

NRS D1091/1-7



COMMUNE D'HYERES



Délégation de Marseille
Immeuble le Noailles - 62, La Canebière
13001 MARSEILLE
Tél. 04 96 11 36 36 - Fax 04 96 11 36 00

ETUDE HYDRAULIQUE SUR LA COMMUNE D'HYERES LES PALMIERS

PHASE 1 : ETAT INITIAL



Titre : ETUDE HYDRAULIQUE SUR LA COMMUNE D'HYERES LES PALMIERS

Objet : PHASE 1 : ETAT INITIAL

Maître d'Ouvrage : Commune d'Hyères les Palmiers

Maître d'oeuvre :

Affaire suivie par : Catherine JOUBERT, Gaëlle VERJUS

Etude référencée : 2H1281

Rapport émis en : mars 2001

Coordonnées du bureau d'études :



10 Chemin du Pré Carré - ZIRST - 38246 MEYLAN Cedex

Tel : 04.76.90.50.45. - Fax : 04.76.90.16.09.

Email : cedrat-dev@cedrat.com

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
1. PRESENTATION GENERALE.....	2
1.1 SITUATION GÉNÉRALE.....	3
1.1.1 Situation géographique.....	3
1.1.2 Topographie.....	3
1.1.3 Intercommunalité.....	5
1.1.4 Croissance de la population.....	5
1.1.5 Zone d'étude.....	5
1.2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE.....	6
1.2.1 Formations alluviales de plaine.....	6
1.2.2 Formations des collines.....	6
1.2.3 Contexte hydrogéologique.....	9
1.2.4 Barrage anti-sel.....	11
1.3 CONTEXTE CLIMATIQUE.....	13
1.3.1 Données climatiques.....	13
1.3.2 Marégraphie.....	13
1.4 RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE.....	15
1.4.1 Présentation du réseau.....	15
2. METHODOLOGIE DE L'ÉTUDE.....	18
2.1 ANALYSE HYDROLOGIQUE.....	19
2.1.1 Analyse pluviométrique.....	20
2.1.2 Analyse des bassins versants (hors Gapeau).....	20
2.1.3 Analyse du Gapeau.....	22
2.2 DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE PRELIMINAIRE.....	24
2.3 MODÉLISATION HYDRAULIQUE.....	26
2.3.1 Préliminaires.....	26
2.3.2 Construction du modèle.....	27
2.3.3 Calage du modèle.....	30
3. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.....	33
3.1 HYDROLOGIE.....	34
3.2 DIAGNOSTIC PRÉLIMINAIRE.....	41
3.3 DIAGNOSTIC GLOBAL.....	48
3.3.1 Inondabilité en cas de crue trentennale (scénario 1).....	49
3.3.2 Inondabilité en cas de crue centennale (scénario 2).....	54
3.3.3 Problèmes pluviaux sur Costebelle.....	55
3.3.4 Conclusion partielle.....	56
3.3.5 Caractérisation de l'inondabilité pour des scénarios intermédiaires.....	57
BIBLIOGRAPHIE.....	59

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Schéma structural	4
Figure 2 - Extrait de la carte géologique	7
Figure 3 - Géologie du bassin versant du Gapeau	8
Figure 4 - Profil géologique de la Basse vallée du Gapeau	8
Figure 5 - Carte hydrogéologique.....	10
Figure 6 - Carte piézométrique.....	12
Figure 7 - Evolution des niveaux d'eau de la mer	14
Figure 8 - Courbe Hauteur / Durée / Fréquence	34
Figure 9 - Exemple d'hydrogramme de crues théoriques	37
Figure 10 - Exemple d'hydrogramme résultant pour la pluie du 21/10/99	39
Figure 11 - Hydrogrammes de crues du Gapeau.....	40
Figure 12 - Exemple de graphique analysant les capacités des ouvrages.....	42
Figure 13 - Exemple de graphique analysant la capacité des tronçons	43
Figure 14 - Carte « Capacité hydrauliques »	44
Figure 15 - Exemple de cartographie synthétique des cotes d'eau maximales en lits majeurs	52
Figure 16 - Exemple de profil en long des résultats en lit mineur.....	53

INTRODUCTION

La commune d'Hyères-les-Palmiers est parcourue par un réseau hydrographique dense et connaît depuis toujours des problèmes d'évacuation des eaux lors d'épisodes pluvieux intenses, problèmes mis en exergue lors des inondations des 18 et 19 janvier 1999.

La présente étude hydraulique a été réalisée pour le compte de la ville de Hyères-les-Palmiers, Maître d'Ouvrage qui souhaite disposer d'un document d'ensemble sur le territoire communal.

Les objectifs assignés à l'étude consistent donc à :

- caractériser les bassins versants, la capacité des cours d'eau et fossés principaux, afin de définir les travaux et ouvrages à réaliser pour limiter l'impact d'un événement pluvieux défini ;
- identifier les secteurs où le ruissellement devra être maîtrisé en quantité et en qualité.

Cette étude se décompose en trois phases successives, complétées de deux postes :

- PHASE 1 : CARACTERISATION DE L'ETAT INITIAL
Sur la base d'investigations de terrains et la synthèse des documents disponibles, la première phase d'étude doit permettre :
 - la délimitation des bassins versants,
 - la détermination de l'hydrologie des cours d'eau (à l'aide d'un modèle pluie-débit notamment),
 - l'établissement du diagnostic hydraulique, complété de la carte des zones inondables.
- PHASE 2 : SCENARIOS D'AMENAGEMENT DES COURS D'EAU
- PHASE 3 : PROGRAMME DES TRAVAUX
- POSTE 1 : DETERMINATION DES APPORTS POLLUANTS PAR TEMPS DE PLUIE
- POSTE 2 : DETERMINATION DES ZONES DE MAITRISE DE L'IMPERMEABILISATION DES TERRAINS.

Ce rapport présente les résultats de l'étude à l'issue de la première phase et est organisé en trois parties principales :

- Présentation générale du site
- Méthodologie de l'étude
- Présentation et synthèse des résultats obtenus

1. PRESENTATION GENERALE

1.1 SITUATION GENERALE

1.1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

La commune de Hyères est située sur la pointe la plus méridionale de la côte provençale, à l'extrémité Ouest de la Côte d'Azur, à une dizaine de kilomètres à l'Est de Toulon.

Les communes limitrophes sont :

- à l'Ouest : Carqueiranne
- au Nord-Ouest : la Crau
- au Nord : Pierrefeu du Var
- à l'Est : la Londe les Maures

La partie continentale du territoire communal occupe une surface d'environ 10 300 ha.

1.1.2 TOPOGRAPHIE

La partie continentale du territoire de la commune de Hyères peut succinctement être divisée en plusieurs zones homogènes sur le plan topographique :

- **Les zones de plaine**

La plaine d'Hyères, zone basse en bordure de la mer (d'altitude comprise entre 1 et 8 m NGF) correspond à l'extrémité aval de la basse vallée du Gapeau.

Elle est prolongée par deux zones de salins :

- au Sud, les salins des Pesquiers, délimités par le double tombolo de Giens ;
- au Nord-Est, les salins d'Hyères.

- **Les zones de reliefs**

Plusieurs massifs de nature géologique et d'altitude variables entourent la plaine d'Hyères :

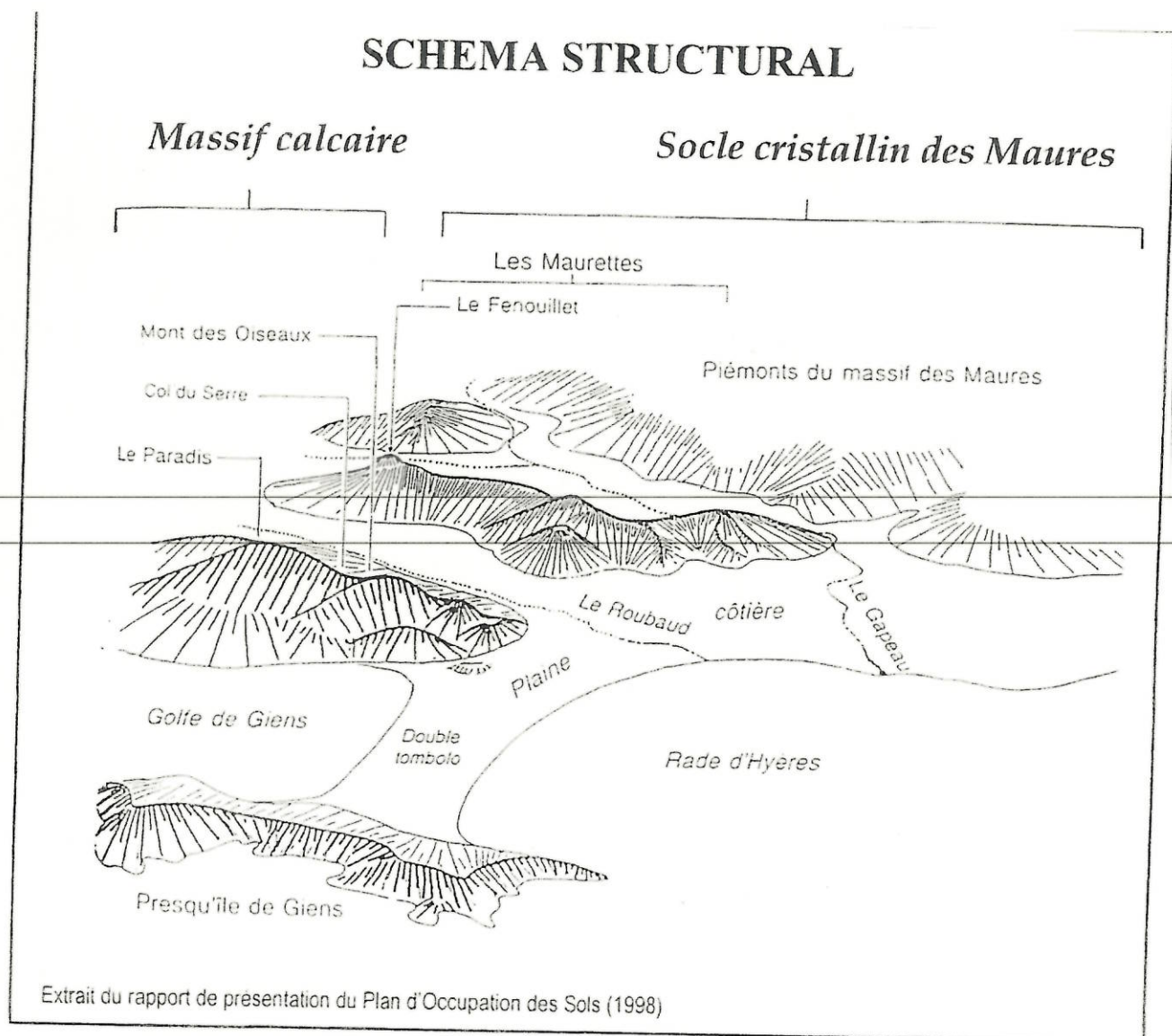
- à l'Est et au Nord-Est : les contreforts du massif des Maures ;
- à l'Ouest : le Chaînon des Maurettes ;
- au Sud-Ouest : le Mont des Oiseaux ;
- Au Sud : la presqu'île de Giens.

