés dans le substratum (roche en place) dans lequel la vallée s'inscrit.

Les **colluvions** sont des dépôts de pentes issus du démantèlement par l'érosion des versants, constitués d'éléments fins et de petits éboulis situés en pied de versant, et qui parfois viennent recouvrir les terrasses ou le talus du lit majeur.



### 1.3.4 Les zones d'inondation potentielle

Il s'agit de zones d'encaissant situées en dehors de la plaine alluviale fonctionnelle des cours d'eau mais néanmoins susceptibles d'être inondées :

- par débordement depuis le cours d'eau principal sur le versant par effet de surélévation naturelle de la ligne d'eau en amont d'un resserrement important de la vallée (gorges, verrous)
- par débordement depuis le cours d'eau principal, en raison d'obstacles ou de modifications anthropiques : c'est par exemple le cas en amont des remblais transversaux, ou lorsque des travaux ont modifié le tracé d'un cours d'eau.
- par débordement exceptionnel sur des parties anciennes des cônes (costières).
- par **ruissèlement** (pluvial urbain ou agricole) ou ravinement (cf. ci-après).

### ■ Inondation par ruissèlement ou ravinement

L'analyse hydrogéomorphologique s'attache initialement à déterminer la limite de la zone inondable correspondant au débordement naturel des cours d'eau dans leur plaine alluviale (inondabilité de type fluvial).

Cependant, les versants qui encadrent les cours d'eau étudiés sont parcourus par des ravins, des ravinements et des vallons secs qui constituent des vecteurs privilégiés des eaux lors de précipitations orageuses, et peuvent abriter de nombreux enjeux. Le ruissèlement est particulièrement présent sur la zone d'étude et justifie que l'on développe légèrement sa description. En effet, le caractère violent des précipitations est à l'origine de lames d'eau ruisselées importantes et d'autant plus érosive qu'elles se chargent de matériaux en suspension facilement mobilisables sur les sols traversés (cultures annuelles et permanentes).

Le **ruissèlement** est un phénomène complexe qui concerne la part de précipitation qui n'est pas absorbée par le sol et qui ne s'accumule pas à la surface, mais qui s'écoule dans le sens de la pente, en dehors du réseau hydrographique et finit par se concentrer en rigoles et torrents (Hillel 1974). Au cours de ce trajet vers l'aval, les caractéristiques de l'écoulement évoluent au fur et à mesure que son volume augmente et en fonction des terrains qu'il traverse. Il est possible de décrire de tels écoulements à l'aide des catégories décrites ci-après (C. Cosandey, 2000) :

- Le terme de **ruissèlement diffus** se réfère à un écoulement dont l'épaisseur est faible et dont les filets d'eau buttent et se divisent sur le moindre obstacle. En pratique, ce type de ruissèlement peut affecter l'ensemble du territoire lors d'orages localisés. Les ruissèlements diffus ne sont donc pas cartographiés dans l'atlas des zones inondables.
- Le **ruissèlement en nappe** correspond à une lame d'eau observée en général sur pente assez faibles, et qui occupe en largeur une partie importante du versant. Il peut emporter avec lui les matériaux de la surface qu'il traverse sans toutefois créer de ravinement à ce stade.
- Lorsqu'en raison des conditions topographiques et /ou des obstacles naturels ou anthropiques, les eaux de surface se rassemblent pour s'écouler le long d'un ou de plusieurs chemins spécifiques, on parle de **ruissèlement concentré**. Celui-ci est à l'origine des ravinements profonds creusés dans le sens de la pente.
- Le terme de ruissèlement anastomosé est parfois utilisé pour décrire un écoulement sur une surface étendue présentant des bras multiples se rejoignant par endroit, et pouvant constituer un état de transition entre l'écoulement en nappe et l'écoulement concentré.

Les ravinements et dépôts peuvent au cours d'un événement se développer et évoluer. A titre d'exemple, un lieu affecté de ruissèlement en nappe en début de crue peut se retrouver par la suite traversé par un écoulement concentré et vis-et-versa. Il est important de garder en mémoire que la limite entre ces formes est souvent difficile à définir avec précision.

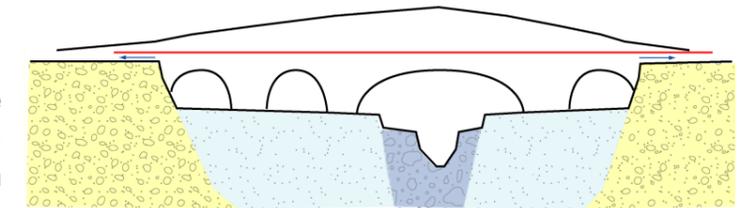
Au sein de l'atlas, le ruissèlement, représenté par une couleur verte, apparaît sous deux formes :

- des surfaces au sein desquelles les dynamiques de ruissèlement rencontrées peuvent être, suivant l'endroit et le moment de la crue, soit en nappe, soit anastomosés, soit concentrés.
- des flèches matérialisant les ravins secs et autres modelés topographique actuels, indiquant le passage, lors des événements pluvieux importants, de ruissèlements concentrés.

La cartographie proposée, qui résulte d'une analyse par photo-interprétation, doit être prise comme un travail destiné à mettre en évidence à un premier niveau la spatialisation des phénomènes. Les informations produites ne sont qu'indicatives et non exhaustives, et des études plus fines accompagnées de diagnostics de terrain conséquents qui dépassent le cadre de cet atlas sont nécessaires pour cerner plus précisément le risque sur ces secteurs.

### ■ Débordements liés à un obstacle anthropique ou à un aménagement

Les ouvrages d'art, les remblais transversaux, sans nécessairement engendrer de sursédimentation et d'exhaussement du plancher alluvial, provoquent une surélévation de la ligne d'eau (et ce d'autant plus s'il y a embâcle) qui peut entraîner des débordements sur l'encaissant. Ce phénomène de surcote et d'inondation de l'encaissant est le responsable principal des différences qui peuvent exister entre les limites des crues historiques et les limites hydrogéomorphologiques.



La mise en charge de l'ouvrage entraîne une surélévation artificielle de la ligne d'eau et des débordements sur les terrasses

Par ailleurs, il arrive que des aménagements anthropiques comme les barrages ou détournements de cours d'eau rendent inondables l'encaissant par débordement.

### ■ Inondations partielles d'anciens cônes (cf paragraphe précédent sur les cônes) ou inondation des terrasses depuis les cônes

Lorsque des cônes surplombent les terrasses, cette position dominante a pour conséquence de rendre inondable par ces mêmes affluents les terrasses anciennes qui ne le sont plus par le cours d'eau principal.

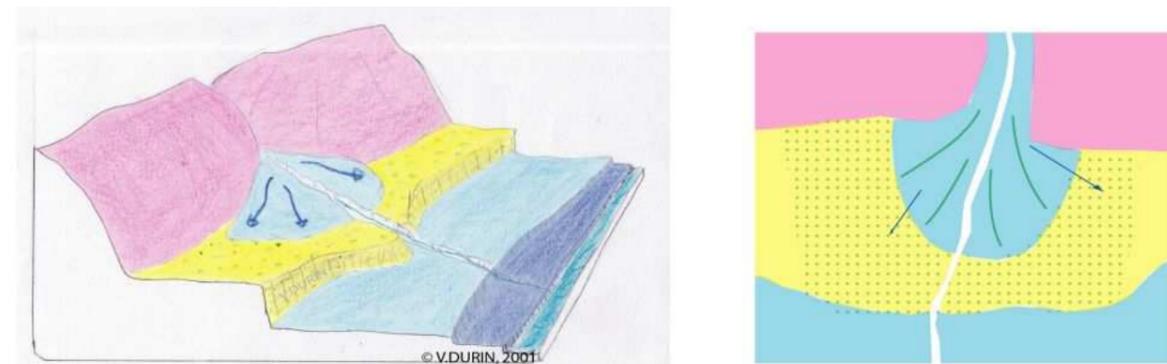


Figure 6 : Schéma d'un cône surplombant une ancienne terrasse et traitement cartographique

### ▪Ecoulements karstiques, pertes et résurgences

Les paysages karstiques se développent en terrain calcaire sous l'effet de l'altération chimique produite par les eaux météoriques et la végétation sur ces roches. D'un point de vue hydrographique cette altération se traduit par la formation au fil des millénaires d'un réseau souterrain de forte capacité influençant fortement les conditions de transfert des débits d'amont en aval. Deux éléments du paysage karstique jouent un rôle prépondérant dans la formation des crues :

- Les pertes, points d'entrée du réseau naturel souterrain, pouvant absorber un débit conséquent et éventuellement le transférer vers un autre bassin versant.
- Les résurgences, points de sortie du réseau naturel souterrain, restituant en surface une partie des débits pris en amont ou sur un autre bassin versant.

L'impact du réseau naturel souterrain sur la formation des crues est d'autant plus important que la surface drainée hors du bassin versant topographique est étendue, et que la saturation du réseau souterrain est forte en début d'évènement. On peut assister en prime à un effet de siphon se traduisant par un débit de sortie initialement faible subissant au-delà d'un certain seuil une brutale augmentation pendant la vidange des cavités internes concernées. Enfin, le cheminement souterrain de l'eau se traduit généralement par un décalage temporaire des pics de crue (retard ou avance par rapport au réseau aérien récepteur).

Si le département du Gard présente en de nombreux points des paysages karstiques, ceux-ci ne sont que très peu connus et leur étude approfondie sort du cadre du présent atlas. Cependant, les points particuliers de pertes et résurgences observées ou communiquées par les différents acteurs rencontrés ont été reportés sur les cartes, notamment sur les communes de Rochefort du Gard, Lirac et Saint-Laurent-des-Arbres.

### 1.3.5 Les éléments de l'occupation du sol susceptibles d'influencer le fonctionnement hydraulique de la plaine alluviale fonctionnelle

Les aménagements anthropiques, l'urbanisation, ainsi que certains éléments du milieu naturel ont des incidences directes multiples et variées sur la dynamique des écoulements au sein du champ d'inondation. Il ne s'agit pas ici de faire un relevé exhaustif de l'occupation des sols en zone inondable mais de faire apparaître les **facteurs déterminants de l'occupation du sol sur la dynamique des crues**.

