Châteaurenard
de Provence

PLAN LOCAL D'URBANISME
REVISION

SERVICE JURIDIQUE
RETOUR INDISPENSABLE AU
Bureau d'Etudes et de Gestion

Département des
BOUCHES DU RHONE

Commune de

CHATEAURENARD

8.7 – Cartographie de l'aléa inondation par le Réal

S/PREFECTURE D'ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVEE



Vu pour être annexé à la délibération du 19 juillet 2006 approuvant les dispositions du Plan Local d'Urbanisme

Le Maire

CITADIA
Espace INGA
110 Parc Athéna
83190 **Ollioules**
Tél : 04.94.18.97.18
Fax : 04.94.18.97.19
www.citadia.com

POS approuvé le 03.11.88
Modification le 29.03.90
Modification le 02.05.91
Modification le 31.03.93
Modification le 04.05.95
Modification le 10.10.96
Modification le 02.10.97
1ère Révision approuvée le 27.03.02
Modification le 30.07.03
Modification le 08.12.04
2ème Révision en cours : projet PLU arrêté le 12.10.05

ETUDE

NOTE N° 98-13-078 - NOVEMBRE 1998

CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION PAR LE REAL

QUARTIER LA ROQUE (ZONE NA)

PREFECTURE D'ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVEE

COMMUNE DE CHATEAURENARD

ipseau

INGÉNIERIE POUR L'EAU, LE SOL ET L'ENVIRONNEMENT

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Profils en travers

ANNEXE 2 : Cartographie des zones inondables

ANNEXE 3 : Cartographie de l'aléa inondation
Crue de référence centennale

ANNEXE 4 : Plan topographique

S/PREFECTURE D'ARLES
/ 3 AOUT 2006
COURRIER ARRIVEE

SOMMAIRE

I - OBJET DE L'ÉTUDE 1

II - ETUDE HYDROLOGIQUE 2

2.1 Réseau hydrographique du Réal 2
2.1 1 Situation géographique 2
2.1.2 Le Réal aménagé pour l'irrigation 2

2.2 Le bassin versant 3
2.2.1 Morphologie 3
2.2.2 Occupation des sols et géologie 3

2.3 Climatologie et pluviométrie 4
2.3.1 - Caractéristiques climatiques générales 4
2.3.2 - Analyse des précipitations 4

2.4 - Estimations des débits de crues 5

III – ETUDE HYDRAULIQUE 8

3.1 Modélisation mathématique des écoulements 8
3.1.1 Le modèle mathématique utilisé 8
3.1.1 Géométrie et coefficient de rugosité 8
3.1.2 Méthodologie pour la modélisation des écoulements 9

3.2 Analyse des conditions de l'écoulement en crue 10
3.2.1 Capacité d'écoulement de la rivière le Réal 10
3.2.2 Le champ d'inondation en rive gauche du Réal, approche géomorphologique 10
3.2.3 Ecoulement de la crue décennale et centennale 11

IV – ZONAGE DE L'ALÉA 15

4.1 Préambule 15

4.2 Zonage de l'aléa 15

V - CONCLUSION 16

PREFECTURE D'ARLES
/ 3 AOUT 2006
COURRIER ARRIVEE

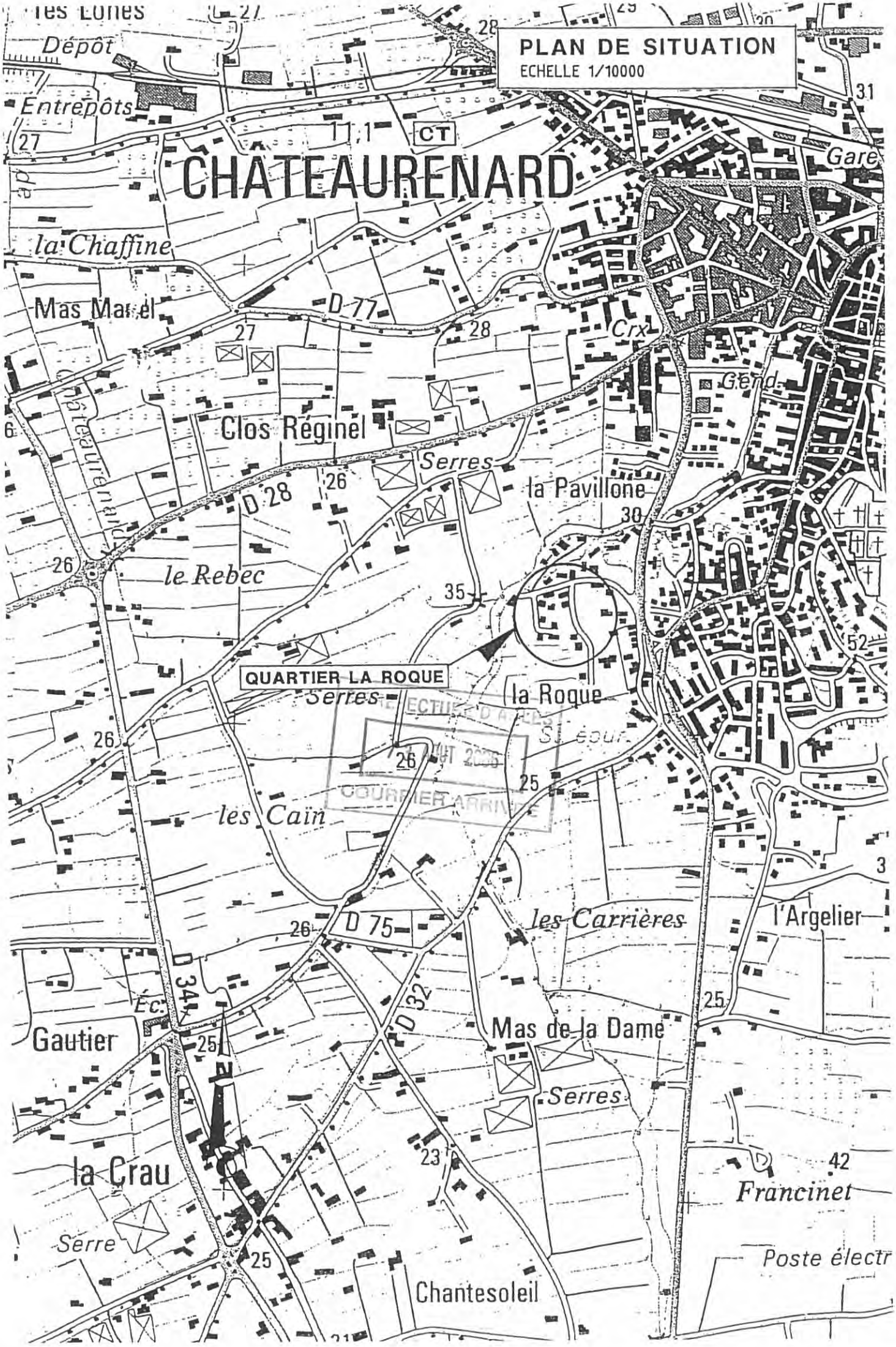
I - OBJET DE L'ETUDE

La commune de Châteaurenard (Bouches-du-Rhône) veut s'informer, dans le cadre de la révision de son plan d'occupation des sols (POS), des risques d'inondation liés au ruisseau le Réal, au sud sud-ouest de Châteaurenard *(cf. plan de situation)*.