- **Les zones de vallée**

Deux vallées étroites constituent des axes de communication privilégiés vers le Nord et l'Ouest :

- au Nord, la vallée encaissée du Gapeau sépare le massif des Maures et le chaînon des Maurettes ;
- à l'Ouest, le seuil d'Hyères, qui correspond probablement au passage d'un ancien cours du Gapeau, sépare le massif des Maurettes du Mont des Oiseaux et permet une communication avec la plaine de la Garde et de la Crau.

Figure 1 - Schéma structural



1.1.3 INTERCOMMUNALITE

Historiquement, la commune de Hyères incluait les communes de la Crau, Carqueiranne et la Londe qui ont par la suite pris leur indépendance. L'ensemble constitue aujourd'hui le « Pays hyérois », bassin de vie assez homogène dans son fonctionnement et tourné vers l'Est du département du Var.

La commune de Hyères participe à 11 organismes de coopération intercommunale ; seuls sont cités ci-après les syndicats ayant trait à l'eau et à l'assainissement :

- Syndicat Intercommunal pour l'aménagement hydraulique du bassin de l'Eygoutier, de ses affluents et de ruisseaux secondaires ;
- Syndicat Intercommunal d'alimentation en eau des communes de la Seyne et de la Région Est de Toulon ;
- Syndicat Intercommunal de Hyères-Carqueiranne pour l'assainissement de la Baie de Giens.

Enfin, on signalera que les 15 communes du bassin versant du Gapeau dont la commune de Hyères ont paraphé la Charte d'engagement intercommunale, marquant ainsi publiquement leur volonté d'évoluer conjointement vers une procédure d'élaboration d'un SAGE.

1.1.4 CROISSANCE DE LA POPULATION

La commune de Hyères (y compris les îles de Porquerolles et Port-Cros) compte aujourd'hui environ 52 000 habitants.

Elle connaît un fort accroissement de la population résultant simultanément de l'apport migratoire et du solde naturel. Le taux moyen annuel d'accroissement de la population est en effet de 2,4 % environ (soit 1 600 habitants de plus chaque année) contre 0,5 % en moyenne en France.

1.1.5 ZONE D'ETUDE

Deux échelles d'étude sont à prendre en compte suivant les objectifs poursuivis :

- Une échelle globale, étendue à l'ensemble du territoire communal, pour la définition des bassins versants, l'identification des zones où l'imperméabilisation des terrains doit être maîtrisée, ainsi que pour la caractérisation des apports polluants.
- Une échelle « hydrographique » pour la gestion des zones inondables prenant en compte le bassin versant des cours d'eau listé par le CCTP, à savoir :
 - le Roubaud et ses affluents, dont la Verlaque et la Sauvette,
 - la Ritorte,
 - le Saint Lazare et le Pyanet,
 - le Gapeau et son affluent le Mataffe, sur le territoire communal,
 - le quartier de Costebelle.

1.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

La géologie du secteur d'étude peut se résumer en différenciant les formations de la plaine côtière d'Hyères de celles des collines environnantes (voir *Figure 1 - Schéma structural* en page 4 et extrait de la carte géologique au 1/50 000 ci-après).

1.2.1 FORMATIONS ALLUVIALES DE PLAINE

La plaine d'Hyères, zone basse en bordure de mer, correspond à l'extrémité aval de la basse vallée du Gapeau. Cette plaine est constituée par l'épandage de dépôts continentaux du quaternaire dans lesquels on distingue :

- tout autour des reliefs : des épandages souvent caillouteux de piedmont.
- dans les parties planes : des alluvions de basses terrasses du Würm ;
- dans la basse vallée du Gapeau : des alluvions modernes de l'Holocène (voir profils géologiques ci-après) ;
- en bordure de mer : des alluvions lagunaires et des cordons littoraux sableux d'origine éolienne et marine ;

Avant son débouché dans la partie Nord de la basse plaine, la vallée du Gapeau est étroite et encaissée dans les terrains anciens entre le massif des Maurettes et les contreforts du massif des Maures.

Une vallée plus large, orientée Est-Ouest existe entre le massif des Maurettes et le mont des Oiseaux ; elle correspond probablement au passage d'un ancien cours du Gapeau et n'est actuellement occupée que par un petit cours d'eau, le Roubaud, en partie canalisé et débouchant dans la partie Sud de la plaine.

Enfin, l'ensemble des alluvions de la plaine repose en majorité sur des grès et schistes permien, localement sur des phyllades.

1.2.2 FORMATIONS DES COLLINES

Les massifs ceinturant la plaine alluviale sont :

- au Nord-Est : la bordure Ouest du massif des Maures entaillée de vallons drainés par les ruisseaux affluents rive gauche du Gapeau ;
- au Nord-Ouest : le massif des Maurettes ;
- à l'Ouest : le mont des Oiseaux.

Les deux premiers massifs sont essentiellement constitués de roches métamorphiques (schistes et phyllades). Toutefois, par le jeu des grands accidents (fracturations liées à l'orogénèse hercynienne, distensions ...) subsistent au fond des principaux vallons des lambeaux de l'ancienne couverture sédimentaire gréseuse d'âge permien.

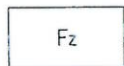
Ce même terrain constitue le soubassement du mont des Oiseaux et supporte des assises calcaires d'âge secondaire (voir *Figure 3 - Géologie du bassin versant du Gapeau* et *Figure 4 - Profil géologique de la Basse vallée du Gapeau* en page 8).

PARTIE TERRESTRE

TERRAINS SÉDIMENTAIRES



Déblais industriels



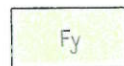
Alluvions récentes :
sables, graviers et galets



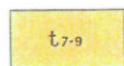
Flandrien :
cordon littoral + 0,50 m, galets et sables



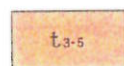
Dunes



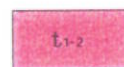
Alluvions anciennes :
limons à fragments de quartz filonien et phyllades
— Ancien rivage



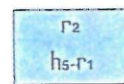
Keuper :
argiles rouges à gypse et cargneules



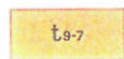
Muschelkalk :
calcaires compacts



Trias inférieur :
argiles schisteuses et grès rouges



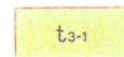
"Permien"
r2 - Faciès grès rouge
hs-r1 - Faciès de Collobrières (Stéphanien supérieur) :
grès et pélites à miches dolomitiques



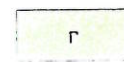
Keuper
Marnes versicolores gypsifères



t6-4 Muschelkalk
6 - Supérieur : calcaires et dolomies
5 - Moyen : calcaires et marnes
4 - Inférieur : calcaires



Trias inférieur
"Grès bigarré" et conglomérats



Permien
Arkoses, grès et pélites



Carbonifère
Calcaires et schistes

TERRAINS MÉTAMORPHIQUES ET ÉRUPTIFS



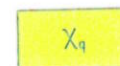
Phyllades du Real Martin



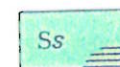
Phyllades détritiques de Camaures
δ - Filons et coulées de spilites métamorphisées
en amphibolites (S¹⁸-Eulalie et Le Fenouillet)
Xq - Quartzites



Phyllades noires de N.D. des Anges
i - Calcaire du Chevalier-Giens



Quartzite du Temple



Phyllades des Sauvettes
— Faciès micaschisteux sur le flanc occidental
de l'anticlinal de Bormes