De nombreux éléments anthropiques ont été cartographiés :

- dans et aux abords du lit mineur : recalibrages et rectifications des lits, seuils, barrages, digues, protections de berge, autant d'ouvrages faisant obstacle aux écoulements ou favorisant l'évacuation des crues vers l'aval
- les ouvrages de franchissement de la plaine alluviale (ponts, remblais des infrastructures routières, des voies ferrées, des canaux),



Photo 5 : Remblai barrant la plaine alluviale

- les aménagements divers (gravières, remblais),
- les campings,
- les bâtiments isolés non indiqués sur le fond de plan.

### 1.3.6 Le traitement cartographique de la plaine alluviale du Rhône.

Les aménagements de la Compagnie Nationale du Rhône destinés à la production hydroélectrique et à la navigabilité se traduisent sur le territoire couvert par cet atlas par un endiguement du fleuve isolant celui-ci de son ancien champ d'expansion des crues, fréquemment nommé ci-après « plaine alluviale du Rhône ». Les affluents qui traversaient initialement cette plaine pour se jeter dans le fleuve se jettent désormais en premier lieu dans le contre-canal, qui longe les digues du Rhône. Celui-ci, guide ces écoulements jusqu'en aval du barrage hydroélectrique le plus proche, ou jusqu'à une station de pompage spécialement conçue pour évacuer ces eaux dans le Rhône localement surélevé, de l'autre côté des digues.

L'ensemble de la plaine alluviale du Rhône, étant inondable par ce dernier si l'on ne tient pas compte de la présence des digues, est représenté au sein de cet atlas cartographique par une surface bleue qui correspond au **lit majeur indifférencié du Rhône et de ses affluents**. Ces zones protégées du Rhône par les digues CNR, sont sujettes au débordement des affluents, des roubines et du contre-canal.

La mise en place du dispositif de la CNR a causé la rectification du tracé des affluents et un fort allongement de leur traversée de la plaine alluviale rhodanienne. Les cours d'eau n'ont pas eu le temps, depuis ce changement récent des conditions d'écoulements, d'imprimer au sein de leur substrat actuel les unités hydrogéomorphologiques décrites ci-dessus. La délimitation précise des limites de champ d'inondation des roubines et du contre-canal au sein de l'ancien champ de débordement du Rhône ne peut être garantie par la méthode hydrogéomorphologique. Le champ d'action de cette méthode se restreint en effet aux cours d'eau naturels ayant eu au fil des siècles et des crues successives le temps d'éroder le substrat et de déposer des sédiments pour former les différents lits.

Toutefois, afin de répondre aux attentes du comité de pilotage ayant encadré la création du présent atlas, et dans le but de fournir quelques indications relatives au cas d'inondation provenant des seuls affluents, un figuré de « **premiers débordements des roubines** » a été ajouté afin de décrire les premières zones affectées par le débordement des roubines lors de crues. La délimitation de ces zones est issue de l'analyse des photographies aériennes stéréoscopiques ainsi que d'observations de terrain. Soulignons que les débordements lors de crues majeures des affluents peuvent aller au-delà de ces zones, et couvrir la majeure partie de la plaine alluviale. Les limites ainsi ajoutées doivent être impérativement maniées avec précaution car elles s'appuient sur des éléments morphologiques peu prononcés, parfois d'origine anthropique, et pouvant être discontinus ou modifiées par les travaux routiers et agricoles. Notons enfin que les débordements du contre-canal, entièrement artificiel, et bordé de part et d'autre par une digue n'ont pu faire l'objet de cette analyse.

Lorsque les limites de premiers débordements des roubines apparaissaient de façon nette et rapprochées (faible modification anthropiques des écoulements), le figuré de lit moyen a pu être ajouté de part et d'autre du cours d'eau.

Enfin dans l'optique de faire figurer sur l'atlas l'ensemble des observations issues de l'analyse des photographies aériennes stéréoscopiques, certaines zones faiblement inclinées du lit majeur indifférencié, susceptibles de voir

transiter les eaux météoriques sur sol saturé lors d'évènements pluvieux majeurs ont été marquées du figuré de zone d'inondation potentielle par ruissèlement.

### 1.3.7 Le traitement cartographique des grandes dépressions fermées.

Cinq grandes dépressions fermées font partie de la zone d'étude. Ces dépressions qui retenaient jadis des étangs du fait de leur caractère endoréique (=sans exutoire aérien) sont aujourd'hui drainées, généralement par des tunnels à travers un interfluve vers un cours d'eau récepteur. Des réseaux de fossés permettent le ressuyage de ces zones en tant de pluie ou de crue et la collecte de l'eau vers l'ouvrage de drainage principal. L'inondabilité actuelle de ces dépressions du fait des dispositifs de drainage a été assimilée à du lit majeur, leur inondation se produisant lorsque le réseau de drainage est insuffisant au transit du débit vers le cours d'eau récepteur.

Le niveau d'eau atteint dans ces dépressions à l'état naturel n'est pas connu. D'après un article de R. Bailly (L'assèchement des étangs de Rochefort-Pujaut, Rhodanie, Juin 1983) l'étang de Pujaut aurait eu « 18 m de profondeur par endroits ». On ne sait toutefois pas si cette valeur est fondée sur des archives ou une interprétation de la carte topographique. Si l'on admet la valeur donnée par R. Bailly, l'eau aurait alors dû surverser en crue par-dessus l'interfluve à l'est situé 2 m au-dessus de la cote supposée de l'étang. Selon cet auteur l'étang de Pujaut et de Rochefort formaient presque un seul étang alors que l'amas de gravier appelé « la Carène » « servait comme aujourd'hui pour le passage de la route ». Cependant le niveau de la route au sommet de cet amas domine le fond de l'étang de Pujaut de seulement 13 m. Il aurait donc dû être inondé si l'étang avait bien la profondeur indiquée.

Quoiqu'il en soit dans les conditions actuelles un tel scénario serait hautement improbable étant donné les volumes d'eau colossaux qui seraient nécessaires pour remplir la dépression de Pujaut avec 20 m de hauteur d'eau.

En conséquence, la cartographie réalisée s'est attachée à délimiter, à partir des limites morphologiques décelables dans le relief, les zones dont on peut raisonnablement penser qu'elles ont été inondables. L'estimation des volumes et de hauteurs d'eau potentielles pour un évènement rare de type centennale avec défaillance complète du dispositif de drainage montre que ces limites ne sont généralement pas atteintes.

## 1.4 LES PRINCIPAUX OUTILS UTILISES

L'analyse hydrogéomorphologique s'appuie sur les deux outils complémentaires que sont la photo-interprétation stéréoscopique et l'observation du terrain. Elles se pratiquent en deux séquences successives dans le temps, la photo-interprétation constituant un travail préalable indispensable au terrain, et dans l'espace : la photo-interprétation est utilisée pour réaliser la totalité de la cartographie, le terrain servant à valider cette interprétation. Ces deux approches complémentaires sont indissociables l'une de l'autre.

La photo-interprétation permet d'avoir une vision d'ensemble du secteur étudié, ce qui est souvent nécessaire pour comprendre son fonctionnement. Les observations de terrain apportent par contre de nombreuses informations sur la nature des formations qui constituent une surface topographique, élément essentiel de décision dans les secteurs complexes. Sur le terrain, on s'intéresse aux indices suivants :

- micro-topographie des contacts entre les différentes unités morphologiques, notamment des limites quand elles sont masquées par des dépôts à pente faible,
- nature des formations superficielles des différents lits,
- indices hydriques liés à la présence d'eau à la surface du sol ou à faible profondeur,

- végétation, dépendante de la nature des sols et de leurs caractéristiques hydrologiques,
- traces d'inondation : laisses de crue, érosions, atterrissements, sédimentation dans le lit majeur.

L'analyse hydrogéomorphologique s'appuie aussi sur une connaissance générale du secteur étudié et de son évolution passée, d'où le recours à un fond documentaire non négligeable constitué par la littérature universitaire, les études réalisées sur les secteurs étudiés et les cartes géologiques.

## 1.5 LES OUTILS COMPLEMENTAIRES

### 1.5.1 Etude des crues historiques

La connaissance des crues historiques constitue l'un des deux volets fondamentaux du diagnostic de l'aléa inondation. Elle est directement complémentaire de la cartographie hydrogéomorphologique. La fiabilité des données historiques étant très variable, l'exhaustivité de l'information a été recherchée.

### 1.5.2 Numérisation sous SIG

La cartographie hydrogéomorphologique réalisée sous la forme de cartes minutes papier a été entièrement numérisée sous SIG MAP INFO et ARC VIEW. On trouvera dans la notice du SIG la description des objets géographiques numérisés ainsi que leurs attributs graphiques. La mise sous SIG des données produites permet de les intégrer dans une base de donnée générale. Elle facilitera aussi leur consultation et leur diffusion, notamment sous INTERNET dans un proche avenir.

## 1.6 ATOUTS ET LIMITES DE LA METHODE HYDROGEOMORPHOLOGIQUE

La cartographie hydrogéomorphologique constitue un des outils disponibles pour diagnostiquer le risque inondation, complémentaire des autres méthodes hydrologiques et hydrauliques. En tant que telle, elle est différente, et possède ses propres atouts et limites qui sont aujourd'hui bien connus.

Analyse naturaliste fondée sur une science d'observation, elle permet uniquement d'obtenir des informations **qualitatives** : la quantification est limitée à la distinction des zones concernées par l'ensemble des crues, y compris les plus fréquentes, des zones uniquement submergées par les crues rares. En particulier, elle ne fournit pas d'indication directe des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement.

Elle permet par contre **de disposer rapidement d'une cartographie précise en plan et homogène sur l'ensemble du secteur traité**, qui prend en compte la dynamique naturelle des écoulements et l'histoire du secteur. Ceci permet notamment de pallier les insuffisances des séries statistiques hydrologiques et de mettre en évidence les tendances évolutives des cours d'eau (par exemple sur-sédimentation exhausant le niveau du plancher alluvial et entraînant par conséquent une tendance à l'extension de la zone inondable, ou au contraire tendance à l'encaissement du cours d'eau).