Pour ce faire, le bureau d'étude IPSEAU est chargé d'effectuer, tout d'abord, une étude hydrologique permettant d'estimer les débits caractéristiques de crue du cours d'eau. Puis dans un deuxième temps, l'étude hydraulique précisera sur le secteur concerné, les contraintes et mécanismes d'écoulement et de débordement pour définir la zone inondable lors de crues décennale ou centennale, afin d'établir l'aléa inondation.

Ces deux études sont appuyées par une étude géomorphologique qui identifiera les différentes unités morphologiques du bassin versant ainsi que les talwegs, cuvettes topographiques et couloirs d'écoulement pour une meilleure définition des profils en travers.

S/PREFECTURE
13 AOUT 2003
COURRIER


PLAN DE SITUATION
ECHELLE 1/10000
CHÂTEAURENARD
Dépôt
Entrepôts
CT
Gare
la Chaffine
Mas Marcel
D 77
Crx
Gend.
Clos Réginel
Serres
la Pavillone
D 28
le Rebec
QUARTIER LA ROQUE
la Roque
les Cain
les Carrières
l'Argelier
D 75
D 34
D 32
Gautier
Mas de la Dame
la Crau
Serre
Francinet
Poste électr
Chantesoleil

II - ETUDE HYDROLOGIQUE

2.1 Réseau hydrographique du Réal

2.1 1 Situation géographique

A l'origine, le Réal prenait sa source dans le massif du Rougadou. Mais pour des raisons d'irrigation, le Réal a été aménagé, et il reçoit les eaux du Grand Anguillon par l'intermédiaire d'une vanne.

Dans la commune de Châteaurenard, le Réal est en partie canalisé et souterrain, puis il s'étend jusqu'à la commune d'Eyragues au Sud où il se jette dans le canal du Viguiérat.

La zone d'étude, "quartier la Roque", est située entre le lieu-dit de la Pavillone et le chemin Saint Gabriel *(cf. limite de la zone d'étude)*.

2.1.2 Le Réal aménagé pour l'irrigation

Le Réal est utilisé essentiellement pour l'irrigation. En effet, le syndicat des arrosants de Châteaurenard contrôle le vannage entre le Réal et la rivière le Grand Anguillon pour modifier le débit d'irrigation.

Au niveau de la vanne, la capacité maximale acceptée par le Réal est de 1240 l/s en irrigation. Au niveau du Mas d'Arliac et de la Pointue, le Réal déverse une partie de ses eaux en direction du canal de Châteaurenard. Le débit maximal pouvant être dévié est de 1000 l/s en irrigation.

Le débit maximal restant dans le Réal est de 240 l/s en irrigation.

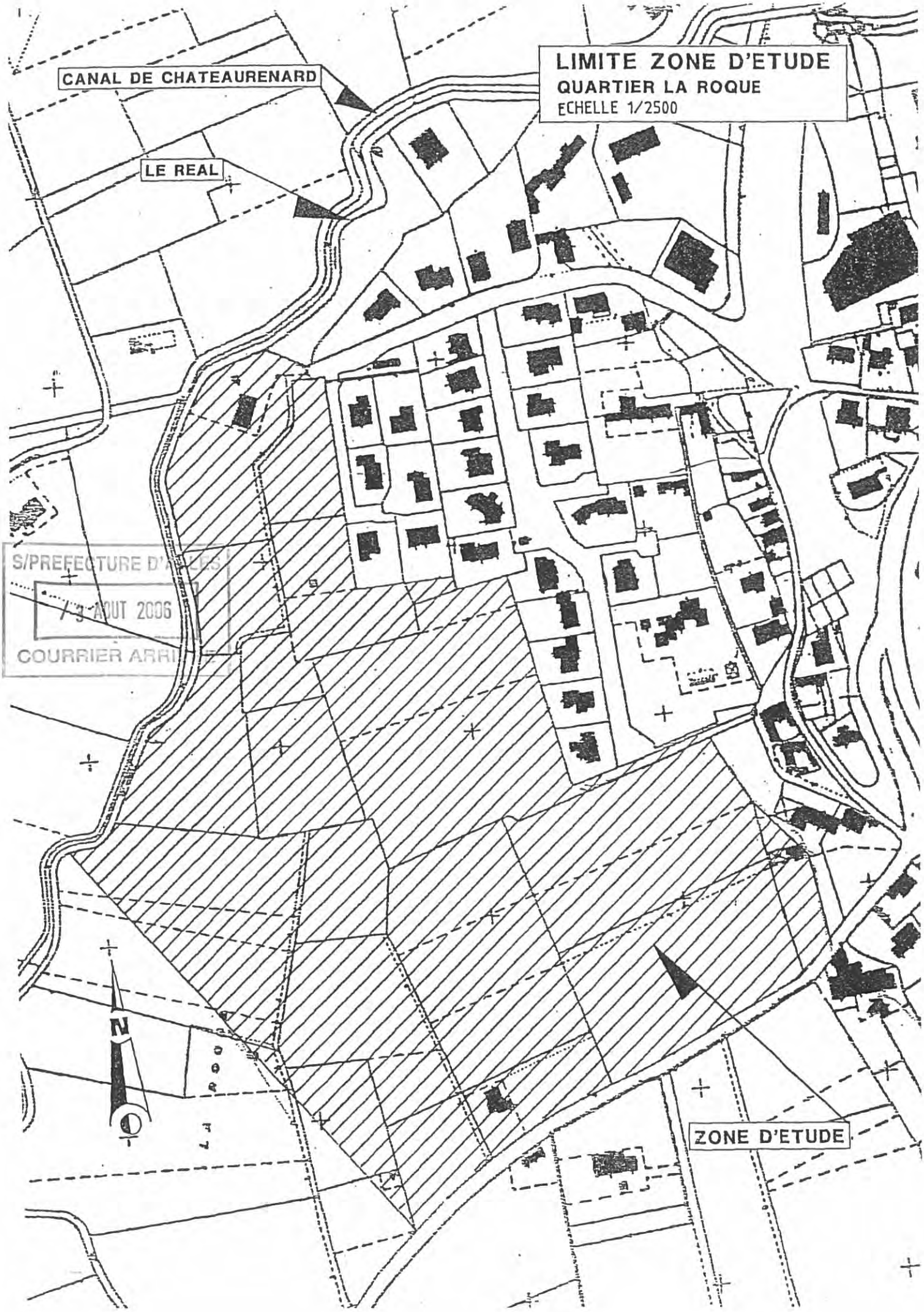
Le Réal au Sud de Châteaurenard, lieu-dit de la Roque, déverse une partie de ses eaux dans deux canaux principaux pour l'arrosage des parcelles cultivées :

/ 3 AOUT 2006

- Un premier en rive droite qui s'étend le long du chemin de Rosette,
- Un deuxième en rive gauche qui s'écoule dans les champs cultivés pour se connecter avec un autre caniveau le long du chemin Saint Gabriel.