Série des Maures

Groupe du Fenouillet



Quartzites



Quartzophyllades cendrées



Phyllades

Groupe des Maurettes



Calcschistes, calcaires recristallisés



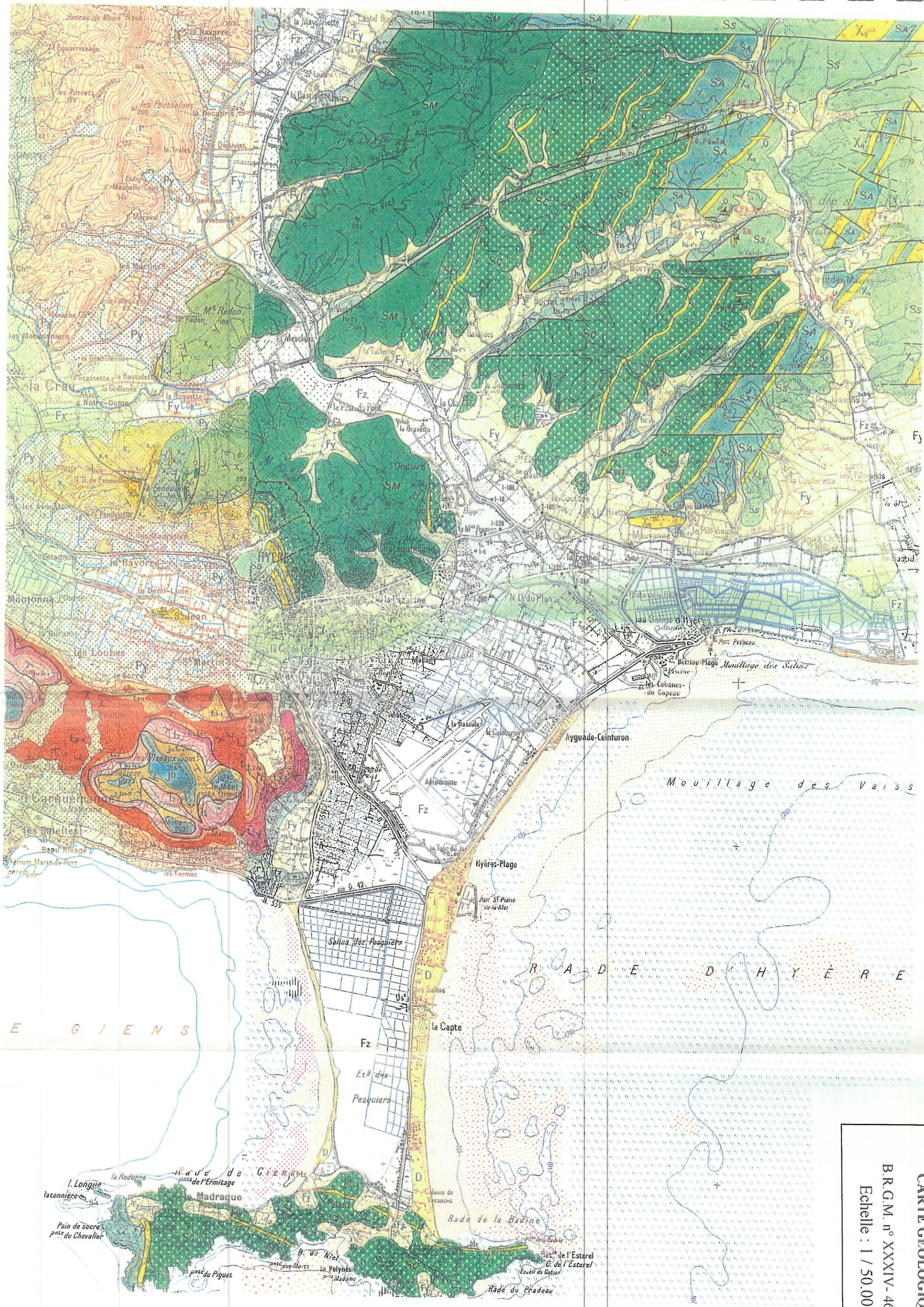
Schistes à limonite ou chloritoïde



Schistes, quartzites gréseux



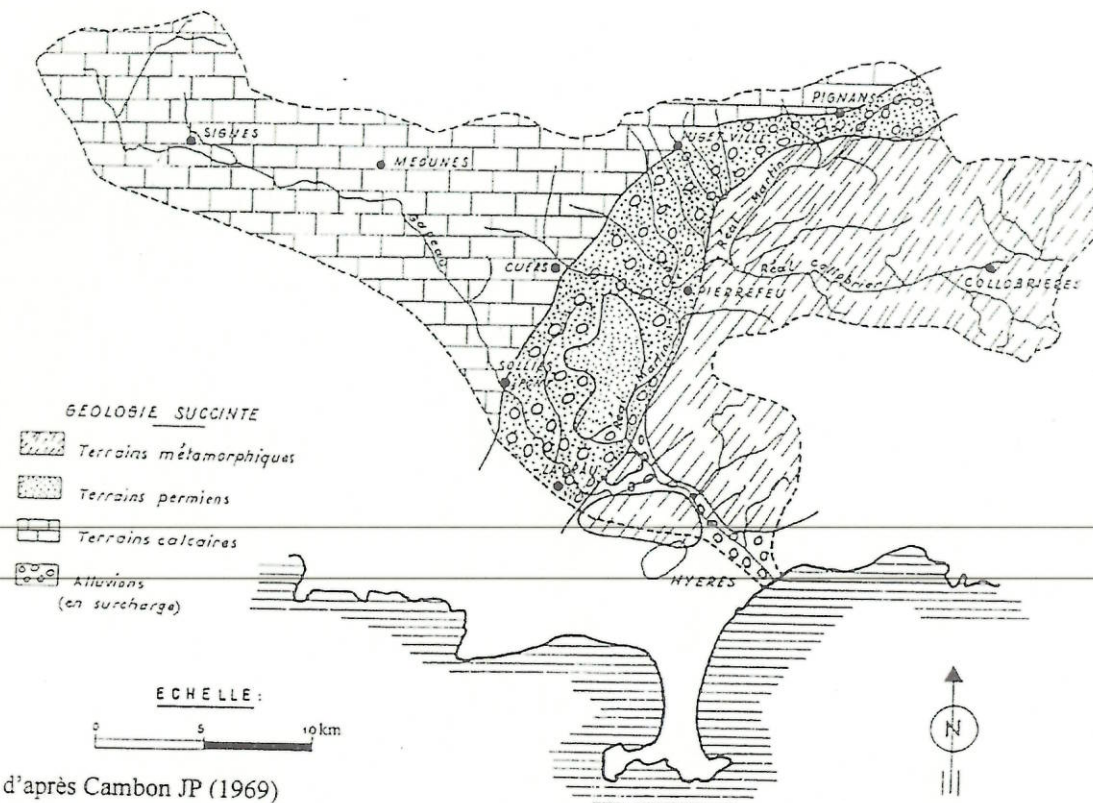
Amphibolite



CARTE GEOLOGIQUE
B.R.G.M. n° XXXIV-46-47
Echelle : 1 / 50.000

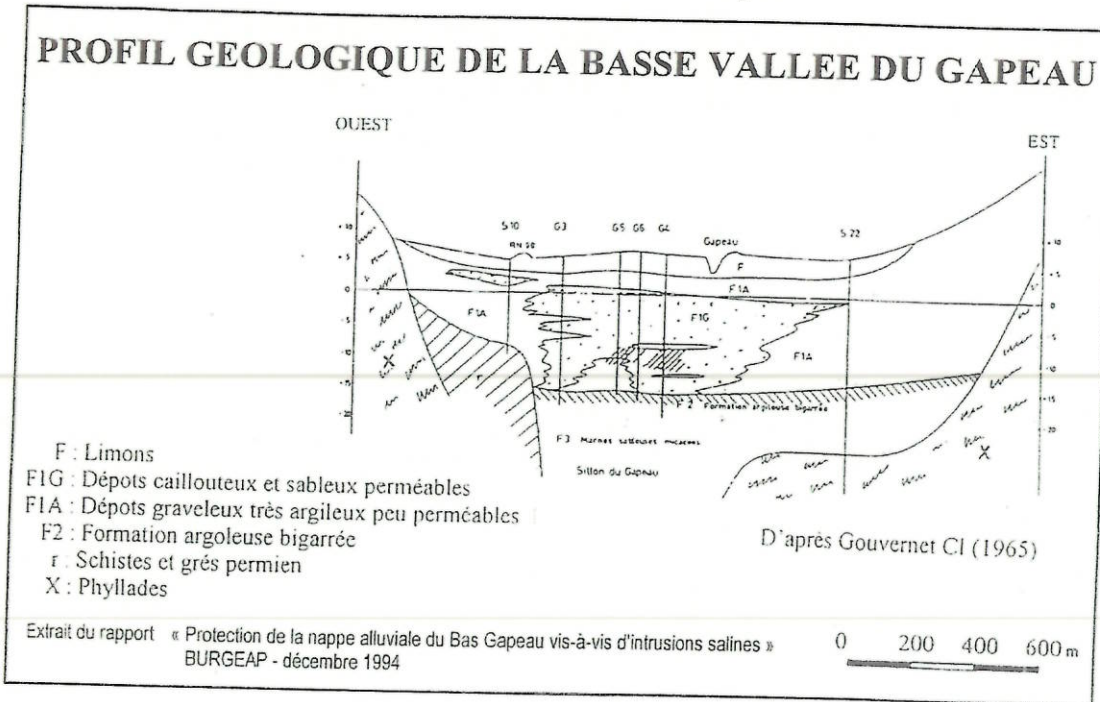
Figure 3 - Géologie du bassin versant du Gapeau

GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU



Extrait du rapport « Protection de la nappe alluviale du Bas Gapeau vis-à-vis d'intrusions salines »
BURGEAP - décembre 1994

Figure 4 - Profil géologique de la Basse vallée du Gapeau



1.2.3 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

a) Hydrogéologie des massifs entourant la plaine alluviale

Les roches métamorphiques constituant les versants de la plaine alluviale (massifs des Maures et des Maurettes) sont peu perméables et donc peu aquifères. Il est toutefois possible que les parties profondes de certains systèmes de failles soient le siège de circulations d'eau non négligeables. Les terrains sédimentaires d'âge permien constitutifs du soubassement du mont des Oiseaux sont susceptibles de constituer un aquifère de type fissural.

b) Hydrogéologie de la basse vallée du Gapeau et de la plaine d'Hyères

Le bassin versant hydrogéologique du Gapeau peut être découpé en cinq sous bassins (voir carte ci-après) dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

1. L'amont du bassin versant du Gapeau (jusqu'à Solliès-Pont) et les extrémités Nord des affluents rive droite du Réal Martin sont tributaires de l'alimentation karstique des massifs calcaires.
2. De Solliès-Pont à l'aval de la confluence avec le Réal Martin, le Gapeau est en relation avec sa nappe d'accompagnement dans les terrasses alluviales.
3. Dans le cours inférieur du Gapeau, la nappe alluviale constitue la principale ressource de la zone littorale.
4. Pour le Réal Martin, les émergences correspondent au contact du Trias calcaire avec les grès du Permien.
5. Pour le Réal Collobrier, l'alimentation en eau est essentiellement superficielle sur des terrains imperméables en profondeur constitués de roches métamorphiques (schistes et grès).