## 2 SYNTHÈSE DU FONCTIONNEMENT DES BASSINS VERSANTS

- **Objectifs** : présenter et mettre en évidence les principaux paramètres caractérisant les bassins versants du Gard Rhodanien et de la Camargue Gardoise ainsi que les facteurs essentiels qui influencent la formation des crues.

### 2.1 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

La carte suivante permet de situer les principales rivières, ruisseaux et roubines de la zone d'étude. L'ensemble des eaux de ceux-ci aboutit dans le Rhône, le petit Rhône, le Canal du Rhône à Sète ou le contre canal construit par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) au pied des digues de ce dernier.

La zone d'étude comprend 90 cours d'eau de petite taille, totalisant 196 kilomètres de linéaire. Ils sont répartis au sein de trois zones géographiques espacées les unes des autres d'une dizaine de kilomètres, et regroupant chacune plusieurs bassins versants adjacents :

1. Au nord, les bassins de l'Arnavé et de son affluent le Rieuprimen, occupent les territoires communaux de Pont-Saint-Espirit, Saint Alexandre, Carsan et Venejan. Au cours de cette étude, cette zone sera appelée **le bassin de l'Arnavé**.
2. Au centre, les bassins versants dits « du **Gard Rhodanien** » voient se concentrer les eaux des ruisseaux de Galet, de Nizon, des roubines du Grès, de l'Étang, de Jolivet et du vallat de Malaven pour ne citer que les plus importants. Les communes concernées sont Montfaucon, St-Geniès-de-Comolas, Sauveterre, St-Laurent-des-Arbres, Lirac, Tavel, Rochefort-du-Gard, Roquemaure, Pujaut, Villeneuve-lès-Avignon, Les Angles, Saze et Laudun.
3. Au Sud, la **Camargue Gardoise** accueille entre autres le valat des Crottes, le grand Valat, les ruisseaux du Valion, de Sainte Colombe, de Valladas et de la Crosse, sur les communes de Comps, Joncquièrre-Saint-Vincent, Beaucaire, Redessan, Manduel, Bellegarde, Garons, Générac, Saint-Gilles, Beauvoisin et Vauvert.

Ces trois zones qui seront étudiées séparément tout au long de cet atlas, s'alignent globalement du nord au sud le long du Rhône, qui marque la frontière orientale du département du Gard et de la région Languedoc-Roussillon.

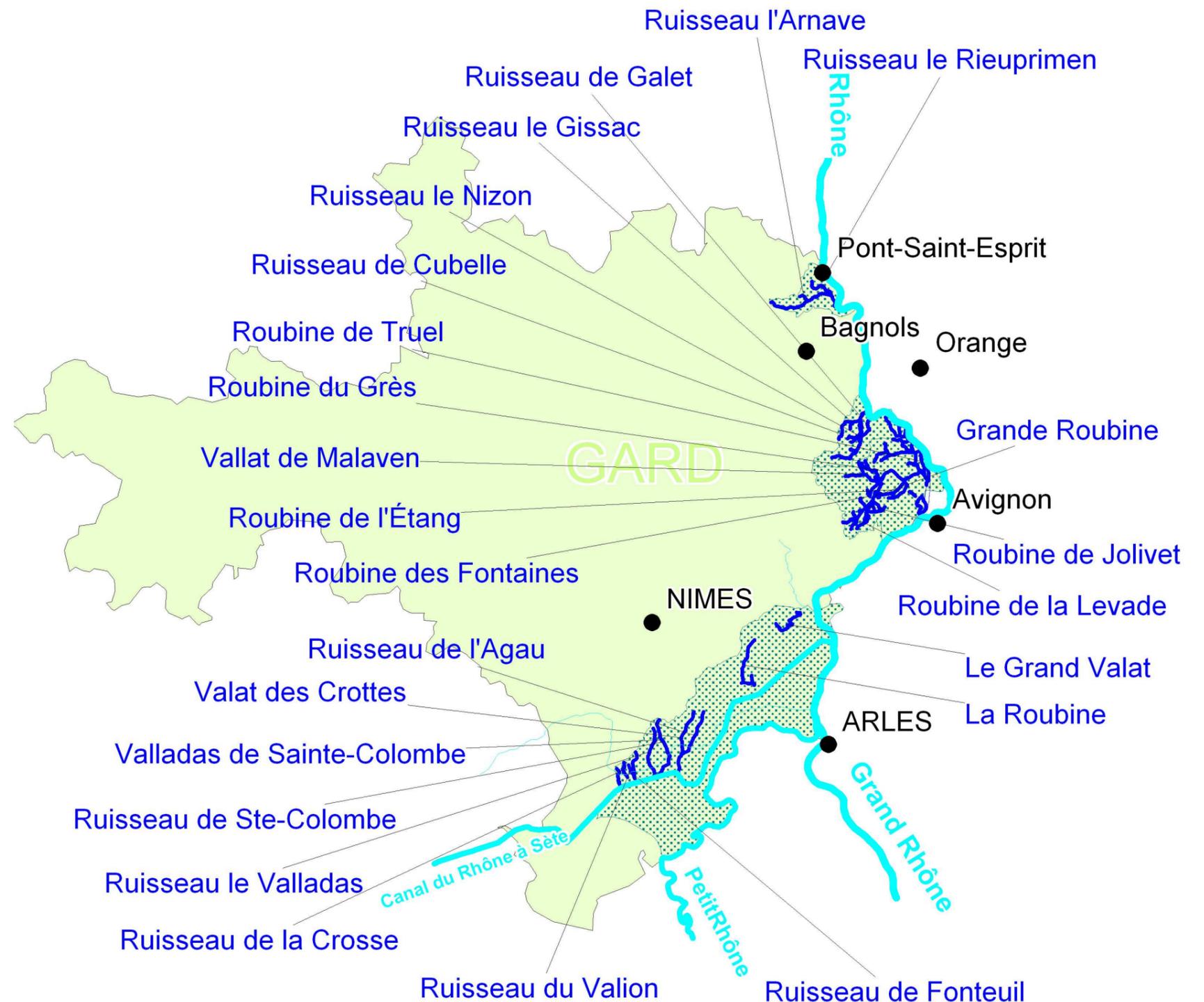


Figure 2.1, Localisation des cours d'eau étudiés

## 2.2 TOPOGRAPHIE ET ORGANISATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Les bassins étudiés sont topographiquement compris entre les sommets de collines peu élevés (au maximum 358 mètres d'altitude au dessus des sources de l'Arnavé), et le Rhône dont le niveau passe de 34 mètres à Pont-Saint-Esprit, à 2 mètres environ au sein de la Camargue (petit Rhône). Les dénivelées globales sont donc relativement faibles. Les cours d'eau traversent tous dans leur partie aval une portion plus ou moins grande de la plaine alluviale du Rhône ou du Petit Rhône. Ces larges étendues sub-horizontales ont fait l'objet de nombreux aménagements hydrauliques. Ci-après sont décrites les caractéristiques topographiques de chaque ensemble géographique.

### 2.2.1 Le bassin de l'Arnavé.

Culminant à 358 mètres au sein de la forêt domaniale de Valbonne, il est relativement allongé, de l'ouest vers l'est, et s'élargit fortement selon une direction Nord-Sud aux abords de la confluence avec le Rhône. Le ruisseau de l'Arnavé parcourt près de 12 kilomètres depuis sa source jusqu'au Rhône et reçoit entre autres les eaux du ruisseau de Rieuprime, principal affluent, au cœur de la plaine alluviale du Rhône. Cet affluent draine un bassin moins élevé, mais aussi étendu, qui s'étale en partie sur la plaine alluviale du Rhône et en partie sur le territoire urbanisé de Pont-Saint-Esprit.

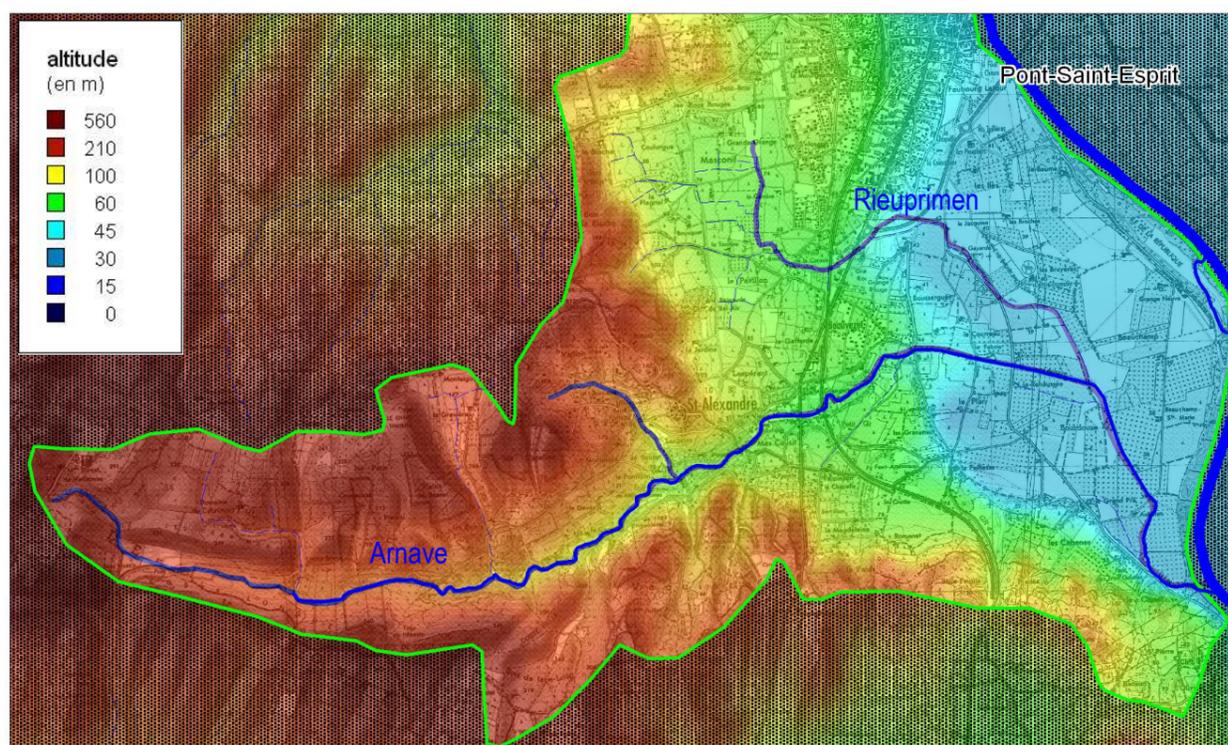


Fig 2.2 Bassin versant de l'Arnavé. En bleu apparaissent les cours d'eau étudiés dans cet atlas. (sources : Bd alti et Scan IGN).