En cas d'orage :

- l'alimentation en eaux du Réal au niveau du Grand Anguillon est coupée afin que le cours d'eau puisse accepter les eaux de pluies,
- les vannes des canaux d'arrosage sont fermées, laissant s'écouler un léger fil d'eau. Ces canaux pourront donc accueillir les eaux de pluie et également évacuer en partie, les écoulements des crues débordantes du Réal.


LIMITE ZONE D'ETUDE
QUARTIER LA ROQUE
ECHELLE 1/2500
CANAL DE CHATEAURENARD
LE REAL
S/PREFECTURE D'ALES
31 AOUT 2006
COURRIER ARRI
N
ZONE D'ETUDE

2.2 Le bassin versant

2.2.1 Morphologie

Les plus hauts sommets du bassin versant culminent à une altitude de 100 m environ, avec notamment le pic du Chabaud sur la commune de Châteaurenard.

Le Réal, lui, s'écoule dans la plaine, et ne prend sa source qu'à une altitude de 40 m environ.

Après connaissance du réseau d'eau pluvial de Châteaurenard (réseau souterrain, lieux de stockage avec les bassins de rétention), la superficie du bassin versant a été déterminée par planimétrie à partir des cartes IGN au 1/25000 du secteur.

La superficie du bassin versant du Réal pour la zone étudiée est de 5,1 km² *(cf. plan du bassin versant).*

De nombreux canaux communiquent avec le Réal mais celui-ci a uniquement deux affluents naturels, un premier qui se jette dans le Réal à hauteur du Pont Favier et un deuxième le ruisseau, la Reyrade, en amont de Eyragues.

Le tableau 1 ci-dessous récapitule les principales caractéristiques du bassin versant, localisé sur la carte 1 ci-après :

	Bassin versant du Réal
Superficie du basin versant (km²)	5.1
Longueur du plus long drain hydraulique (m)	5700
Altitude maximale (mNGF)	40
Altitude minimale (mNGF)	25
Pente moyenne (%)	0.26

Tableau 1 : Caractéristiques du bassin versant

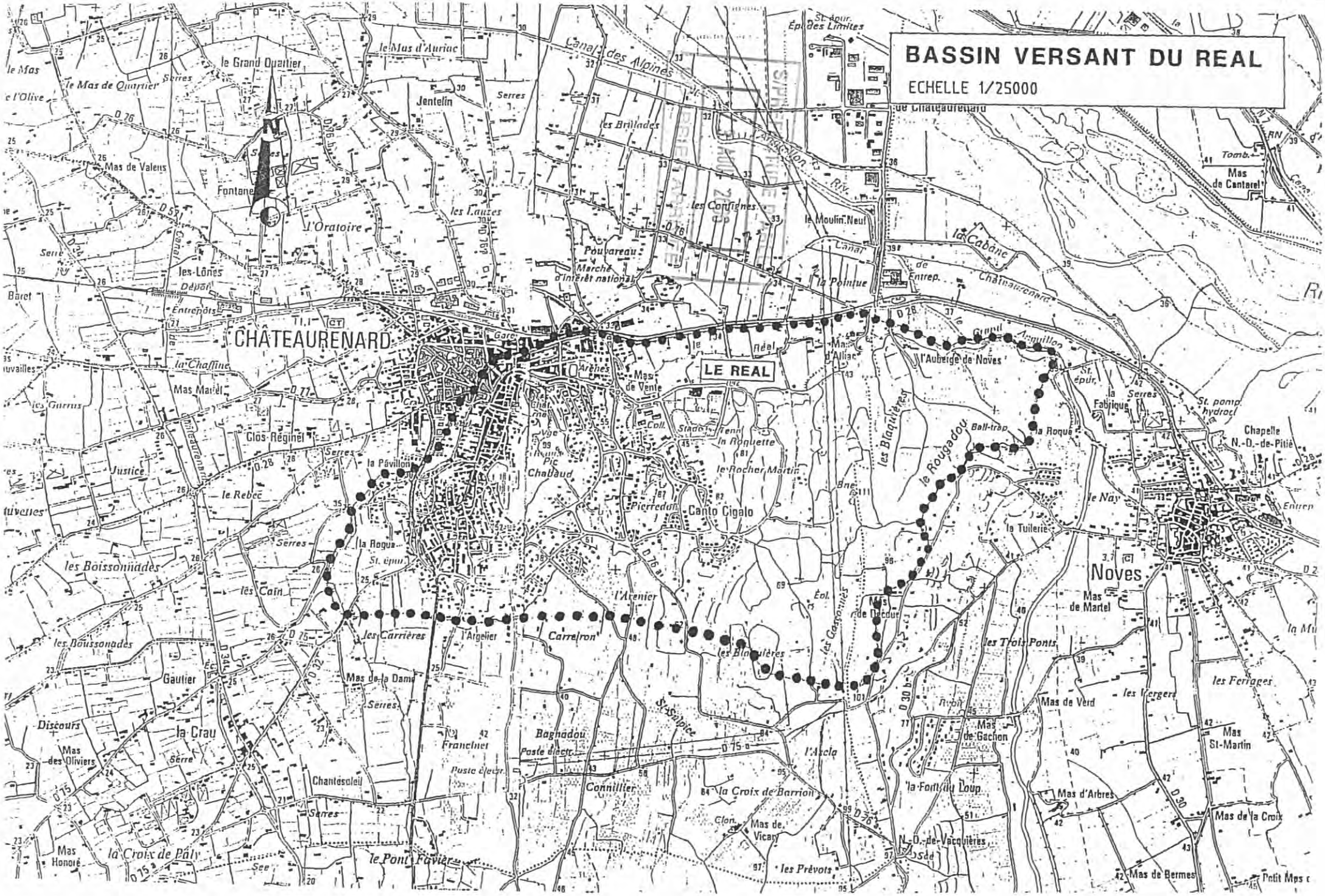
SIPREFECTURE D'ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVÉE

2.2.2 Occupation des sols et géologie

a) Géologie

La ville de Châteaurenard repose sur des calcaires à silex (calcaire dur). Au sud de la ville, le sol est constitué d'un mélange d'argiles, limons et cailloutis.