Le complexe alluvial de 15 à 20 m de puissance se compose de formations très hétérogènes : couche de limons superficiels, passées caillouteuses de galets et graviers plus ou moins argileux, lentilles argileuses plus ou moins graveleuses...

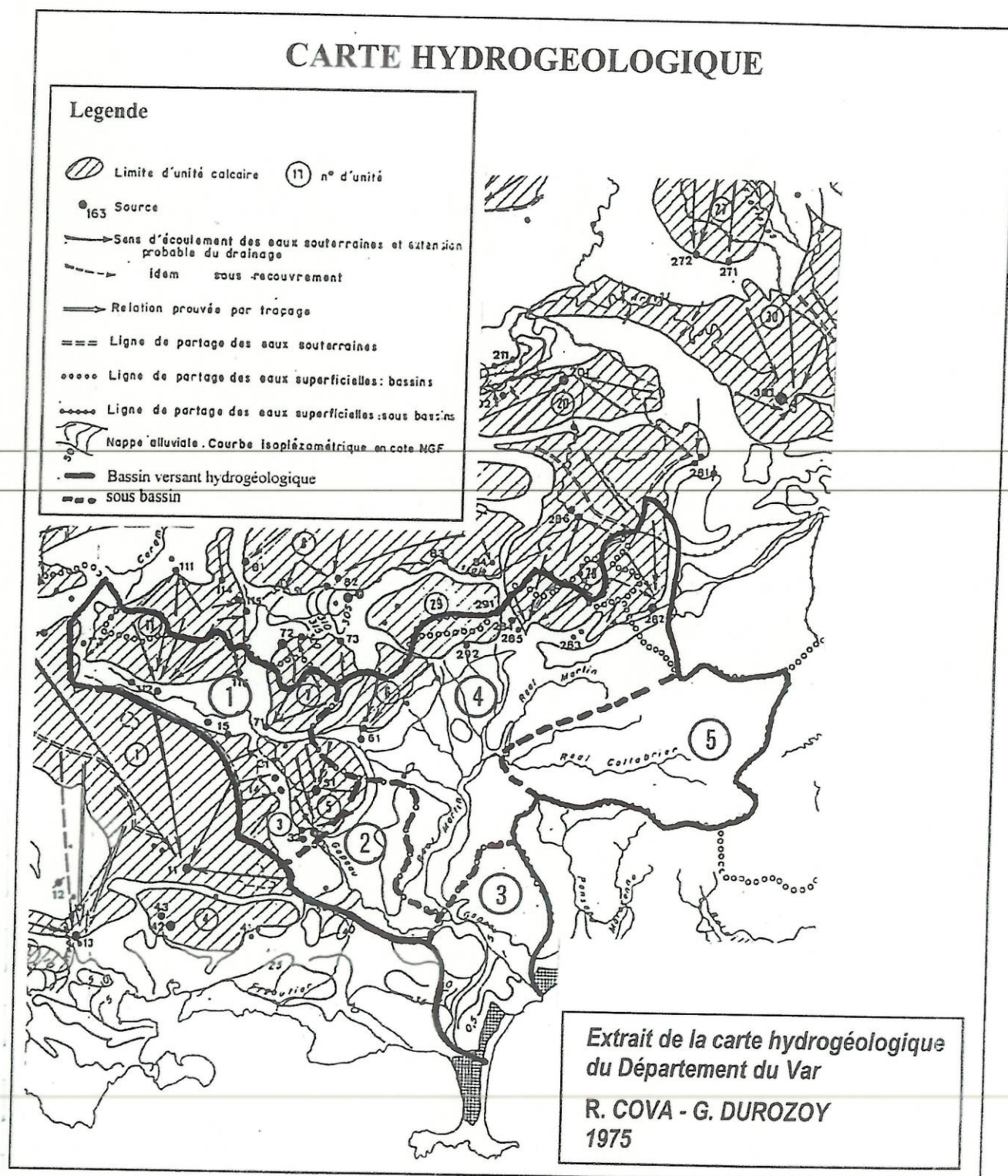
Ce complexe se comporte néanmoins globalement en nappe homogène par le biais de passages latéraux d'une formation à l'autre.

Au voisinage du littoral, des sables fins argileux ou vaseux envahissent la partie supérieure de la formation et tendent à rendre la nappe captive vers l'aval.

Cet aquifère alluvial représente la ressource la plus intéressante de la région mais son réservoir peu important ne permet toutefois pas un stockage toujours suffisant.

Ainsi, en période d'étiage, la nappe peut présenter (comme ce fut le cas en 1989) une charge trop faible pour empêcher l'entrée des eaux marines au sein des alluvions.

Figure 5 - Carte hydrogéologique



La piézométrie de la nappe alluviale est :

- régie par le niveau du Gapeau en amont de la R.N. 98 ;
- dépendante des pompages en aval de la R.N. 98.

Les fluctuations saisonnières dans la basse plaine alluviale sont directement liées aux sollicitations de la nappe : hautes eaux au printemps et basses eaux en été.

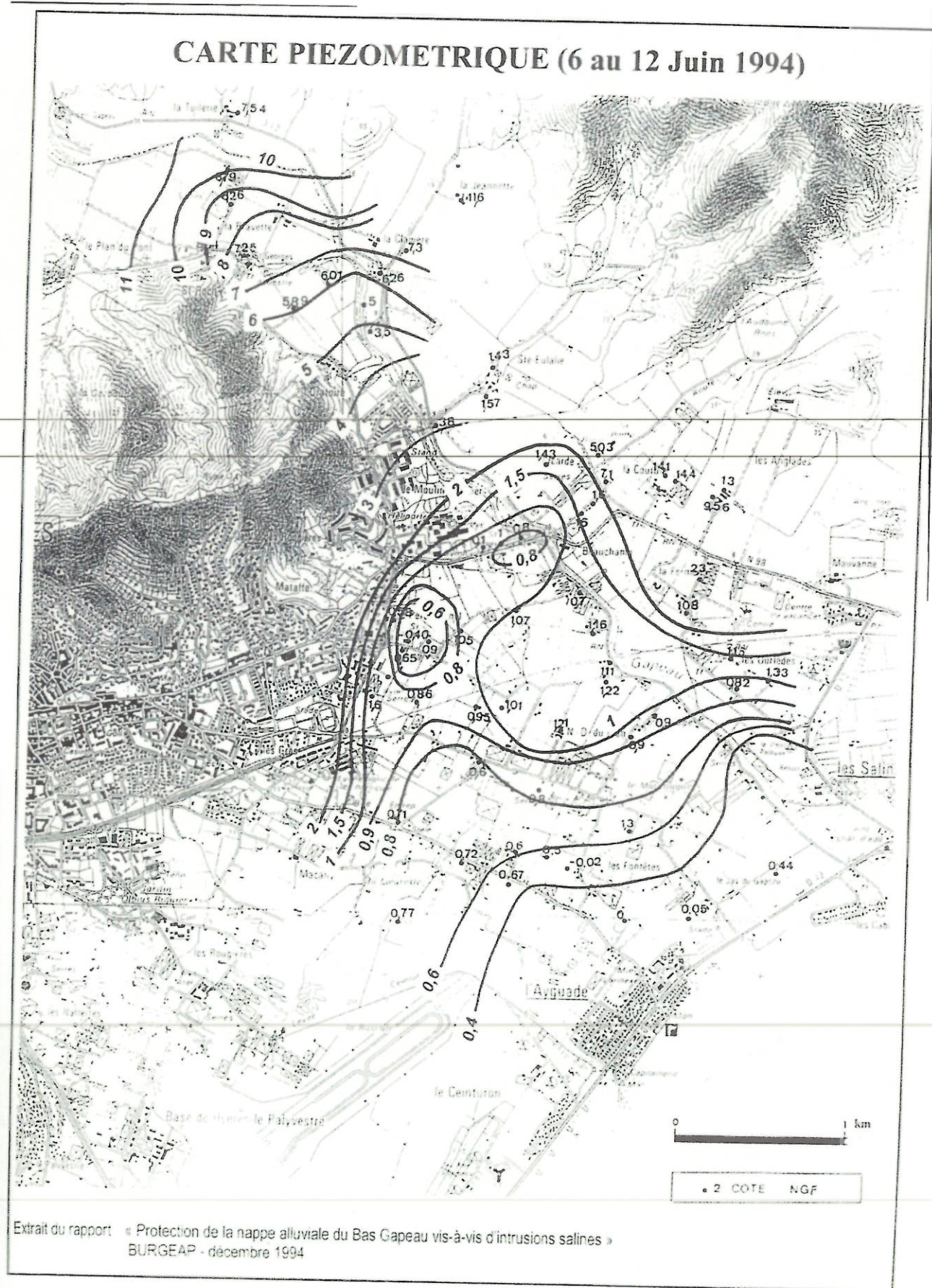
Une carte piézométrique (voir extrait ci-après) a été réalisée dans ce secteur en Juin 1994 dans le cadre de l'étude de protection de la nappe alluviale du Bas Gapeau vis-à-vis d'intrusions salines.