Ce bassin, dont les données altimétriques sont présentées dans la carte, figure 2.2, mesure 36 kilomètres carrés. Un tiers de sa surface est constitué par le lit majeur du Rhône, (dominantes bleues) un tiers par la partie amont, rectiligne et pentue de l'Arnavé (dominantes marron), et le dernier tiers par une région peu mouvementée comprise entre 65 et 80 mètres d'altitude (dominantes vertes), sur laquelle la plupart des enjeux se concentrent.

### 2.2.2 Le Gard Rhodanien

Le rapport de phase 1 du « Schéma d'Aménagement Hydraulique des Bassins Versants du Gard Rhodanien » offre une synthèse de l'ensemble des travaux effectués sur cette zone. Le lecteur intéressé pourra se référer à cette étude exhaustive, de laquelle ce chapitre est en partie inspiré.

Le Gard Rhodanien est parcouru par un ensemble de cours d'eau naturels, parfois fortement recalibrés ou rectifiés, auxquels s'ajoute un grand nombre de drainages anthropiques le plus souvent regroupées sous la dénomination « Roubines ». Tous les cours d'eau se jettent dans le contre canal qui longe les digues du Rhône. Il est possible de décomposer cette zone en 4 principaux systèmes (sous-bassins versants présentés sur la carte ci-contre):

- le Système Nizon-Galets, environ 34 km<sup>2</sup>, drainés par les ruisseaux du Nizon, des Rats, de Gissac, et des Galets.
- le Système Montfaucon-Roquemaure-Sauveterre. D'environ 40 km<sup>2</sup>, cette plaine, ancien champ d'expansion des crues du Rhône, est drainée par des roubines (Cros, Islon, Lône de Roquemure, Roubine de la Ville, et Roubine du Truel).
- le système Pujaut-Rochefort-Saze, environ 80 km<sup>2</sup>. L'amont de ce grand bassin a la particularité de s'écouler vers les anciens étangs de Pujaut et Rochefort-du-Gard, drainés par un réseau dense de roubines (Grès, Etangs, Jolivet...). L'exutoire de ces dépressions, un tunnel façonné par la main de l'homme au dix-septième siècle, limite fortement le débit de sortie.
- le système Villeneuve-lès-Avignon-les Angles, 23 km<sup>2</sup>. Ce bassin très urbanisé, au relief amont marqué, est dominé par les phénomènes de ruissèlement jusqu'à la plaine alluviale du Rhône.

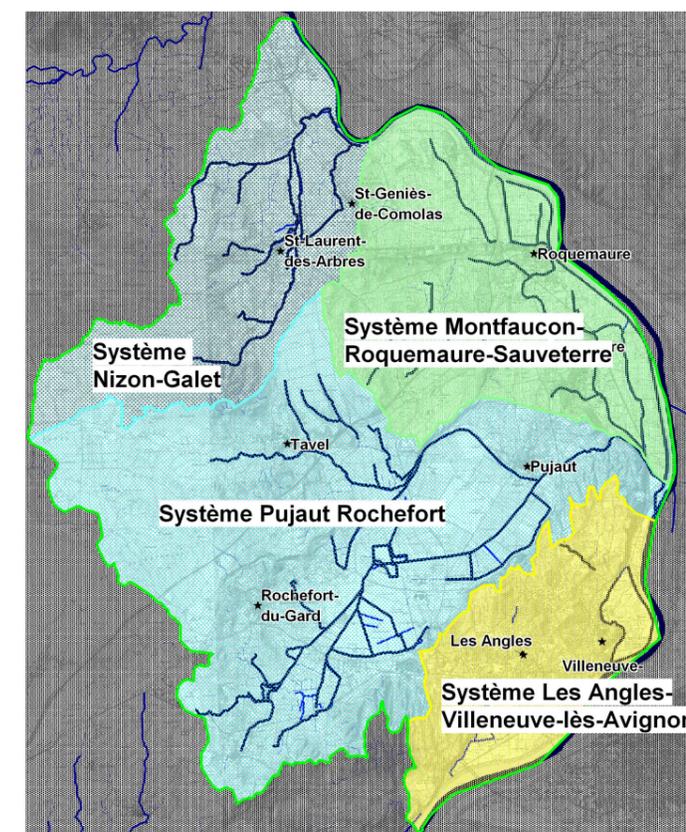
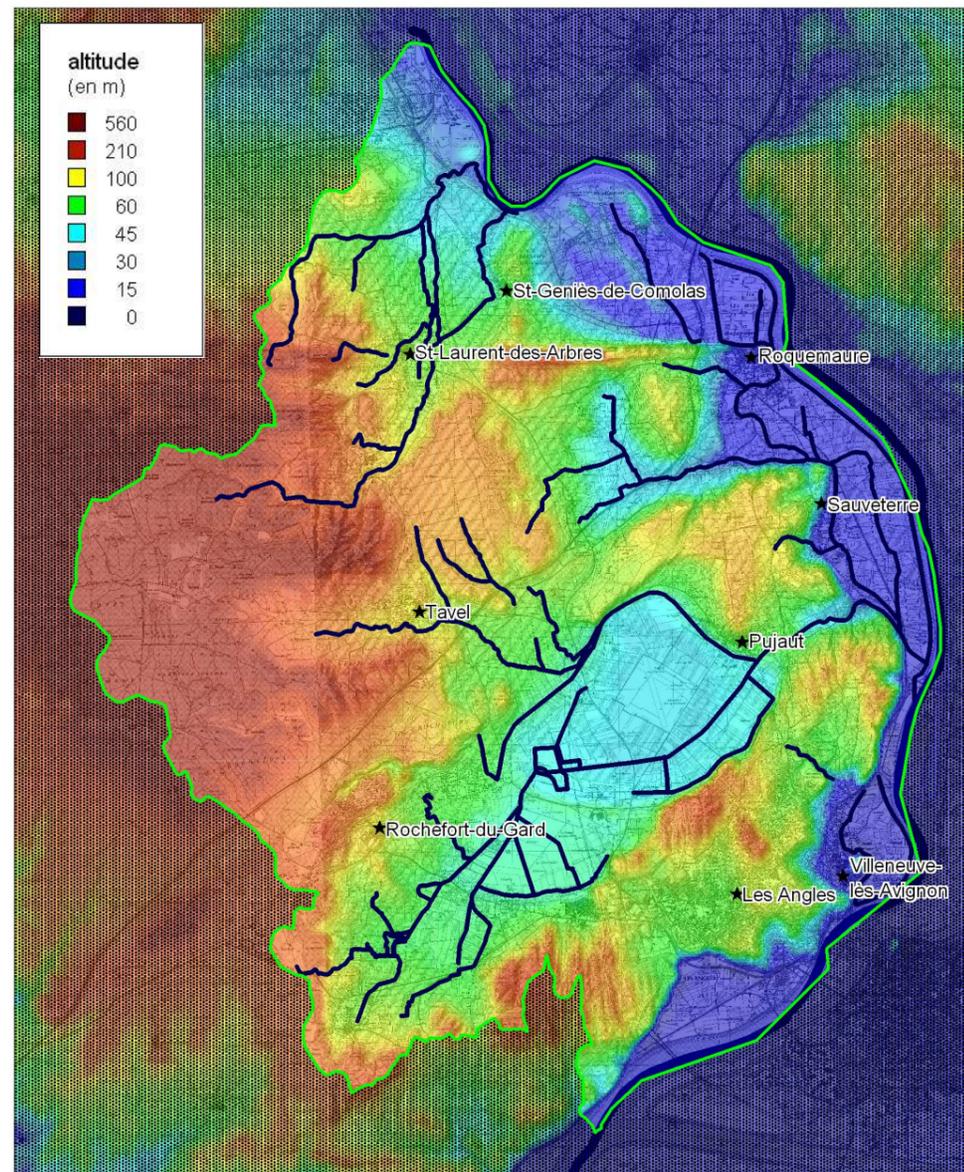


Figure 3 : découpage du « Gard Rhodanien en 4 sous bassins

Notons qu'à partir de Montfaucon et vers l'aval, la plaine inondable du Rhône est séparée et « protégée » de celui-ci par un système de digue. Au pied de celles-ci, un canal, nommé « contre canal », récupère les eaux des bassins versants décrits ci-dessus, ainsi que les eaux de percolation de la nappe, particulièrement abondantes étant donné la position surélevée de la surface libre de l'eau en amont des barrages hydroélectriques. Les eaux ainsi collectées sont rejetées dans le Rhône ou le Gardon en aval des barrages, parfois naturellement, parfois par pompage. Le dimensionnement du contre-canal, prévu pour évacuer les crues décennales, est insuffisant en cas de crue de débit supérieur.



Données topographiques sur le bassin versant du Gard Rhodanien. En bleu apparaissent les cours d'eau étudiés dans cet atlas. (Bd alti et Scan IGN).

le-Puy. Ces dépressions ont des altitudes comprises entre 40 et 50 mètres. Facilement inondables, elles constituent de grandes zones de stockage des eaux lors d'épisodes pluvieux importants. Leur cartographie a fait l'objet d'une attention particulière et leur fonctionnement est décrit avec plus de précision au sein du chapitre 4 d'analyse hydrogéomorphologique et historique des cartes du présent atlas.