De sa source à Châteaurenard, le Réal s'écoule dans une plaine alluvionnaire fluviatile moderne du Rhône et de la Durance où dominent des limons, graviers et galets. En aval de Châteaurenard et jusqu'à la limite Sud de son bassin versant, le Réal progresse dans une zone alluvionnaire fluviatile moderne du Vertet et du Viguiérat, principalement constitué de limons.


BASSIN VERSANT DU REAL
ECHELLE 1/25000
CHÂTEAURENARD
LE REAL
Noves
Canal des Alpines
Canal de Entrep.
Châteaurenard
le Grand Quartier
le Mas d'Auriac
Jentelin
les Brûlades
Mas de Valens
Fontanel
l'Oratoire
les Lauzes
les Confignes
le Moulin Neuf
la Cabane
Pouvareau
Marché d'intérêt national
la Pointue
les Lônes
Entrepôts
la Chaffine
Mas Martel
Clos Réginel
la Pavillon
Justice
le Rebec
Pic Chabaud
Pierredon
Canto Cigalo
la Roquette
le Rocher Martin
l'Auberge de Noves
la Roque
le Rougadou
Ball-trap
la Fabrique
Chapelle N.-D.-de-Pitié
le Nay
la Tuilerie
Mas de Martel
les Boissonnades
les Cain
les Carrières
l'Argelier
Carrelron
l'Arenier
les Blaquières
les Gasconnes
Mas de Décour
les Trois Ponts
les Ferrages
les Vergers
Mas de Verd
Mas de Gachon
Mas St-Martin
Gautier
Mas de la Dame
Discours
la Crau
Mas des Oliviers
Francinet
Bagnadou
Poste électr.
St-Sulpice
l'Ascla
Connillier
la Croix de Barrion
la Font du Loup
Mas d'Arbres
Mas de la Croix
Chantesoleil
Mas de Vicary
N.-D.-de-Vacquières
Mas Honoré
la Croix de Paly
le Pont Favier
les Prévots
Mas de Bermes
Petit Mas

b) Occupation des sols

Le bassin versant comporte une zone urbanisée représentée par l'agglomération de Châteaurenard. A l'extérieur de cette zone, l'habitat est plus diffus et le sol est essentiellement composé de vergers, vignes ou cultures sous serres. Les bois de conifères peuplent les hauteurs à l'Est du bassin versant.

Le tableau 2 présente la répartition en pourcentage de la couverture végétale et urbaine du bassin versant :

	Habitats (%)	Forêts (%)	Cultures : vignes, vergers (%)
Bassin versant	38	14	48

Tableau 2 : Occupation des sols

2.3 Climatologie et pluviométrie

2.3.1 - Caractéristiques climatiques générales

Le secteur d'étude est situé dans une région dont le climat est à nette tendance méditerranéenne, caractérisé par des sécheresses estivales et des orages violents. Ces pluies localisées de forte intensité provoquent souvent des inondations brèves et catastrophiques.

Les pluies sont relativement peu importantes, de l'ordre de 655 mm par an en moyenne et les principaux apports sont enregistrés à la fin du printemps ou à l'automne.

La température moyenne réduite au niveau de la mer est de l'ordre de 14,5 °C.

2.3.2 - Analyse des précipitations

Les valeurs des précipitations retenues pour les pluies mensuelles et annuelles sont celles de la station de Saint Rémy de Provence au Sud de Châteaurenard (données Météo-France) pour une période d'observation de 16 ans (1967-1983) *(cf. Tableau 3 : Précipitations annuelles moyennes)*.

2 AOUT 2006

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total annuel
Moy. annuelle	43.8	62.4	60.1	56.3	63.6	39.8	34	27.7	53.8	112.9	48.6	71.5	654.8
Nbre. d'années manquantes	6	5	8	5	5	4	6	6	5	4	1	5	13

Tableau 3 : Précipitations annuelles moyennes

Pour les précipitations maximales sur une courte durée, c'est la station de Salon de Provence qui a été retenue car elle apporte des informations pour des pas de temps compris entre 6 mn et 24 heures et pour des périodes de retour s'échelonnant ente 10 ans et 50 ans.

L'analyse des quantités de pluies recueillies sur la station pluviographique de Salon de Provence (données Météo-France) s'est étalée sur une période d'observation de 19 ans (1968-1986) *(cf. tableau 4)*.

A ces données s'ajoutent, les coefficients de Montana décennaux qui ont pu être obtenus par un ajustement statistique à partir des pluies intenses enregistrées sur le poste de Salon (données CEMAGREF) *(cf. tableau 4)*.

La formulation de Montana permet une représentation mathématique reliant l'intensité ou la hauteur de pluie à la durée de l'événement considéré.

Elle est ajustée en général pour les pluies supérieures à un seuil et centrées. Elle s'exprime de la façon suivante :

$$H(t) = a.t^{(1-b)}$$

Avec :

H(t) : hauteur de pluie précipitée, en mm, pour la durée t

t : durée, en heures, de l'événement pluvieux considéré

a et b : paramètres de Montana, caractéristiques de la région et dépendants de la période de retour

Durée considérée	Période de retour					Coefficients de Montana			
	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	Pluies < 4 h		Pluies > 4 h	
						a_{10}	b_{10}	a_{10}	b_{10}
6 mn	9.3	11.6	13.1	14.6	16.4	45.3	0.55	/	/
15 mn	14.8	19.4	22.4	25.3	29	45.3	0.55	/	/
30 mn	20.7	27	31.1	35	40.1	45.3	0.55	/	/
1 h	/	/	45.9	53	62.6	45.3	0.55	/	/
2 h	34.2	48.3	58.2	68.2	81.7	45.3	0.55	/	/
3 h	38.7	54.8	66.3	77.8	93.2	45.3	0.55	/	/
6 h	45.7	65.8	80.7	95.9	118.8	/	/	61.6	0.77
12 h	55.1	74.7	88.1	101.1	118.3	/	/	61.6	0.77
24 h	63.4	86.8	103	118.9	139.9	/	/	61.6	0.77

Tableau 4 : Hauteurs maximales de pluie (mm) sur différentes durées et pour différentes périodes de retour T, coefficients de Montana

SOUS-PREFECTURE D'ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVEE

On retiendra donc comme pluie journalière décennale :

P_{10} = 103 mm

2.4 - Estimations des débits de crues

Les débits de pointe de crue de période de retour dix ans peuvent être effectués des manières suivantes :

1. Détermination par les méthodes classiques de l'hydrologie (SOCOSE, SOGREAH, CRUPEDIX...)

2. Analyse et transfert à partir des débits mesurés sur les cours d'eau voisins

Dans le cas présent, aucun débit jaugé sur le Réal n'est à notre disposition, le calcul du débit décennal se fera donc par les méthodes classiques.