1.2.4 BARRAGE ANTI-SEL

Un barrage anti-sel a été mis en place sur le Gapeau pour éviter la contamination de la nappe liée à la remontée du biseau salé en période d'étiage.

La partie supérieure de l'ouvrage est constituée d'un boudin qui s'efface en cas de crue.

Figure 6 - Carte piézométrique



1.3 CONTEXTE CLIMATIQUE

1.3.1 DONNEES CLIMATIQUES

Le climat du secteur d'étude est de type méditerranéen, caractérisé par de fréquentes sécheresses en été :

- **Températures**

La répartition des températures moyennes annuelles est présentée par le tableau suivant :

	Température moyenne mensuelle (°C)												
Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Année
Tmin	5	5	7	10	13	16	18	19	17	13	7	6	12
Tmoy	8	9	11	13	16	20	23	23	21	16	12	9	15
Tmax	12	13	14	17	20	24	28	27	25	20	16	13	19

Source : Atlas Climatique de France

Les températures sont relativement élevées en été, encore douces en hiver. Cependant, des chutes brutales sont relevées lorsque souffle le mistral.

- **Pluviométrie**

La répartition de la pluviométrie au cours de l'année est résumée par le tableau ci-dessous pour la période 1959-1995 :

	Pluviométrie moyenne mensuelle (mm)												
Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Année
Pmoy	79	83	61	57	46	23	7	29	56	110	83	77	700

Source : Station Hyères-BAN

Les principaux apports proviennent de violentes averses à la fin de l'automne et de précipitations importantes en début d'hiver suite à du mauvais temps persistant parfois sur plusieurs jours (régimes perturbés du Sud-Est).

Les pluies exceptionnelles sont caractérisées au paragraphe 3.1.

- **Insolation**

La durée moyenne d'insolation (2 800 h/an) est la plus élevée à l'échelle de la France, avec un maximum observé en juillet (375 h/an).

1.3.2 MAREGRAPHIE

Les variations du niveau de la mer sont dues à :

- des variations régulières, peu sensibles sur la façade méditerranéenne (environ 40 cm de marnage), résultant de l'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil. Ces variations peuvent être, par calcul, prédites sur de longues périodes ;
- la superposition de variations de hauteur d'eau d'origine météorologique, appelées surcotes-décotes, dont l'étude relève essentiellement de méthodes statistiques. Ainsi, les basses pressions engendrent des rehaussements du niveau régulier de la mer.

D'après les données disponibles aux Salins des Pesquiers et auprès du SHOM à Toulon, les niveaux et fluctuations connues sont les suivantes :

Hyères (observations sur 1987-95)
Niveau moyen de la mer = 0,16 mNGF
Niveau fréquemment atteint sur plusieurs jours = 0,30 m NGF
Niveau haut annuel = 0,35 m NGF
Niveau maximum enregistré = 0,68 m NGF
Toulon (observation sur 1961-2000)
Niveau maximum enregistré = 0,89 m NGF

Les statistiques des niveaux marins extrêmes n'étant pas disponibles pour la façade méditerranéenne, l'évolution des niveaux de la mer a été estimée sur la base des observations disponibles, soit :

- cycle normal = variation du niveau entre 0,18 m NGF et 0,44 m NGF (marée « importante »)
- cycle de probabilité 30 ans = rehaussement de 0,38 m, soit un maximum de 0,82 m NGF
- cycle de probabilité 100 ans = rehaussement de 0,56 m, soit un maximum de 1,00 m NGF

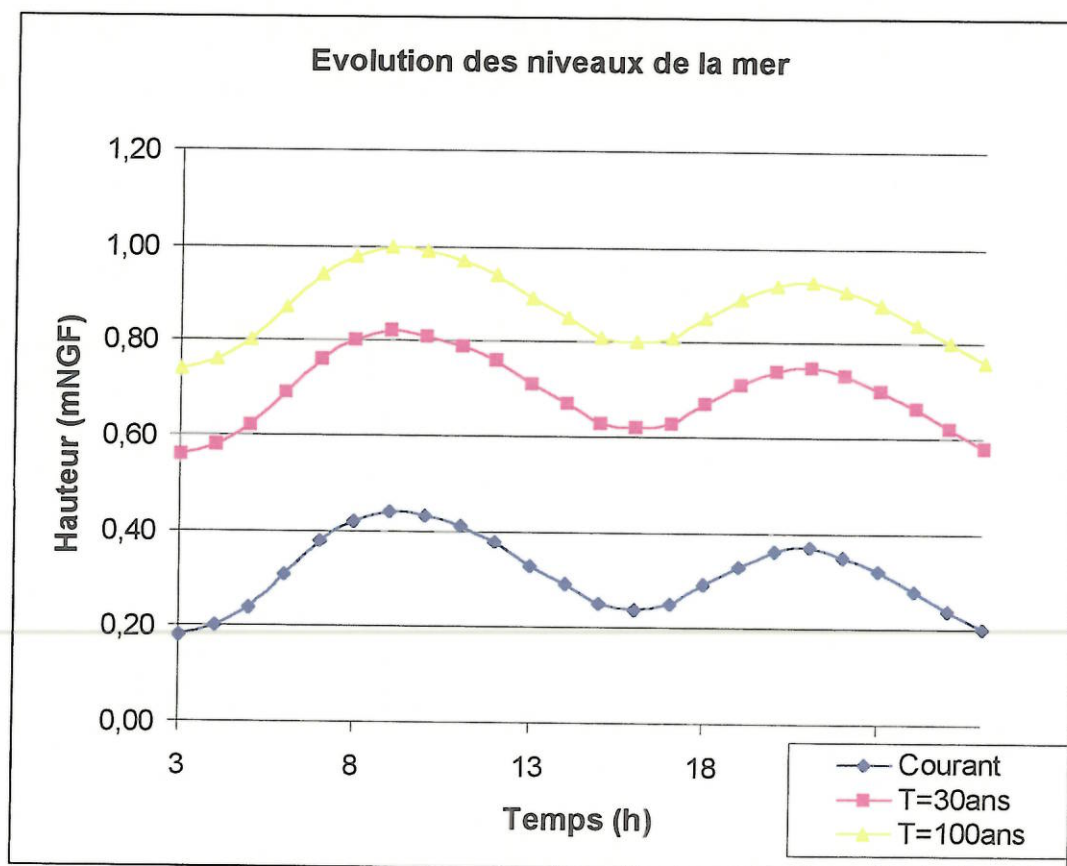


Figure 7 – Evolution des niveaux d'eau de la mer

1.4 RESEAU HYDROGRAPHIQUE

1.4.1 PRESENTATION DU RESEAU

Deux fleuves côtiers ont leur embouchure sur le littoral hyérois : le Gapeau et le Roubaud.

Plusieurs ruisseaux descendent également des reliefs communaux et se jettent :

- soit dans les fleuves précédemment cités,
- soit directement dans la mer.

L'architecture globale du réseau hydrographique sur le territoire de Hyères est décrite dans le tableau ci-après et illustrée pour la plaine hyéroise par la carte hors texte correspondante (pièce 1).

Ruisseau ou fleuve côtier	Affluent principal	Affluents secondaires		
	Le Réal Martin	Vallon des Châtaigniers		
		Ruisseau de Castel Roux		
		Vallon du Priouré		
		Vallon des Fontaines		
LE GAPEAU		Ruisseau de la Bastidette	Vallon de St-Colomban	
	Vallon des Borrels	Vallon de la Règue d'Auguste	Ruisseau de Valbonne	
		Vallon du Viet		
		Ruisseau de l'Adrech de Lambois		
		Vallon des plaines de Borrel		
		Vallon des Cros		Vallon de Maulan
		Vallon du Cros de la Truye	Vallon du Surlier	
		Vallon de l'Hort		
		Vallon des 1 ^{ers} Borrels		
		Ravin du Sabattier		
		Ruisseau de la Jeannette		
	Vallon du Muet			
	Vallon de St-Hilaire			
	Ruisseau de l'Icarde → Ruisseau de Ste-Eulalie			
	Ruisseau de Ginouviès	Ruisseau de l'Apié		
	RUISSEAU DE MATAFFE			
	LE ST-LAZARE	LE PYANET		
	LA RITORTE			
LE ROUBAUD	Ruisseau de Pendelotte			
	Ruisseau de Coup Perdu			
	Le Réal Baye			
	La Roubaudine			
	Le Béal			
	RUISSEAU DE LA SAUVETTE			
CANAL DE LA MARINE	LA VERLAQUE			

Les cours d'eau signalés en gras constituent le réseau d'étude, d'importance pour la ville de Hyères. Ils sont décrits au paragraphe suivant.

a) Le bassin versant du Gapeau

• Le Gapeau

Le Gapeau est un petit fleuve côtier long de 40 km dont la source se situe dans la plaine de Signes mais qui est prolongé à l'amont par le Latay, petit ruisseau alimenté par les sources issues du massif de la Sainte Baume qui se perd rapidement par infiltration.