La carte présentée ci-contre permet d'identifier les unités topographiques traversées par les cours d'eau du Gard Rhodanien. On identifie en bleu foncé, sur la bordure orientale, une région peu élevée (entre 30 m au nord, et 15 mètres au sud), plane, correspondant à la plaine alluviale du Rhône. Les têtes de bassin (tons de couleur marron et jaunes) culminent à 265 mètres d'altitude au Farlet. Entre les zones amont, légèrement accidentées, et la plaine alluviale rhodanienne, une zone de d'altitude médiane, (en vert et bleu clair) voit se détacher la large dépression de Pujaut, ancien lac dont les eaux ont été artificiellement guidées vers le Rhône par un tunnel. La seconde dépression, plus petite, au nord de celle de Pujaut est nommée Tras-

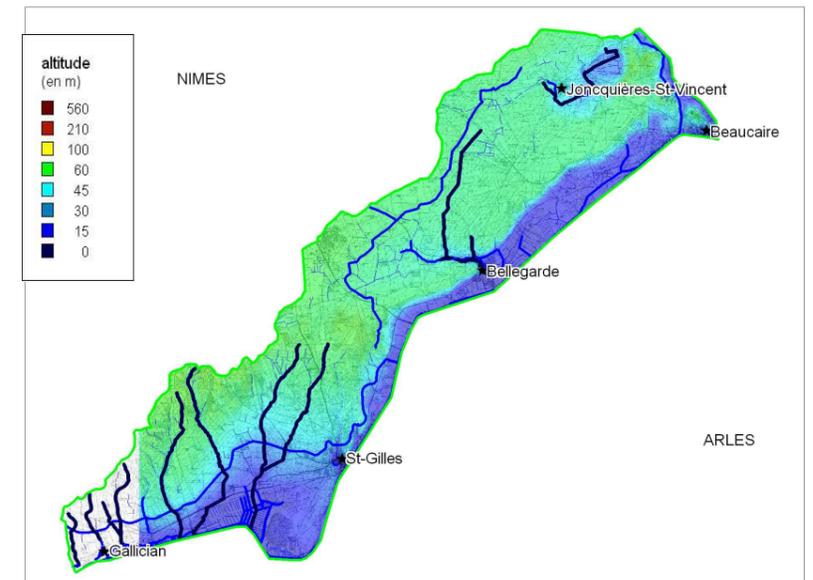
### 2.2.3 La Camargue Gardoise

La carte présentée ci-dessous permet de discerner les grandes unités topographiques des bassins de la Camargue gardoise étudiés dans cet atlas.

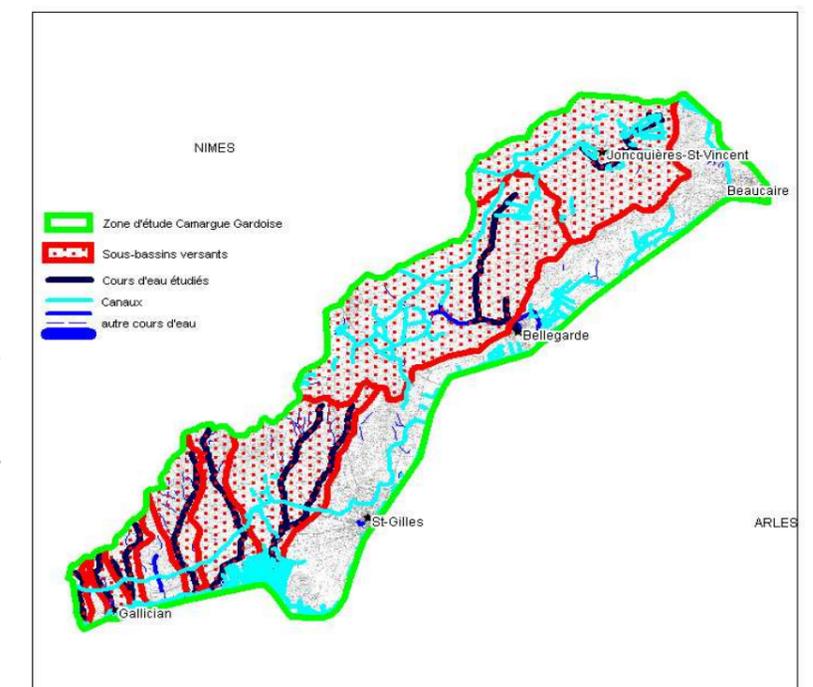
Les tons verts, d'altitude supérieure à 40 mètres correspondent aux Costières. Il s'agit d'un plateau légèrement accidenté qui voit naître les cours d'eau étudiés ici. Dans la moitié sud, ce plateau est régulièrement incliné vers la Camargue. Les cours d'eau y ont creusé un réseau de vallées parallèles d'orientation globale N-S. Dans la moitié Nord, en revanche, le plateau en gouttière (morphologie dite en synforme), guide le réseau hydrographique de ses bordures vers l'intérieur, pour finalement aboutir à deux exutoires principaux. Le premier, au niveau de Bellegarde est celui du ruisseau le Rieu. L'autre, au nord de Jonquières-St-Vincent est une perte au sein d'un

réseau karstique, au lieu dit la Palud, à environ 15 mètres d'altitude. En tons bleus, la bordure nord occidentale de la large plaine camarguaise s'identifie clairement. Située à une altitude de 3 mètres, il s'agit de la large plaine d'inondation de l'estuaire en delta du Rhône.

La carte ci-contre met en évidence les bassins versants des différents cours d'eau étudiés. On y observe aussi le dense réseau hydraulique aménagé par l'homme en Camargue, ainsi que les canaux traversant les costières (canal des costières, canal d'irrigation du Bas-Rhône Languedoc). La limite orientale de la zone représentée s'appuie sur le canal du Rhône à Sète, qui récolte les eaux des rivières étudiées.



Données topographiques sur les bassins versants de la Camargue Gardoise (En bleu, les cours d'eau étudiés)(BD Alti, IGN)

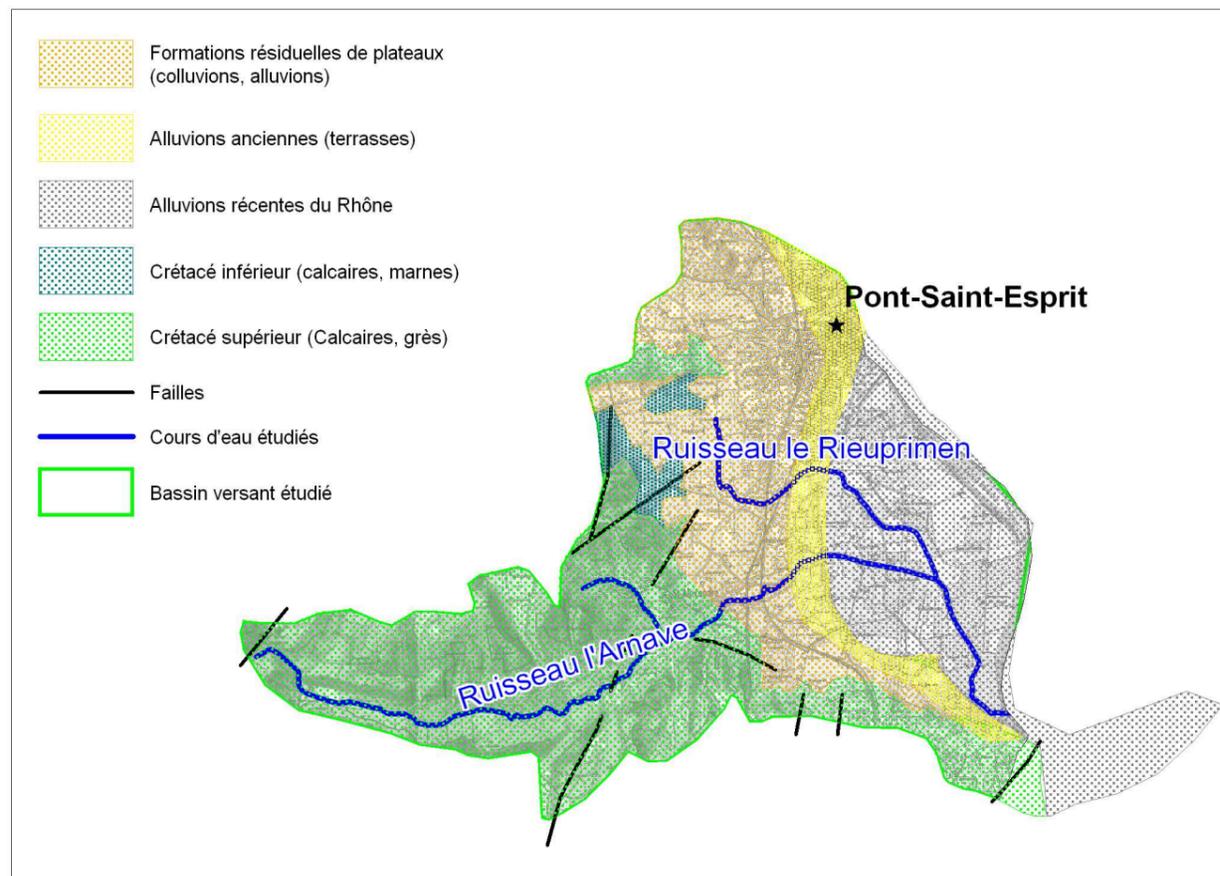


Réseau hydrographique et bassins versants des cours d'eau étudiés en Camargue Gardoise dans le cadre de cet atlas.

## 2.3 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

### 2.3.1 Le bassin de l'Arnavé

La partie amont du bassin de l'Arnavé repose sur un substrat constitué de dépôts marins mis en place à faibles profondeurs à la fin de l'ère secondaire (crétacé). Ces sédiments se présentent sous la forme d'une alternance de grès et de calcaires, ces derniers pouvant présenter une composante marneuse ou gréseuse plus ou moins



développée, témoignant des apports détritiques issus de l'érosion du Massif Central contemporaine aux dépôts.