Les résultats obtenus pour le débit décennal par ces diverses méthodes statistiques sont donnés dans le tableau 5 ci-après :

Méthodes	Q_{10} (m^3/s)
SOGREAH (sol imperméable)	6.3
SOGREAH (sol semi-perméable)	4.4
SOCOSE	2.7
CRUPEDIX	6.1
Méthode Rationnelle	9 (*)

Tableau 5 : Débit décennal

(*) : Pour obtenir le débit décennal par la méthode rationnelle, le calcul a été réalisé avec :

- un temps de concentration estimé à 3 heures.
- un coefficient de ruissellement global de 0.3, déterminé à partir de l'occupation des sols.

De nombreuses difficultés résident dans l'estimation du coefficient de ruissellement C, très variable selon l'occupation du sol, forêts (C=0.05), habitats (sol urbanisé pour Châteaurenard, C=0.6), cultures (C= 0.2 à 0.3), et du choix de la durée et donc de l'intensité de l'épisode pluvieux.

Conclusions : Les méthodes statistiques utilisées (SOGREAH, CRUPEDIX, SOCOSE) ont un intervalle de confiance relativement large, c'est pourquoi il est utile d'en connaître leurs limites. En effet, elles ne font pas intervenir les mêmes paramètres morphoclimatiques. Certaines sont à considérer pour des sols d'une perméabilité variable (SOGREAH), pour des surfaces de bassins versants supérieures à 20 km² (CRUPEDIX)...

Si les caractéristiques du bassin versant étudié sortent du domaine d'application de ces formules (c'est la cas pour le bassin versant étudié, faible pente, superficie inférieure à 10 km²) il est à noter que les débits de pointe décennaux calculés sont sous estimés. C'est pourquoi le débit de pointe décennal estimé sera :

DIRECTION D'ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVEE

$$\underline{Q_{10} = 8\ m^3/s}$$

Pour la détermination du débit centennal, deux méthodes de calcul ont été utilisées :

- **la méthode 1** : méthode du Gradex,
- **la méthode 2** : méthode d'estimation du débit à partir de l'évolution de l'intensité pluvieuse et de l'augmentation du coefficient de ruissellement.

- **Méthode 1 : Méthode du Gradex**

Cette méthode permet de passer des pluies aux débits et ce, uniquement pour des fréquences rares à très rares (période de retour de 100 à 1 000 ans).

En effet, les données pluviométriques sont souvent disponibles en plus grand nombre que les données hydrométriques. Il est donc beaucoup moins risqué, pour l'estimation d'une crue exceptionnelle, d'utiliser une extrapolation basée sur les pluies plutôt qu'une extrapolation basée sur les débits.

Le débit de pointe centennal estimé par la méthode du Gradex est de : 27 m^3/s.

- **Méthode 2** : l'application d'une pluie de type centennale ajustée statistiquement par Météo France sur la station de Salon de Provence, ainsi que la prise en compte de l'augmentation du coefficient de ruissellement du à la saturation du sol, lors d'un événement pluvieux exceptionnel, conduit à retenir un coefficient de passage de 3 entre le débit décennal et le débit centennal, soit : Q_{100}=24 m^3/s

Le débit centennal retenu est le suivant :

$$\underline{Q_{100}=25\ m^3/s}$$



III – ETUDE HYDRAULIQUE

L'étude hydraulique a pour objet la définition des conditions d'écoulement (hauteur d'eau et vitesses moyennes d'écoulement) au droit de la parcelle étudiée.

3.1 Modélisation mathématique des écoulements

3.1.1 Le modèle mathématique utilisé

Le modèle mathématique, développé par la société Engeneering Data Systems-Eagle Point (EU) permet la simulation des écoulements en régime permanent rapidement ou graduellement varié.

Il prend en compte :

⇨ les écoulements en régime fluvial ou torrentiel,
⇨ pertes de charges singulières (rétrécissement de section...),
⇨ franchissement d'ouvrages de traversée (ponts, buses...) avec possibilité de mise en charge et de déverse sur la route ou le chemin.

Ce modèle d'écoulement à surface libre a été mis en œuvre à partir :

- des levés topographiques. Dans le cas présent, ils ont été effectués en Août 1998 sur le Réal (en lit mineur et majeur) par le cabinet ARNAL-PITRAT *(cf. Annexe 1 : profils en travers et Annexe 4 : plan topographique)*,
- de la reconnaissance des berges, des lits mineur et majeur, pour l'estimation du coefficient de rugosité (coefficient de Strickler K),
- des débits de référence

3.1.1 Géométrie et coefficient de rugosité

a) Géométrie du cours d'eau

SIPREFECTURE D'ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVEE

La géométrie du cours d'eau est définie par son profil en long et les différents profils en travers levés sur le terrain.

Au total, dix profils en travers ont été relevés sur une distance de 700 m environ :

- 6 profils en travers concernent le lit mineur et le lit majeur en rive droite et en rive gauche,
- 4 profils en travers concernant uniquement le lit mineur.

Après une approche géomorphologique et une analyse de ces levés de terrain, il en ressort que :

- la plaine alluviale moderne du Réal, ou lit majeur, présente une topographie en toit, limitée à l'est par le versant nord-occidental du plateau de la Petite Crau. A l'ouest, le lit majeur du Réal rejoint et se confond avec la plaine de Châteaurenard.

III – ETUDE HYDRAULIQUE

L'étude hydraulique a pour objet la définition des conditions d'écoulement (hauteur d'eau et vitesses moyennes d'écoulement) au droit de la parcelle étudiée.

3.1 Modélisation mathématique des écoulements

3.1.1 Le modèle mathématique utilisé

Le modèle mathématique, développé par la société Engeneering Data Systems-Eagle Point (EU) permet la simulation des écoulements en régime permanent rapidement ou graduellement varié.

Il prend en compte :

⇨ les écoulements en régime fluvial ou torrentiel,
⇨ pertes de charges singulières (rétrécissement de section...),
⇨ franchissement d'ouvrages de traversée (ponts, buses...) avec possibilité de mise en charge et de déverse sur la route ou le chemin.