Le Gapeau suit, depuis sa source jusqu'à son embouchure, un axe Nord-Ouest / Sud-Est au fond d'une vallée encaissée puis en plaine à partir de Solliès-Pont.

Il est essentiellement alimenté par des sources et draine un important bassin versant d'environ 560 km² dont :

- le sous bassin du Gapeau proprement dit : 250 km² dont 50 km² en plaine alluviale,
- le sous bassin du Réal Martin : 310 km² dont 150 km² en plaine alluviale.

Cette échelle, très différente des autres cours d'eau rencontrés dans la plaine hyéroise, implique un mode de formation des crues différent : les crues du Gapeau sont généralement engendrées par des épisodes pluvieux étendus, dus à un retour d'Est. Une surcote du niveau de la mer peut accroître les dégâts dans la partie aval.

• Le ruisseau de Mataffe

Le ruisseau de Mataffe long de 2 800 m draine le quartier des Rougières et un secteur urbanisé jusqu'au chemin du Moulin Premier. Il se prolonge jusqu'au Gapeau par des fossés de dimensions très réduites le long du chemin du Père Eternel.

Son bassin versant couvre une surface de 59 ha.

b) Le ruisseau du Pyanet

Ce petit ruisseau de 3 300 m de long draine le quartier du Pyanet et se prolonge jusqu'au Canal de Roueff (le long de la D42) par le ruisseau du Saint Lazare qui a fait l'objet d'aménagements récents.

La surface du bassin versant drainé est de 179 ha.

c) Le ruisseau de la Ritorte

La Ritorte prend sa source sur le massif des Maurettes au droit du cimetière de la Ritorte et se jette dans la mer au niveau de l'Ayguade.

Avec un linéaire de 5 100 m, elle draine un bassin versant de 289 ha.

Les ruisseaux (Mataffe, Pyanet, Ritorte) connaissent des crues soudaines causées par des orages locaux centrés sur la ville de Hyères.

d) Le Roubaud

Le bassin versant du Roubaud représente une superficie totale de 20 km².

Il est délimité :

- à l'Est par la commune de la Crau ;
- au Sud par la commune de Carqueiranne, le « Col du Serre », « la Gaîté », le « Mont des Oiseaux », l'aéroport de Hyères ;
- au Nord par la « Fougasse », « Beauvallon », la « Potence ».

Ce cours d'eau correspond sans doute à un ancien cours du Gapeau ; son embouchure est aménagée en port de plaisance.

Il reçoit en partie basse les eaux de la Sauvette. Ce petit ruisseau draine une surface de 195 ha, pour une longueur de 3 900 m.

Les crues du Roubaud sont généralement provoquées par des épisodes pluvieux intenses et brefs, localisés sur la Crau.

Les crues de la Sauvette sont dues, comme pour les petits ruisseaux côtiers, à des orages localisés sur la ville de Hyères.

e) La Verlaque

La Verlaque draine environ 219 ha situés entre le cours aval du Roubaud et le Mont des Oiseaux. Elle présente un linéaire total de 3 600 m entre le Roubaud et la mer.

Elle peut, suivant la manœuvre des ouvrages amont, servir de décharge au Roubaud, depuis le parc Olbius Riquier.

Elle constitue, pour l'essentiel, l'exutoire des nombreux drains qui sillonnent la plaine.

2. METHODOLOGIE DE L'ETUDE

2.1 ANALYSE HYDROLOGIQUE

L'objectif de cette partie est de déterminer, pour chaque cours d'eau :

- **des débits de crues « théoriques »**, c'est-à-dire des débits de crues exceptionnelles correspondant à certaines périodes de retour : 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans.
Dans la suite du rapport, un débit de crue de période de retour T (c'est-à-dire présentant 1 chance sur T de se produire chaque année) sera noté Q_T .
- **des débits de crues historiques** pour lesquelles un certain nombre de données est disponible, et notamment des laisses de crues (c'est-à-dire des niveaux maxima atteints qui ont été relevés).

Ces débits seront utilisés ensuite pour le diagnostic et la modélisation hydraulique :

- **les débits de crues historiques sont utilisés pour caler le modèle**, c'est-à-dire ajuster les différents paramètres rentrés afin d'obtenir, par la simulation de ces crues, des résultats cohérents avec les observations effectuées. Ainsi, le modèle sera considéré comme représentatif du fonctionnement du système hydraulique et pourra être utilisé ensuite pour simuler les différents débits théoriques et tester l'impact des aménagements proposés ;
- **les débits de crues théoriques permettent d'affecter une période de retour**, et donc une probabilité d'occurrence, aux débits maxima admissibles dans un cours d'eau ; les débits de crues trentennales et centennales seront modélisés afin de rendre compte de l'ampleur de ces phénomènes d'occurrence rare (étendue du champ d'inondation, définition des secteurs sensibles...). Il convient de rappeler ici que c'est la crue centennale (ou une crue historique de période de retour supérieure s'il y a lieu) qui est prise en compte pour l'établissement des Plans de Prévention des Risques d'Inondations.

Compte tenu des études précédemment réalisées (voir Bibliographie en page 45) et des données disponibles, cette analyse hydrologique a été conduite de deux manières différentes :

- *pour le Roubaud et ses affluents, la Ritorte, le Pyanet, le St-Lazare, le Mataffe, la Verlaque, et les réseaux pluviaux*, une analyse de la pluviométrie exceptionnelle a été effectuée, suivi de la caractérisation des différents bassins versants. A partir de ces données, les débits de crues historiques et exceptionnelles ont été déterminés à partir de différentes méthodes.
- *pour le Gapeau*, la méthode est différente car ce cours d'eau présente un bassin versant d'une échelle très différente (500 km² au lieu des 20 km² maximum sur les autres cours d'eau) et un fonctionnement bien spécifique puisqu'il réagit à des pluies non plus locales mais se produisant sur l'amont de son bassin (ce dernier présentant d'ailleurs deux sous bassins aux géologies et fonctionnement bien différents).

Ainsi, l'analyse hydrologique n'a pas été conduite à partir de l'analyse de la pluviométrie et du bassin, mais directement à partir des résultats des études d'HGM, et des mesures effectuées à la station hydrométrique de Sainte-Eulalie.

2.1.1 ANALYSE PLUVIOMETRIQUE

- Les précipitations maximales journalières observées annuellement à Hyères-BAN ayant été fournies par la BAN de 1963 à 1997, une loi de Grumbel (loi des valeurs extrêmes) a été ajustée à cet échantillon de précipitations afin d'en déterminer les quantités caractéristiques, c'est-à-dire les valeurs des précipitations correspondant à différentes occurrences ou probabilités d'apparition concernées par la notion de période de retour.

Compte tenu de l'échantillon de données, cet ajustement a permis :

- de définir les pluies journalières de période de retour 10 à 100 ans à Hyères,
- d'extrapoler les pluies de période de retour 1 à 10 ans à Hyères.

- Les courbes Intensité-Durée-Fréquence des pluies à la station de Toulon la Mitre ayant été fournies dans le rapport du BCEOM, elles ont été utilisées pour déterminer les pluies journalières de période de retour 2 à 100 ans à Toulon (la pluie de $T = 1$ an étant extrapolée à partir de ces valeurs).

NB : les courbes IDF donnent les valeurs de pluies de durées inférieures à 24 h et de différentes périodes de retour.

- L'analyse des pluies de 1 à 10 jours effectuée par le Cemagref permet d'obtenir, en différentes stations, les paramètres a et b de Montana et les pluies de différentes durées de période de retour 1 et 10 ans.

Les données des pluies journalières annuelles et décennales des stations de Porquerolles et Toulon (les plus proches de Hyères) en ont donc été extraites.

⇒ Ainsi, la comparaison de ces résultats a permis de définir les pluviométries journalières exceptionnelles à Hyères.

- Par ailleurs, les services techniques ont fourni au bureau d'études la pluviométrie (journalière) du mois d'octobre 1999 (le Roubaud ayant été en crue le 21/10/99, et observé, c'est cette crue qui sera utilisée par la suite pour le calage du modèle).

Les courbes IDF de pluviométrie de durée inférieure à 24 heures ont permis de déterminer les paramètres C, D, E et F de Montana et donc les courbes IDF des pluies de durée 1 à 10 jours.

La pluviométrie journalière à Hyères a donc été analysée sur les 10 jours entourant la crue, de manière à approcher la période de retour T_p de l'événement pluvieux, dans le but de vérifier par la suite que le débit de pointe calculé d'après la pluviométrie présente une période de retour du même ordre que T_p .

2.1.2 ANALYSE DES BASSINS VERSANTS (HORS GAPEAU)

La détermination des débits de crues nécessite certes de connaître la pluviométrie, mais également de caractériser chaque bassin versant (voir pièce n°2 hors texte).

a) Caractérisation des bassins versants

- Les bassins versants ont été délimités d'après la carte IGN au 1/25000°, complétée des informations relevées sur le terrain. Les bassins de Costebelle et du Roubaud ont été décomposés en sous-bassins (30 au total), ceux de la Ritorte, du Pyanet / St-Lazare et du Mataffe ont été considérés dans leur totalité.

Ainsi, pour chaque bassin, la surface, le périmètre, la longueur et la pente ont pu être déterminés.