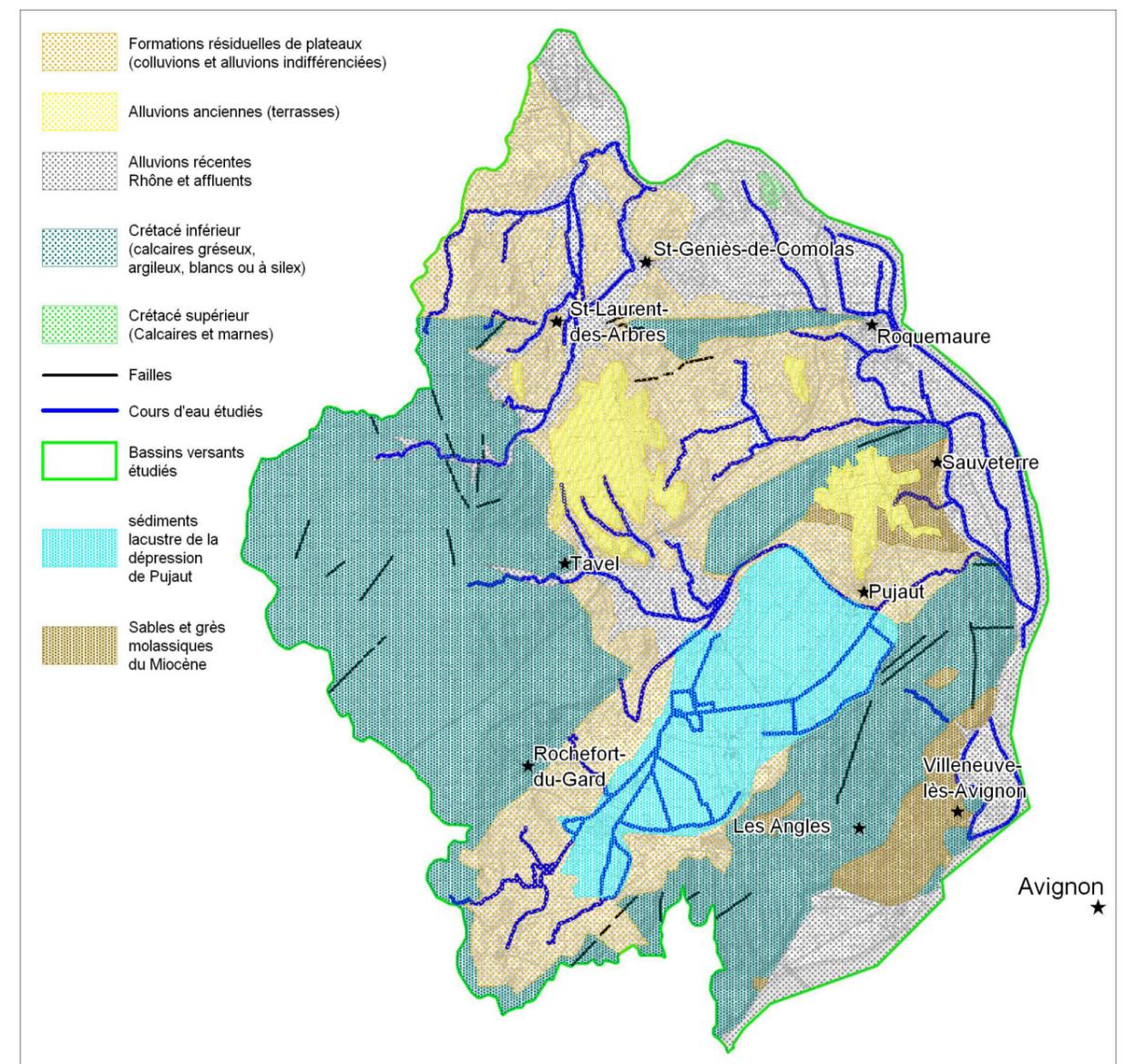
Sur le versant sud de la vallée du ruisseau de l'Arnavé, des colluvions de bas de pente (éboulis rocheux), se sont déposés au fur et à mesure de la décomposition du calcaire graveleux (Coniacien) qui en forme la partie sommitale. Le versant nord, moins pentu, présente des dépressions où se sont déposées de puissantes accumulations de matériaux loessiques (mise en place en contexte éolien) et de débris calcaires. Les matériaux disponibles et mobilisables par l'Arnavé en cas de crue dans sa partie amont sont donc abondants.

Le ruisseau de Rieuprime et les quartiers sud de la ville de Pont-Saint-Espirit reposent, eux, sur un terrain mis en place à l'ère quaternaire. Il s'agit d'un emboîtement complexe de terrasses et de colluvions. Les premières, mises en place par les anciens cours de l'Ardèche et du Rhône au cours de diverses périodes glaciaires, sont constituées de matériaux érodés en amont, largement au nord de notre zone d'étude. Leur composition est variée et leur forme émoussée par le transport. Les formations résiduelles et colluviales, en revanche, sont issues de la dégradation et du remaniement des couches géologiques locales, et en particulier des étages calcaires du secondaires décrits ci-avant.

Enfin, la zone de confluence entre l'Arnavé et le Rieuprime correspond au champ d'expansion des crues récentes du Rhône. Les matériaux limoneux y sont accumulés sur des épaisseurs pouvant atteindre 15 mètres. Perméables, ces matériaux peuvent selon leur niveau de saturation, soit absorber les eaux superficielles excédentaires, soit restituer en surface les eaux phréatiques excédentaires. Ce dernier cas est connu sous le nom de remontée de nappe et peut être la source d'inondations peu dynamiques mais prolongées.

### 2.3.2 Le Gard Rhodanien

La carte présentée ci-dessous offre une vision simplifiée du contexte géologique des bassins versants du Gard Rhodanien.



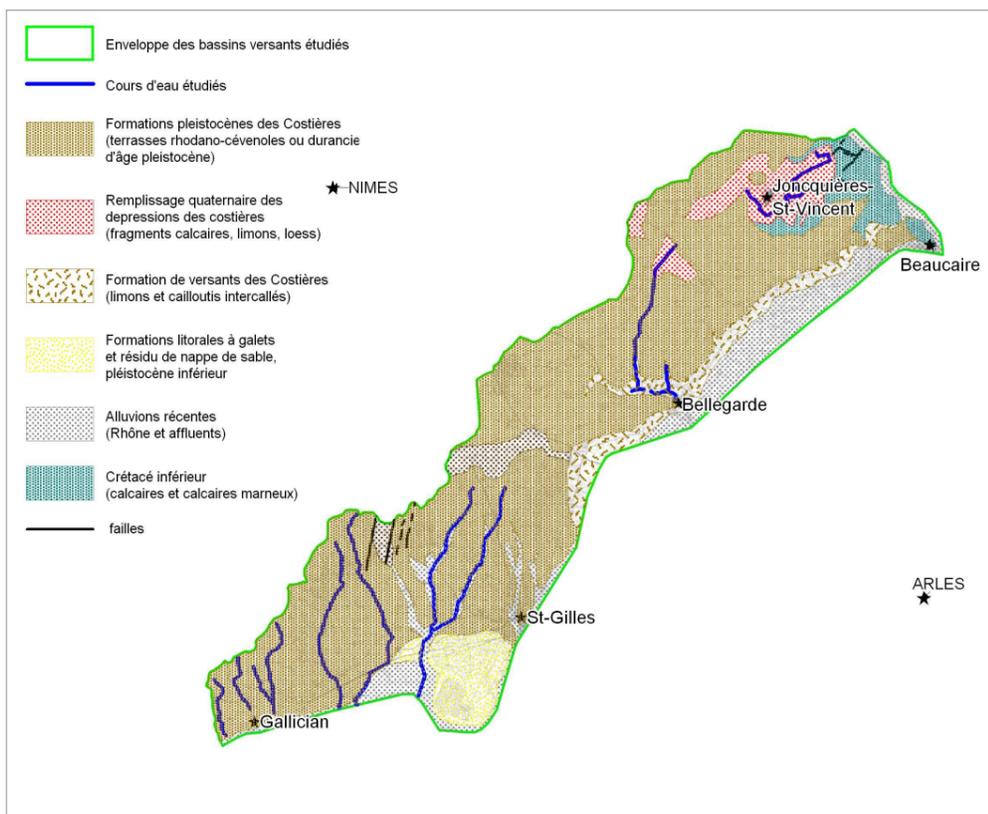
Comme au sein du bassin de l'Arnavé, on remarque que :

- les hauteurs des bassins versants s'inscrivent au sein des alternances de calcaires plus ou moins détritiques, de marnes et de grès déposés au cours du crétacé,
- les parties médianes des cours d'eau cheminent au sein d'une série intercalée de formations colluviales et alluviales anciennes, (notons qu'ici, les terrasses les plus étendues ont pu être différenciées et cartographiées en jaune),
- les parties avales des cours d'eau traversent les épaisses couches sédimentaires limoneuses récemment déposées par le Rhône.

On distingue de plus sur cette carte les sédiments lacustres déposés au sein de la dépression de Pujaut et Rochefort du Gard. S'y intercallent sur parfois 5 mètres d'épaisseur des limons, des craies et des couches de galets. Enfin, les sables et grès molassiques du miocène, présents à Villeneuve-Lès-Avignon et au nord de Pujaut, peu consolidés, offrent à la fois un potentiel important d'infiltration et de mise en suspension par les rares cours qui les traversent.

Les failles, représentées en noir sur les cartes géologiques simplifiées, correspondent à des fractures affectant les couches géologiques et sujettes à d'éventuels déplacements. Leur jeu peut en certaines régions influencer très fortement le tracé des rivières et la forme des bassins versant, ce qui influe finalement sur les mécanismes de formation des crues. Le peu de corrélation existant sur le bassin versant de l'Arnavé et de la Camargue gardoise entre le tracé des rivières et celui des failles indique que ces dernières n'ont pas influencé l'évolution des cours d'eau. La partie sud du Gard Rhodanien montre pour sa part une direction préférentielle NE-SW clairement mise en valeur par l'alignement des anciens lacs de Rochefort et de Pujaut, alignement qui se reflète aussi dans l'allongement du bassin versant correspondant.

### 2.3.3 La Camargue Gardoise



La majeure partie des bassins versants des Costières est constituée d'un substrat parfois nommé « formation détritique des Costières » mais aussi connu sous le terme de « cailloutis villafranchien.