Ce modèle d'écoulement à surface libre a été mis en œuvre à partir :

- des levés topographiques. Dans le cas présent, ils ont été effectués en Août 1998 sur le Réal (en lit mineur et majeur) par le cabinet ARNAL-PITRAT *(cf. Annexe 1 : profils en travers et Annexe 4 : plan topographique)*,
- de la reconnaissance des berges, des lits mineur et majeur, pour l'estimation du coefficient de rugosité (coefficient de Strickler K),
- des débits de référence

3.1.1 Géométrie et coefficient de rugosité

PRÉFECTURE D'ARLES
13 AOUT 2006
SERVICE ARRIVÉE

a) Géométrie du cours d'eau

La géométrie du cours d'eau est définie par son profil en long et les différents profils en travers levés sur le terrain.

Au total, dix profils en travers ont été relevés sur une distance de 700 m environ :

- 6 profils en travers concernent le lit mineur et le lit majeur en rive droite et en rive gauche,
- 4 profils en travers concernant uniquement le lit mineur.

Après une approche géomorphologique et une analyse de ces levés de terrain, il en ressort que :

- la plaine alluviale moderne du Réal, ou lit majeur, présente une topographie en toit, limitée à l'est par le versant nord-occidental du plateau de la Petite Crau. A l'ouest, le lit majeur du Réal rejoint et se confond avec la plaine de Châteaurenard.

- en amont (profils P1, P2, P3 et P4) le lit majeur, en rive gauche, surplombe le lit mineur alors qu'en rive droite, le lit majeur s'étend en pente douce suivant une direction Ouest Sud-Ouest,

- dans la partie intermédiaire et en aval (profils P5, P6, P7, P8, P9, P10), les lits majeurs en rive droite et en rive gauche ont un niveau parfois inférieur à la côte du fond du Réal, laissant apparaître un lit majeur « perché ».

Le Réal présente un lit mineur resserré compris entre 2.5 m et 5 m avec un lit majeur par contre très étendu avec une pente douce.

Les profils en travers qui ont été levés sont des profils types, représentatifs de tronçons homogènes. Il se peut donc que localement apparaisse une singularité (élargissement ou rétrécissement du cours d'eau) non simulée.

Par conséquent, on ne pourrait parler que de capacité « globalement » insuffisante sur un tronçon donné, au regard d'une période de retour.

b) Rugosité

Le coefficient de frottement appelé coefficient de Strickler « K » joue un rôle prépondérant dans le calcul de la capacité du cours d'eau.

En l'absence de mesures hauteur d'eau/débit ou de repères de crue historiques, le coefficient de Strickler est estimé en fonction des matériaux et de l'encombrement par la végétation du lit et des berges.

On constate une colonisation par la végétation, du haut des berges et du lit mineur, relativement importante . En effet, en dehors des herbes hautes ou roseaux, des arbres tels que des platanes, peupliers ou pins sont implantés le long de la rivière. Dans le lit majeur, des terrains cultivés avec des vergers représentent l'essentiel du couvert végétal.

Par contre, dans le lit mineur, les limons recouvrent le fond du lit et les berges sont en terre ou parfois bétonnées.

En conséquence, le coefficient de Strickler retenu en lit mineur est de 25, en lit majeur, nous retiendrons un coefficient de frottement de 15.

/3 AOUT 2006

3.1.2 Méthodologie pour la modélisation des écoulements

La particularité physique du Réal (lit mineur « perché ») impose une modélisation partielle du ruisseau. En effet, on ne peut déterminer par la modélisation mathématique que la capacité du cours d'eau et des zones de débordement préférentiel en lit mineur, sans considérer le lit majeur et les possibilités d'expansion des crues.

La modélisation simplifiée en lit majeur, après détermination des débits de transit en rive gauche et en rive droite ne peut se réaliser ici, en raison :

- de lits majeurs de pente descendante continue de direction Ouest Sud-Ouest en rive droite et Est Sud-Est en rive gauche,
- d'absence d'obstacles (route, butte) pour stopper les écoulements.

La détermination de la zone inondable en lit majeur sera réalisée à partir de l'étude géomorphologique et d'une analyse stéréoscopique.

La cartographie de l'aléa inondation sera réalisée pour un débit de projet de période de retour centennale, c'est à dire :

$$Q_{100} = 25\ m^3/s$$

3.2 Analyse des conditions de l'écoulement en crue

3.2.1 Capacité d'écoulement de la rivière le Réal

La capacité d'écoulement du Réal ne suit pas une variation uniforme. En effet, la section d'écoulement en lit mineur est relativement constante jusqu'aux profils P6 avec toutefois un élargissement du lit entre les profils 2 et 4. Puis le Réal en aval, méandre à travers champs, s'étale et se creuse légèrement pour obtenir au profil P8 une capacité de 10 m^3/s environ *(cf. tableau 6 : capacité du lit mineur)*.

Profils en travers	Pk (origine prise au droit du profil P10) (m)	Capacité (m^3/s)
P1	0	5
P2	55	3
P3	40	7
P4	30	3.5
P5	65	4
P6	85	4.5
P7	50	8
P8	85	10
P9	110	2.5
P10	160	1.5

Tableau 6 : Capacité du lit mineur

PRÉFECTURE ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVÉE

3.2.2 Le champ d'inondation en rive gauche du Réal, approche géomorphologique

Ce cours d'eau a occasionné des crues (il y a une quinzaine d'années) qui n'ont pas donné lieu à des relevés précis de la localisation et de l'étendue des zones inondées. La cartographie des champs d'inondation au moyen de l'approche hydrogéomorphologique permet de restituer la surface occupée naturellement par les crues fréquentes à exceptionnelles, dans la plaine alluviale du cours d'eau.

L'analyse hydrogéomorphologique de la plaine alluviale moderne du Réal s'est appuyée sur les connaissances de terrain et la photo-interprétation stéréoscopique. Dans le cas présent, les photographies aériennes utilisées sont des clichés IGN couleur de 1993, à l'échelle du 20000ème.

L'approche géomorphologique, en raison de la topographie du Réal, ne permet pas de définir avec précision le lit majeur

Toutefois, le Réal possède un lit majeur identifiable qui se développe largement en rive gauche au niveau du lieu-dit « La Roque ».

Ce lit majeur correspond à la zone naturelle d'expansion des crues rares à exceptionnelles (crues centennales et au delà). Il est ici relativement vaste en raison de la topographie homogène de la plaine alluviale qui ne permet pas de délimiter d'étagement (lit intermédiaire entre le lit mineur et le lit majeur) ou de zones préférentiellement inondables telles que des axes d'écoulement ou des zones humides.

L'existence d'un lit majeur unique relativement plan et d'un cours d'eau « perché » signifie que tous débordements (fréquents ou rares, en fonction de la capacité du lit mineur) ont tendance à s'étaler sur une grande partie du champ d'inondation *(cf. Annexe 2 et Annexe 3)*.