- L'analyse de l'occupation du sol (voir pièce n° 3 hors texte) dans l'état actuel a été conduite à partir des photographies aériennes fournies (survol de 1999). Au total, 7 types de sols ont été définis, associés à leur coefficient de ruissellement (caractérisant la part de la pluie qui, en tombant sur ce type de sol, va effectivement ruisseler et donc générer le débit).
- ⇒ A partir du croisement des limites des bassins et de l'occupation du sol, les coefficients de ruissellement de chaque bassin ont pu être calculés.
- ⇒ Compte tenu des caractéristiques « géométriques » et des données relatives au ruissellement, les différents paramètres utilisés dans le calcul des débits ont pu être déterminés (temps de concentration = temps mis par une goutte tombée sur le bassin pour arriver à l'exutoire, temps de base de la crue choisi égal à deux fois le temps de concentration...).
- La même démarche a été conduite à partir de l'analyse de l'occupation du sol à court terme (voir pièce n° 3 bis hors texte), les changements par rapport à l'occupation actuelle étant situés sur les zones NA où des projets sont prévus. Des coefficients de ruissellement spécifiques et différents ont été associés à ces zones, d'après les renseignements fournis par le service Aménagement.

b) Détermination des débits de crues

- **La détermination des débits de crues de différentes périodes de retour s'appuie sur la comparaison des résultats issus de plusieurs méthodes :**
 - *Les méthodes basées sur l'analyse statistique* (Crupédix, Lama, Sogreah...) où la relation permettant de calculer le Q_{10} a été calée par corrélation multiple sur un échantillon de plusieurs dizaines de bassins versants puis testée sur plusieurs centaines. Ces méthodes sont utilisables dans des conditions particulières (surface, région), et permettent de déterminer Q_{10} ;
 - *Les méthodes déterministes* (rationnelle, SCS...) qui sont valables quelle que soit la région et permettent de déterminer des débits de différentes période de retour ;
 - *Les méthodes hydrométéorologiques* (Gradex...) qui relient les crues aux pluies. La méthode du Gradex permet d'obtenir, à partir du Q_{10} , les débits de période de retour supérieure.
 - *Les méthodes de transposition des données d'un bassin versant à un autre* (similaire du point de vue de la géologie et de la région notamment) par la formule de Myers, qui permettent de déterminer des débits de différentes périodes de retour.

Ces méthodes permettent d'obtenir des valeurs de débits de pointe.

Enfin, *les débits peuvent être déterminés par des modèles pluie-débit* (ici le modèle CUMULUS), qui transforment un hyétogramme (pluie = $f(\text{temps})$) en hydrogramme (débit = $f(\text{temps})$) grâce à une fonction de transfert, et ce, quelle que soit la période de retour de l'événement considéré.

La pluie brute est modélisée suivant une distribution de type HUFF (1^{er} quartile), répartition la plus pessimiste pour l'évaluation des débits de crues.

Ces méthodes donnent des débits générés par une pluie à l'exutoire d'un bassin versant donné.

Pour le cas particulier du Roubaud, où l'ensemble du bassin a été décomposé en plusieurs sous-bassins, une approche complémentaire a été mise en œuvre :

- L'hydrogramme de crue à l'exutoire de chaque sous-bassin a été obtenu par la méthode pluie-débit (à partir du même épisode pluvieux critique) ;
- La composition des hydrogrammes a été obtenue, non par simple addition (qui aurait surestimé l'hydrogramme résultant à l'exutoire du Roubaud), mais par le calcul de la propagation et de l'atténuation de l'onde de crue par la méthode de Muskingum-Cunge, grâce au logiciel ISIS.

Cette méthode suppose que le réseau est suffisamment dimensionné pour véhiculer les crues.

L'ensemble de ces méthodes est présenté en annexe 1.

Les valeurs de débit obtenues pouvant être très différentes, il a ensuite été effectué deux tests permettant de choisir les valeurs les plus appropriées par bassin :

- *pour chaque période de retour*, une courbe a été tracée représentant l'évolution des débits obtenue (pour chaque bassin) en fonction de la surface active. Cette courbe doit pouvoir permettre une bonne corrélation avec une courbe de type $Q = K \times S^{0,8}$ (Q = débit en m^3/s , S = surface en m^2).
- *pour chaque méthode*, les courbes $Q = f(T)$ [débit en fonction de la période de retour] obtenues ont été tracées par bassin, ainsi que celles issues des études précédentes (NB : les surfaces et coefficients de ruissellement obtenus étant parfois différents, les valeurs de débits ont été recalculées à partir des débits spécifiques annoncés précédemment en fonction des surfaces et coefficients obtenus dans la présente étude). L'observation du fuseau de courbes obtenu a permis le choix d'une courbe jugée représentative du bassin en question.

Compte tenu de ce débit de pointe, l'hydrogramme retenu a été déduit (par homothétie) de celui donné par le modèle pluie-débit.

- **La détermination des débits de crues historiques, ici la crue d'octobre 1999, a été effectuée grâce au modèle pluie-débit.**

Connaissant la pluviométrie (au pas de temps horaire) du 21 octobre 1999, l'hydrogramme résultant a été calculé pour chaque sous-bassin et pour le bassin total du Roubaud, en prenant en compte la saturation des sols du fait de la pluviométrie des jours précédents.

Les hydrogrammes de chaque sous bassin ont ensuite été injectés directement dans le modèle (voir 2.3 Modélisation hydraulique en page 26).

2.1.3 ANALYSE DU GAPEAU

Comme indiqué précédemment, les débits de crues du Gapeau ont été définis à partir :

- des résultats des études d'HGM :
 - Q10, Q50 et Q100 à Ste-Eulalie et à l'embouchure, 1996 ;
 - Crue de janvier 1999 à Ste-Eulalie et au confluent avec le Réal Martin, 1999.
- des données de la DIREN au barrage de Ste-Eulalie, 2000 : Q_2 à Q_{50} , Gradex.

La valeur du débit de pointe annuelle a été obtenue par la formule de Füller.

Les valeurs statistiques données par la DIREN en 2000 à Ste-Eulalie (valeurs corrigées par rapport aux mesures brutes, tenant compte du fait que la station est contournée par les crues) ont été jugées bonnes.

Elles ont néanmoins été légèrement réévaluées à la hausse pour tenir compte du fait que certaines méthodes, en particulier une extension de Crupedix, donnent des débits centennaux supérieurs.

Ensuite, les hydrogrammes ont été construits par homothétie de l'hydrogramme reconstitué au confluent pour la crue de janvier 1999.

2.2 DIAGNOSTIC HYDRAULIQUE PRELIMINAIRE

a) Reconnaissance des cours d'eau

Les cours d'eau suivants ont été parcourus à pied sur l'ensemble du linéaire inclus dans la zone d'étude (et parfois plus selon les besoins de l'étude) :

- le Gapeau,
- le Roubaud,
- la Verlaque,
- la Sauvette (et le Macany),
- le canal Decugis,
- la Ritorte,
- le Pyanet et le St-Lazare,
- le Mataffe.

Ce parcours pédestre permet de répondre à plusieurs objectifs :

1. prise de connaissance des cours d'eau (lits mineurs et majeurs),
2. interrogation des riverains sur le fonctionnement des cours d'eau en crues autant que possible,
3. relevé des principaux paramètres (rugosité, section, type d'écoulement, affluents...), permettant de sectoriser les cours d'eau en tronçons hydrauliquement homogènes (voir pièce n° 4 hors texte),
4. vérification des levés précédents des ouvrages d'art (et/ou complément), relevé des caractéristiques (embâcles, rugosité...),
5. définition des limites des casiers d'inondation en lit majeur si nécessaire,
6. ajustement des limites des bassins versants.

Une attention particulière a été portée aux secteurs modifiés (recalibrés) depuis les dernières études que le service E. Verts nous a indiqués (le Roubaud le long d'Olbius Riquier et du CES, et à l'amont des services techniques, la Ritorte à l'amont et à l'aval de la voie Olbia).

NB : les ouvrages et profils en travers de la Sauvette et la Verlaque ont été levés par le cabinet HOSPITAL.

b) Capacité hydraulique des lits mineurs

Le calcul des capacités des lits mineurs (débit maximum admissible avant débordement) des cours d'eau a été conduit, pour chaque tronçon de chaque cours d'eau, grâce à la formule de Manning Strickler.

Les valeurs obtenues donnent un ordre de grandeur optimiste des phénomènes, car la formule suppose un écoulement uniforme ce qui n'est pas le cas en réalité :

- à l'aval des cours d'eau (influence du niveau de la mer) ;
- à l'amont des ouvrages (remous dûs aux ponts ou aux déversoirs).

Les capacités sont ensuite croisées avec les valeurs (de pointe) des débits caractéristiques afin de pouvoir leur affecter une période de retour. Les secteurs sensibles sont ainsi mis en évidence.

c) Capacité hydraulique des ouvrages

Le calcul du débit maximal avant débordement a été conduit pour chaque pont (ou buse...) à l'aide de la formule des orifices en charge (la charge étant ici obtenue à partir notamment du niveau de revanche disponible).

De la même manière, les résultats obtenus donnent un ordre de grandeur des phénomènes, le calcul ne prenant pas en compte les influences aval et donnant des résultats approximatifs en cas de faible revanche disponible.

Les capacités sont également croisées avec les débits caractéristiques.
Les ouvrages limitants sont ainsi mis en évidence.

2.3 MODELISATION HYDRAULIQUE

2.3.1 PRELIMINAIRES

a) Avertissement

La modélisation hydraulique est basée sur les éléments topographiques disponibles, dans l'état actuel des lits mineurs et majeur des cours d'eau. Des aménagements futurs (ouvrages de lutte contre les crues, urbanisation non contrôlée...) pourraient amener à modifier les résultats de la présente étude, au même titre que la formation d'embâcles au cours d'une crue.