Cette accumulation épaisse de plus de 10 mètres en moyenne, forme une roche cohérente composée de galets liées par une matrice argileuse et limoneuse. Ces

sédiments ont été mis en place dans un contexte fluvial lors des dernières périodes glaciaires. Les galets, fortement émoussés, proviennent, selon l'endroit, des hautes vallées du Rhône, de la Durance ou du Drac. Leur nature est variable, avec une forte dominance de quartz et de calcaires. Les terres rouges sont caractéristiques de l'altération de cette formation. Elles s'accumulent parfois sur plus de 5 mètres d'épaisseur et de par leur caractère plus meuble, constituent le gros des matériaux mobilisés lors des crues. Sous l'effet des phénomènes chimiques de dissolution et précipitation du calcaire par les eaux météoriques au cours de leur infiltration, un horizon calcifié, résistant et imperméable, apparaît fréquemment au sein des terres rouges à quelques décimètres de profondeur.

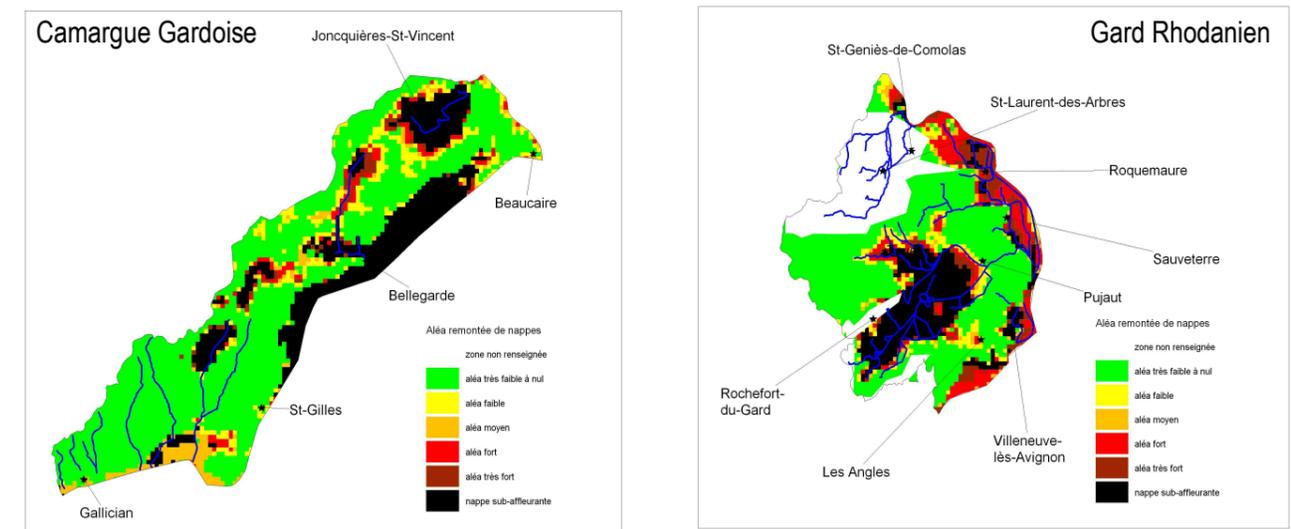
Les formations détritiques des Costières sont recouvertes par endroit d'une couche généralement inférieure à un mètre d'épaisseur de matériaux loessiques, c'est-à-dire issus d'un contexte d'érosion / dépôt éolien. Ces sédiments perméables, ocre, fins et non cohérents, parfois altérés, déposés par lentilles, constituent aussi une réserve de matériaux mobilisable par ruissellement lors des orages.

Quelques dépressions d'origines karstiques au sein de la formation des Costières (Jonquières-Saint-Vincent par exemple) sont remplies par des limons gris clairs et des argiles issues du colluvionnement des terrains adjacents. Ces matériaux plus fins peuvent eux faire obstacle à l'infiltration et accueillir des nappes phréatiques de faible profondeur. On retrouvera au paragraphe suivant ces dépressions en « aléa fort » ou « nappe alluviale sub-affleurante » au sein de la cartographie des zones inondables par remontées de nappes du BRGM.

Entre le plateau des Costières et la plaine camarguaise, le pied d'escarpement est masqué par une zone continue de colluvions issues de la décomposition du versant (éboulis, glissements de terrains et reptation). Galets et fragments rocheux s'y sont déposés au sein d'une matrice limoneuse sur plusieurs mètres d'épaisseur.

### 2.3.4 La problématique des remontées de nappes.

Les épaisses couches sédimentaires de la plaine alluviale du Rhône accueillent une nappe phréatique conséquente. Le niveau de celle-ci est particulièrement élevé. En effet, les retenues d'eau des barrages hydroélectriques gérés par la Compagnie Nationale du Rhône constituent des surfaces libres d'eau, artificiellement surélevée par rapport à la plaine, qui maintiennent une pression interstitielle élevée au sein de la nappe. Les contre canaux installés le long des digues ont entre autres rôles, celui de rabattre le niveau de la nappe phréatique. En cas



d'insuffisance de ceux-ci, on assiste aux phénomènes d'inondation par remontée de nappe.

Les inondations par remontées de nappes, si elles concernent potentiellement l'ensemble du lit majeur du Rhône, ne se limitent pas pour autant à cette zone. Les cartographies présentées ci-dessous sont issues de l'analyse de ce risque effectuée et mise à disposition en tant que donnée publique par le BRGM.

On constate que les zones dépressionnaires (Pujaut, Tras-le-Puy, Joncquières), sont susceptibles de produire ce type d'inondation dont la dynamique est faible et ne marque pas le paysage, mais dont les durées de submersion sont importantes et occasionnent de ce fait des dégâts et pertes économiques (bâti, cultures...). Notons que les zones en blanc, ainsi que le bassin versant de l'Arnavé ne sont pas renseignées par cette étude. On constate enfin que les zones dépressionnaires remblayées des bassins versants de la Camargue Gardoise, présentées plus loin dans ce chapitre, sont aussi sujette aux inondations par remontées de nappes phréatiques.

### 2.3.5 Synthèse géologique et géomorphologique

La région d'étude offre les caractéristiques suivantes:

- En amont des cours d'eau, prédominent les terrains calcaires et gréseux, fortement perméables, et potentiellement affectés de phénomènes karstiques tels que pertes et résurgences. Les pertes peuvent concerner une partie ou l'ensemble du débit d'un cours d'eau. Les résurgences peuvent être permanentes (sources habituelles) ou n'intervenir qu'en cas de saturation du réseau karstique, lors d'évènements exceptionnels. Relativement pentues, ce sont des zones de ruissèlement et d'érosion, où les eaux se chargent en matières solides.
- En aval, des terrains de plus faible granulométrie dominant, (limons, et argiles). S'y intercalent de couches perméables et imperméables, propices à la formation de remontées de nappes. De par leur horizontalité, ce sont des zones de dépôt des sédiments.
- Quelques dépressions fermées tapissées de matériaux peu perméables jouent, en cas de fort évènement pluvieux, le rôle de bassin de rétention des eaux. L'évacuation y est lente. Les eaux claires sortant de ces pièges à sédiments sont susceptibles d'éroder en aval et être source de phénomènes importants d'érosions et de divagations.

## 2.4 CONTEXTE CLIMATIQUE ET REGIMES HYDROLOGIQUES

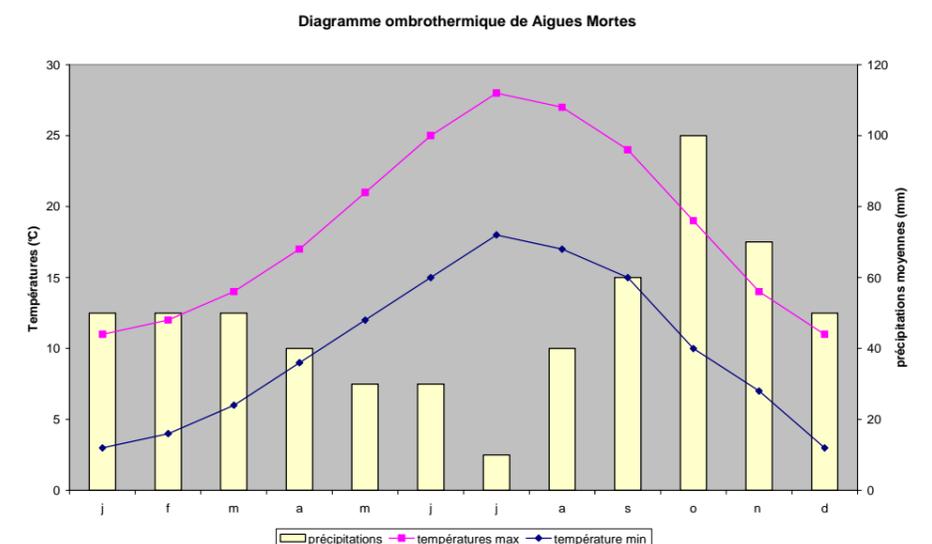
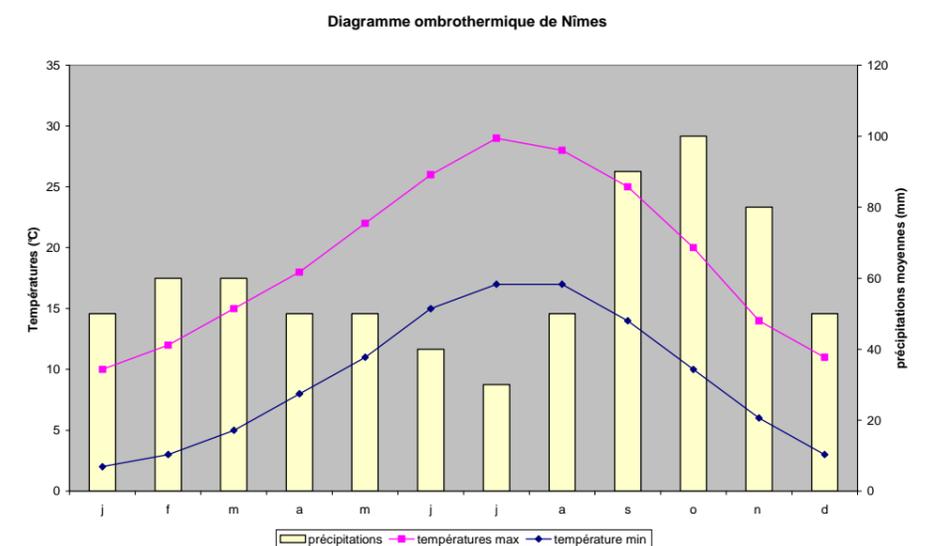
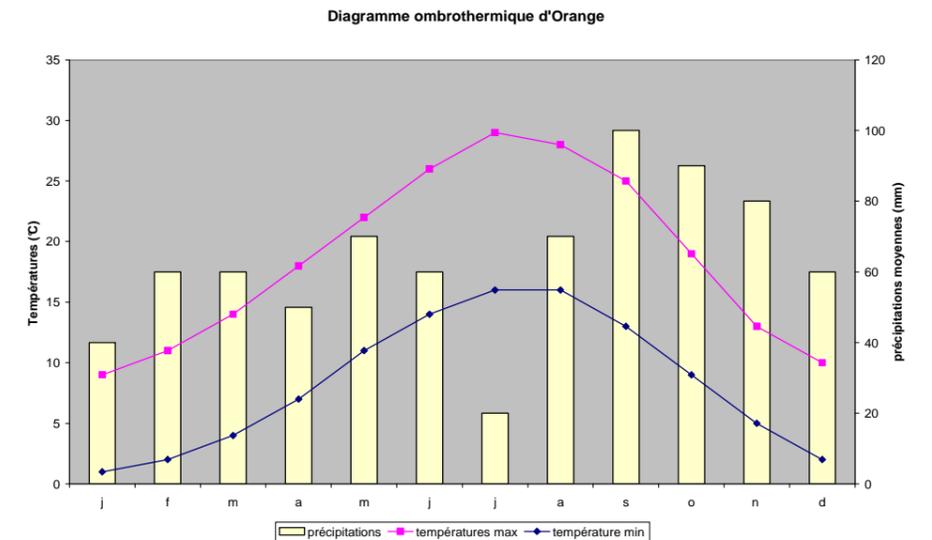
Le climat régnant au sein de la zone d'étude est d'influence principale méditerranéenne.