3.2.3 Ecoulement de la crue décennale et centennale

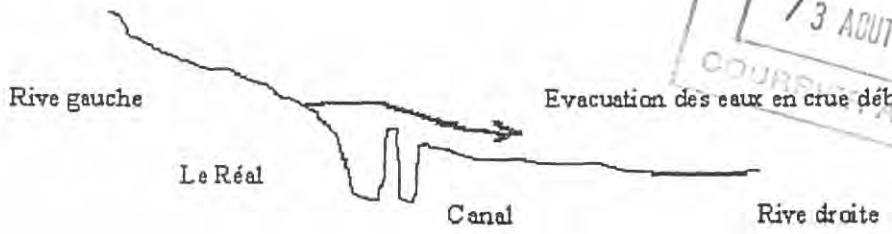
L'écoulement en rive gauche pour la crue décennale et la crue centennale est similaire compte tenu de la configuration topographique du Réal et de sa section d'écoulement.

a) Du profil 1 au Profil 4

Durant les premiers mètres, le Réal, en rive gauche, dispose d'un lit majeur surélevé par rapport au lit mineur localement protégé du lit du cours d'eau par un merlon. Par contre, en rive droite, on ne retrouve pas la même morphologie. Le niveau du lit majeur droit est inférieur au niveau des berges du lit mineur.

Ainsi, les écoulements des crues débordantes se situeront prioritairement et majoritairement en rive droite du Réal. Ce secteur ne faisant pas partie de la zone d'étude, le niveau d'aléa n'y a pas été déterminé.

PREFECTURE D'ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVEE



Profil type entre les profils P1 et P4

C'est au niveau du profil 2, que le Réal a une capacité réduite à 3 m^3/s. La capacité du lit à ce niveau va donc régir l'écoulement *(cf. tableau 7 : débit transitant en lit mineur et lits majeurs)*.

Profils en travers	Capacité (m3/s)	Q_{10} (m^3/s)			Q_{100} (m^3/s)		
		LMG*	Lm*	LMD*	LMG*	Lm*	LMD*[1]
P1	5	0	5	3	0	5	20
P2	3	0	3	5	0	3	22
P3	7	0	3	5	0	3	22
P4	3.5	0	3	5	0	3	22

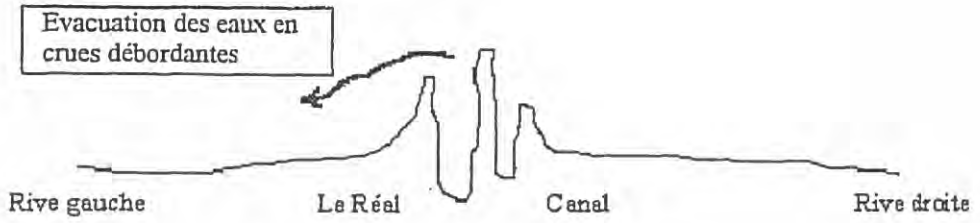
Tableau 7 : Débits transitants en lits majeurs et lit mineur

En rive gauche, la crue n'est pas débordante ni pour un débit de période de retour 10 ans ni pour un débit centennal.

En rive droite, en revanche, les débits transitants sont nettement plus importants lors d'une crue centennale. Les écoulements non canalisés s'étendront largement dans les champs et terrains viabilisés.
Aucun retour des eaux dans la lit mineur n'est à envisager compte tenu de la topographie du terrain en rive droite.

b) Du Profil 5 au Profil 10

A partir du Profil 5, la morphologie du lit varie par rapport aux tronçons amont. Les lits majeurs s'étalent (avec une dénivellation faible) de chaque côté d'un lit mineur « perché ».



Profil type entre les profils P5 et P9

Remarque : ce profil type n'est pas représentatif de la section d'écoulement située au profil 7

La berge rive droite du Réal étant surélevée par rapport à la berge rive gauche, les eaux déborderont pour de forts débits en rive gauche (à l'exception des Profils 7 et 10).

Le débit étant contrôlé par la section P2, dans les tronçons en aval, ne transitent pas des débits de pointes considérables *(cf. Tableau 8 : Débits transitants dans la partie aval)*.

S/PRÉFECTURE D'ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVÉE

[1]*LMG : lit majeur gauche
Lm : lit mineur
LMD : lit majeur droit

Profils en travers	Capacité (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)			Q_{100} (m^3/s)		
		LMG*	Lm*	LMD*	LMG*	Lm*	LMD*
P5	4	0	3	5	0	3	22
P6	4.5	0	3	5	0	3	22
P7	8	0	3	5	0	3	22
P8	10	0	3	5	0	3	22
P9	2.5	0.5	2.5	5	0.5	2.5	22
P10	1.5	0.5	1.5	6	0.5	1.5	23

Tableau 8 : Débits transitants dans la partie aval

Entre les profils P8 et P9, le débordement s'effectue en rive gauche, le débit de surverse étant de 0.5 m^3/s.

Entre le profil 9 et le profil 10, les berges évoluent à nouveau, et c'est en rive droite au P10 que se produit la surverse.

Les eaux s'étendent dans les champs avoisinants, jusqu'au chemin St Gabriel (CD 32). Ensuite, l'écoulement se fait dans les fossés existants le long du chemin puis rejoignent le canal d'arrosage au sud de la voirie.

c) A l'aval du CD 32

Les écoulements en provenance de l'amont se feront principalement via le canal d'arrosage. Toutefois la zone située en rive gauche du réal à l'aval du CD 32 est potentiellement inondable :

- par débordement direct du cours d'eau en rive gauche,
- par saturation du réseau d'irrigation.

Compte tenu des débits résiduels transitants dans le Réal ainsi que dans le canal d'arrosage, l'aléa y sera faible (hauteurs d'eau et vitesses inférieures à 0.5 m et 0.5 m/s), sauf localement au sein de dépressions topographiques où les hauteurs de submersion pourraient être fortes. Cependant, en l'absence de données topographiques, la limite de la zone inondable n'a pu être déterminée.

d) Conclusion

Du fait de la topographie, de la section d'écoulement du Réal, la crue de période de retour 100 ans fera davantage de dégâts en rive droite, la rive gauche n'étant inondée que dans la partie sud de la zone d'étude.

Toutefois, différents événements pourraient causer des inondations en rive gauche dès l'amont de la zone d'étude :

- l'écoulement des eaux d'irrigation dans le Réal et dans les canaux d'arrosage de dérivation (autour des serres, dans la zone d'étude) est contrôlé par des systèmes de vannes manuelles.