Les trois diagrammes ombrothermiques ci-contre d'Orange, de Nîmes et d'Aigues Mortes permettent de suivre du nord au sud la variation du climat au sein de la zone d'étude.

Le bassin de l'Arnavé, proche d'Orange, présente une répartition des précipitations sur l'année marquée par un mois de juillet très sec, caractéristique du climat méditerranéen, et un automne, légèrement plus arrosée que les autres saisons. Les températures minimales avoisinent les zéro degrés Celsius en janvier. Au fur et à mesure que

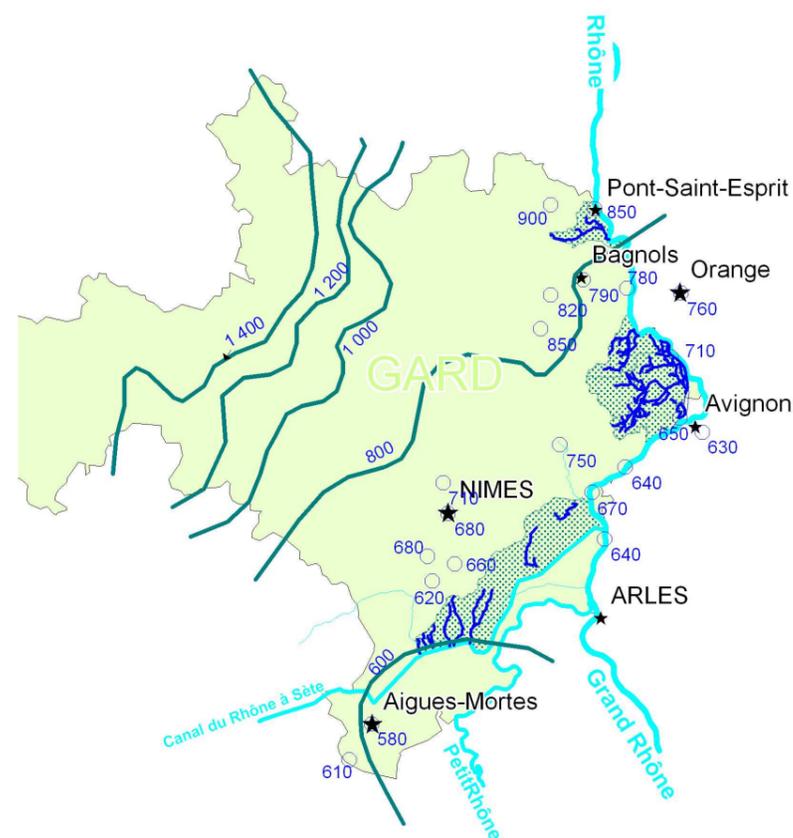
l'on descend vers le sud, l'influence méditerranéenne s'intensifie. Le cumul annuel des pluies diminue, mais le maximum automnale ne réduit que très peu, accentuant la variation saisonnière des précipitations.

Les températures varient peu d'une zone d'étude à l'autre. Les minimums s'adoucissent toutefois alors qu'on se rapproche de la méditerranée. Un trait caractéristique de la vallée du Rhône est l'importance des jours ventés. Le mistral y souffle près d'un jour sur trois en moyenne.



La carte ci-contre présente les pluviosités annuelles moyennes sur la zone d'étude. On y retrouve la réduction du nord au sud des lames d'eau précipitées. L'Arnavé, avec 850 mm/an reste toutefois bien peu arrosée en comparaison avec les hauteurs du département du Gard, situées plus à l'ouest.

Les variations pluviométriques inter-annuelles peuvent être très importantes, avec des années marquées par des périodes de sécheresse exceptionnelle ou au contraire des automnes et des hivers extrêmement pluvieux. L'intensité des averses et la très grande irrégularité des précipitations d'une année à l'autre sont en effet un autre trait propre à la région. Les régimes des cours d'eau sont donc contrastés. (H2Geau février 2006).



Précipitations moyennes annuelles dans l'est du département du Gard ( La météo de la France, J. Kessler, A. Chambaud, 86)

Le phénomène qui est à l'origine des fortes précipitations est celui qui produit les événements cévenols, un peu plus hauts sur les contreforts du Massif Central. Il s'agit de la concomitance de deux flux d'air, l'un provenant de la méditerranée, chaud et chargé en humidité, l'autre provenant du nord, froid, passant au dessus du premier. Le gradient thermique important résultant du chevauchement de ces masses déclenche de très fortes pluies, d'autant plus étendues dans le temps que la masse d'air méditerranéenne reste bloquée contre les reliefs cévenols et vivarois. A titre d'exemple, il peut tomber en 24h dans le Gard des hauteurs d'eau supérieures à 260 mm, soit le tiers des précipitations annuelles, comme ce fut le cas le 12 octobre 1990.

Si ces pluviométries sont exceptionnelles sur une même station du fait de leur limitation dans l'espace, en revanche, si l'on considère une zone de 15 à 20 km de rayon, leur période de retour est de l'ordre de 20 ans. Une analyse de la pluviométrie journalière (tableau 3) montre que ces événements pluvieux extrêmes sont beaucoup plus fréquents pendant les mois de septembre-octobre (42 % des pluviométries journalières maximales annuelles) (SIEE, 1994), entraînant des débits de crue conséquents. A titre d'ordre de grandeur, le tableau suivant présente les lames d'eau calculées par SIEE selon les différentes périodes de retour à Pont-Saint Esprit.

Pluies en 24 heures		Pluies en 48 heures		
Stations de mesures	P10 (en mm)	P100 (en mm)	P10 (en mm)	P100 (en mm)
Pont-Saint-Esprit	113	169	146	223

Tableau 3 - Pluies journalières décennales et centennales (Source : SIEE, 1994)

L'évènement du 8 et 9 septembre 2002 est un exemple d'évènement pluvieux exceptionnel sur la zone d'étude. Le tableau suivant présente les cumuls des pluies aux différentes stations pour 3, 6, 12 et 24 heures consécutives.

Situation	Pluie totale (mm)	Pluie max en 24h (mm)	Pluie max en 3h (mm)	Pluie max en 6h (mm)	Pluie max en 12h (mm)
Rochefort du Gard	310	280	117	176	179
Pujaut	315	276	111	161	178
Saint-Geniès-de-Comolas	422	400	170	264	289

Source : CALAMAR in BRLi 2007

L'analyse de ces précipitations (BRLi 2007) indique qu'un évènement tel que celui-ci est centenal sur 24h, c'est-à-dire qu'une pluie similaire aux 24 heures les plus pluvieuses de l'évènement de 2002 à pour une année donnée, une chance sur 100 de se produire. Sur 6h, l'évènement est vicennale (chaque année une chance sur 20 de se produire), et pour 3 heures cet évènement est décennal.

Les débits calculés pour différents cours d'eau correspondant aux crues décennales et centennales sont présentées dans le tableau ci-dessous (compilations de données in BRLi 2007)

Cours d'eau	Surface du Bassin Versant (km2)	débit décennal (m3/s)	débit spécifique décennal (m3/s/km2)	débit centennal (m3/s)	débit spécifique centennal (m3/s/km2)
Nizon		80		275	
Galet		30		60	
Nizon + Galet	34	110	3.24	335	9.85
Ruisseau des Islons au Canal de Roquemaure	12	47	3.92		
Vallat de Croze		4.6		17	
Truel en aval de l'ouvrage SNCF		28		125	
Truel + Four		36		133	
Malaven à la confluence avec les Fontaines		134		279	
Jolivet et Vallat blanc à leur confluence		165		355	
Système Pujaut Rochefort	80	299	3.74	634	7.93

Lorsque la surface du bassin versant est connue, le calcul des débits spécifiques permet d'obtenir une image du volume d'eau fourni par ruissèlement chaque seconde par un kilomètre carré du bassin versant.

Notons que les importants débits issus du système Pujaut Rochefort sont évacués par un seul exutoire, la roubine de Truel, tunnel dont le dimensionnement limite son débit à 8 m3/s. D'importantes accumulations se produisent donc en amont de cette roubine, au sein des anciens étangs de Rochefort et Pujaut.