  Or, lors d'événements orageux, l'inertie du système ne permettra pas forcément la vidange complète des canaux compte tenu des éléments suivants :

SIP... D'ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVEE

1. les événements orageux sont difficiles à prévoir (les vannes peuvent être fermées trop tard)
2. les événements orageux sont de courte durée (les canaux ne peuvent se vider complètement de leurs eaux d'arrosage)

C'est pourquoi, il est possible, qu'en cas de crue, une partie des eaux du Réal puisse s'écouler dans un canal d'arrosage (la vanne n'étant pas dans sa position fermée) et par la suite s'étendre en lit majeur gauche en cas de saturation du réseau et ainsi provoquer des inondations dans la zone d'étude.

- la rive gauche est protégée (de manière discontinue) à l'amont du profil P4 par un merlon. La rupture de ce bourrelet en temps de crue peut occasionner des débordements s'étalant en lit majeur gauche sous des hauteurs et vitesses faibles.

La cartographie des zones inondables est proposée en Annexe 2. Elle fait apparaître deux zones :

- une zone bleu foncé : elle correspond au champ d'inondation de la crue centennale, sans circonstance aggravante,

- une zone bleu clair : inondable en crue centennale en cas de brèche dans la berge ou d'ouverture des vannes d'irrigation.

N.B. : L'analyse des écoulements du Réal réalisée ci-dessus se base sur l'hypothèse sécuritaire selon laquelle la totalité du débit centennal transite encore dans le lit en amont immédiat du secteur étudié et aucun écrêtement du débit de pointe par débordement en rive droite ou en rive gauche ne se produit. Seule une étude réalisée sur l'ensemble du cours d'eau pourrait permettre de localiser et quantifier ces débordements.

S/PREFECTURE D'ANGERS
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVÉE

IV – ZONAGE DE L'ALEA

4.1 Préambule

Le zonage proposé dans ce paragraphe résulte à la fois des résultats de modélisation mais aussi des incertitudes et interrogations que posent ces modélisations, à savoir :

a. Non prise en compte des facteurs qui aggraveraient l'aléa.

L'aléa ne peut être modélisé lorsque celui-ci se rapporte à des phénomènes d'embâcles. La formation d'embâcles est fort probable sur le Réal en raison d'une part, de l'état d'encombrement de certains tronçons et d'autre part, des caractéristiques physiques du cours d'eau (sections réduites).

b. Incertitudes liées à l'utilisation d'un modèle mathématique 1D (à une dimension d'espace horizontal).

Ce modèle ne permet pas de renseigner les conditions d'écoulement en lits majeurs lorsque ceux-ci présentent une configuration en toit. Cependant, compte tenu des faibles débits en jeu, de la superficie disponible ainsi que du système de drainage (fossés) l'aléa est majoritairement faible dans ces secteurs.

4.2 Zonage de l'aléa

Un zonage de l'aléa inondation est proposé en Annexe 3, sur la base des critères hauteurs-vitesses définis par la DDE 13. Quatre zones ont été délimitées :

- une zone d'aléa fort (zone rouge) : les vitesses ou les hauteurs d'eau y sont supérieures respectivement à 0.5 m/s ou 1 m,
- une zone d'aléa faible (zone bleu foncé) : les vitesses et les hauteurs d'eau y sont inférieures à 0.5 m/s et 1 m,
- une zone bleu clair en rive droite correspondant à la zone inondable par la crue centennale mais de limite et de niveau d'aléa non déterminés car hors secteur d'étude,
- une zone bleu clair hachurée en rive gauche correspondant à une zone inondable par la crue centennale en cas :
    - de brèche dans la berge rive gauche,
    - d'ouverture des vannes d'irrigation ou de saturation du réseau d'arrosage.

Les écoulements dans cette zone se feront sous des hauteurs et vitesses faibles (inférieures à 0.5 m et 0.5 m/s). Il serait préférable de caler le premier plancher des habitations 0.5 m au-dessus du terrain naturel.

13 AOUT 2006

Commentaire

Les zones d'aléa fort sont limitées sur tout le tronçon étudié au lit mineur, excepté en lit majeur entre les profils P8 et P9, dans la zone de surverse en rive gauche, du fait de la forte pente du talus (cet aléa fort est directement lié aux vitesses d'écoulement). Par la suite, la rupture de pente (pente douce de l'ordre de 1 ‰) et la possibilité d'expansion du champ d'inondation, permet d'établir un zonage d'aléa faible, avec un écoulement diffus dans le lit majeur gauche.

V - CONCLUSION

L'étude hydrologique a permis de déterminer les débits de pointe de période de retour 10 ans et 100 ans :

$$Q_{10} = 8\ m^3/s$$
$$Q_{100} = 25\ m^3/s$$

La cartographie de l'aléa inondation a été déterminée à partir de la modélisation des écoulements et de l'interprétation géomorphologique en lit majeur. La zone touchée par la crue centennale au sud du secteur d'étude est classée en zone d'aléa faible, les eaux peuvent s'étendre dans les parcelles sans que l'écoulement n'atteigne des hauteurs (hauteurs supérieurs à 1 m) ou vitesses (vitesses supérieures à 0.5 m/s) élevées.

A noter que faute d'éléments topographiques sur l'amont du secteur étudié les zones amont de débordements éventuels en lit majeur n'ont pu être déterminées. L'hypothèse sécuritaire selon laquelle la totalité du débit centennal transite dans le lit mineur à l'amont immédiat de la zone d'étude alors été formulée.

Il faut également souligner que, ces zonages ont été établis pour un écoulement normal dans le Réal :

- avec fermeture systématique des vannes pour éviter :
  - l'écoulement des eaux d'irrigation dans le Réal et le canal de Châteaurenard en cas d'orages,
  - l'évacuation des eaux du Réal dans les canaux d'arrosage.
- sans obstruction des lits par des phénomènes d'embâcles ou par la végétation envahissante,
- sans rupture des merlons situés sur les berges du réal.

S/PREFECTURE D'ARLES
13 AOUT 2006
COURRIER ARRIVEE

En cas de non respect de ces conditions, une zone plus étendue a été identifiée comme inondable sous des vitesses et hauteurs faibles.

Pour garantir ces conditions d'écoulement, il est nécessaire de pratiquer un entretien systématique de la rivière :

- débroussaillement des berges, élagage de branches situées en dessous de la ligne d'eau en crue, dégagement du lit mineur et des prises d'eau, d'arbres morts, d'embâcles...

- tronçonnage sélectif des arbres dont la stabilité est menacée (possibilité de créer de futurs embâcles). Il faut néanmoins maintenir les souches ne gênant pas l'écoulement car elles constituent une protection naturelle et efficace contre l'érosion et l'affaissement des berges, et forment également des caches piscicoles intéressants.

Par ailleurs, on assurera une gestion convenable du réseau d'irrigation en crue ainsi qu'une surveillance de son état de fonctionnement.