Enfin, la modélisation hydraulique a pour objectif de caractériser l'inondabilité des terrains riverains des cours d'eau à étudier pour des crues exceptionnelles (de type au moins décennales).

b) Présentation du logiciel utilisé

Les écoulements des débits de crues exceptionnelles ont été modélisés à l'aide du logiciel ISIS. Développé par HR Wallingford et Halcrow, cet outil résulte de la fusion de deux logiciels plus anciens SALMON et ONDA/STYX utilisés depuis une trentaine d'années à l'échelle mondiale.

Il permet de modéliser les écoulements fluviaux et torrentiels aussi bien en régime permanent qu'en régime transitoire. Les facteurs qui déterminent la solution sont classés suivant trois types :

- *les effets hydrodynamiques :*

Les écoulements à surface libre peuvent être décrits par les équations de Saint-Venant qui expriment la conservation de la masse et des quantités de mouvement. Elles prennent en compte l'ensemble des forces de diffusion, de gravité et de friction sans aucune simplification. Elles sont résolues par la méthode du schéma implicite de Preissman.

- *Les conditions limites internes :*

Sous ce terme, sont regroupés les ouvrages de contrôle, les pertes de charge singulières, ou les confluences/défluences.

Ces structures imposent des relations débit-hauteur aux points considérés et divisent le modèle en biefs.

- *Les conditions limites externes :*

En régime transitoire, des conditions limites sont nécessaires aux deux extrémités amont et aval du système étudié. Elles peuvent être représentées par des relations reliant deux des paramètres débit, hauteur, temps.

Le logiciel permet ainsi de modéliser des écoulements fonction du temps et donc de déterminer les hauteurs d'eau, débits et vitesses maximales atteints, ainsi que les volumes mis en jeu lors des crues, et les durées de submersions exceptionnelles.

Le modèle mis en œuvre pour les besoins de l'étude est de type unidimensionnel maillé, utilisé en régime transitoire.

c) Scénarii modélisés

En concertation avec les services de la Ville de Hyères, les scénarios de crues étudiés sont les suivants :

	Période de retour de l'événement		
	Gapeau	Roubaud, Sauvette, Verlaque et Font des Horts	Ritorte, Pyanet et Mataffe
Scénario 1	30 ans	30 ans	30 ans
Scénario 2	100 ans	100 ans	100 ans
Scénario 3	30 ans	-	-
Scénario 4	-	30 ans	10 ans
Scénario 5	-	10 ans	30 ans

Les simulations de crues globales pour les périodes de retour 30 et 100 ans ont pour objectifs de caractériser le risque « maximal » (scénarios 1 et 2).

Cependant, compte tenu des différents modes de formation des crues des cours d'eau étudiés, les scénarios 3 à 5 sont apparus indispensables pour rechercher des aménagements de protection adaptés au contexte local.

2.3.2 CONSTRUCTION DU MODELE

a) Architecture du réseau

• Levés topographiques

Les données topographiques utilisées pour l'établissement du modèle numérique proviennent des sources suivantes :

- Couverture photogrammétrique de la commune, effectuée par le Cabinet Hospital en 1999 ;
- Levés topographiques disponibles sur les lits mineurs, réalisés pour les besoins d'études antérieures :
 - Gapeau : levés effectués par le Cabinet Guignard en 1996 dans le cadre de l'étude HGM ;
 - Roubaud : levés disponibles dans l'étude IPSEAU de 1998 ;
 - Ritorte, Saint-Lazare, Pyanet et Mataffe : levés effectués par le BCEOM en 1997.
- Levés complémentaires et vérification des travaux précédents, réalisés par le Cabinet Hospital en 2000, pour les besoins propres de cette étude et comprenant notamment la réalisation de levés sur la Sauvette et la Verlaque, et de vérifications sur la Ritorte, le Pyanet et le St-Lazare.

- **Représentation du réseau**

L'ensemble des informations topographiques constitue l'ossature géométrique du modèle. Deux types de représentation sont utilisés, suivant le mode d'écoulement des eaux :

- Le domaine filaire :

Le domaine filaire correspond au lit mineur du cours d'eau, où l'essentiel des écoulements est concentré. Il peut également s'étendre au lit majeur, lorsque celui-ci est inondé par insuffisance progressive du lit mineur, sans phénomène de surverse (ex : cas d'une vallée en V).

Le domaine filaire est constitué par une succession de profils en travers. Pour un même profil, différentes zones d'écoulement sont distinguées : le lit mineur, le lit majeur en rive gauche et le lit majeur en rive droite. A cela, peut s'ajouter une zone d'écoulement intermédiaire de type chenal de crue. A chaque zone sont assignés des coefficients de rugosité (Manning) et de sinuosité, qui rendent compte de la longueur relative du lit majeur et du lit mineur.

Les cours du Gapeau et du Roubaud sont modélisés de cette façon.

- Les casiers d'inondation :

Les casiers constituent une unité homogène au regard de l'écoulement, où les vitesses de l'eau sont très faibles, et les hauteurs d'eau imposées par des limites physiques.

Ils permettent de bien rendre compte d'effet de surverse sur des digues par exemple.

Leur délimitation s'appuie sur des contraintes physiques (route en remblai, ouvrage de contrôle). Leur capacité de stockage est définie par l'évolution de la superficie en fonction de la cote, décrite par une courbe surface/hauteur.

Cette courbe est initialisée en fond de casier par une cote représentative. Pour des cotes supérieures à cette dernière, la superficie correspondante est relevée d'après la topographie réelle du casier.

L'ensemble de la plaine Hyéroise est représenté sous cette forme. Le cours des petits affluents est intégré à ces casiers.

Les échanges entre le domaine filaire et les casiers, et inter-casier, sont majoritairement contrôlés par des effets de seuils sur les berges, digues, merlons limitant le lit mineur et/ou les casiers. Il peut également s'agir d'ouvrages particuliers, comme sous la voie Olbia, ou des exutoires directs à la mer.

Suivant les cotes d'eau maximales atteintes, ces possibilités de déversement sont mises en jeu ou non. Elles peuvent également être réversibles, si les conditions d'écoulement le permettent.

- **Nomenclature**

La carte hors texte n° 5 illustre la topologie retenue pour le modèle numérique.

Les noms des profils et casiers sont repérés par :

- les premières lettres du cours d'eau, suivies du numéro d'origine du profil levé par le géomètre (ex : GP 19) ;
- la lettre C (casier) suivi d'un numéro ;
- les connections entre les profils et casiers sont repérés soit par la rive concernée (RD : rive droite ; RG : rive gauche) pour les profils, soit par la direction principale de la liaison pour les casiers (E : est ; O : ouest).

b) Définition des limites externes

Les limites externes sont constituées par les entrées du modèle, soit les limites amont du cours d'eau, et les sorties, ici la mer, à l'aval.

- **Limites amont**

Les limites amont du modèle sont constituées par les hydrogrammes de crues déterminés par l'approche hydrologique ou reconstitués lors des crues observées. Il s'agit donc d'une relation débit/temps.

La limite amont sur le Gapeau a été déplacée de l'Oratoire (limite du périmètre d'étude) à la confluence avec le Réal Martin.

Sur le Roubaud, la limite amont est située à l'amont de l'autoroute, au profil P4 d'Ipseau.

- **Limite aval**

L'exutoire aval est constitué par la mer, donc par l'évolution des niveaux de la mer. Les courbes présentées en page 14 du rapport constituent ainsi la condition aval unique.

c) Hypothèses de modélisation

La construction et la mise en œuvre du modèle ont été réalisés sous les hypothèses suivantes :

- La limite amont de l'étude, côté Gapeau, a été repoussée à l'amont du déversoir du Plan du Pont afin de prendre en compte l'effet de surverse sur cet ouvrage, le laminage de la crue dans la plaine aval, ainsi que les débordements du chenal de crue vers l'Oratoire. Cependant, cette partie du modèle (Camping du Vert Gapeau / Oratoire) reste simplifiée et ne constitue pas un modèle précis des phénomènes qui y prennent place.
- Les apports des petits affluents ont été pris en compte par le biais de leurs hydrogrammes de crues, diminués de la capacité d'évacuation minimal du lit mineur. En outre lorsqu'un ouvrage limitant amont (sous la Voie Olbia ou à proximité) a été identifié, l'hydrogramme a été modifié en conséquence (débit maximal admissible, conservation du volume global de la crue). Ces apports sont dirigés vers les casiers riverains de l'affluent, en limite amont du modèle.
- Les variations de niveaux de la mer ont été assimilées à une marée « normale », sans surcote. Toutefois, l'incidence d'un rehaussement des niveaux a été étudié pour les scénarios 1 et 2 avec comme conditions aval respectives une surcote de période de retour 30 ans et 100 ans. Les résultats obtenus sont détaillés au paragraphe 3.3.
- En l'absence d'éléments topographiques, la zone de la base aéronautique (BAN) n'a pas été explicitement modélisée. Elle est représentée par une « boîte noire » capable d'évacuer les eaux à la puissance maximale des pompes installées (soit 4 m³/s).
- La définition des connections latérales intercasiers ou lit mineur/casier a été effectuée à la précision du levé photogrammétrique, complété du parcours de terrain.
- Les risques de ruptures de digues et leurs conséquences n'ont pas été modélisés.
- La route bordant le rivage côtier (RD42) est supposée insubmersible pour les crues étudiées et un niveau normal de la mer sur la majeure partie de son linéaire. Les connections avec la mer se font donc par l'intermédiaire des ouvrages exutoires (buses, ...), des lones et estuaires présents.

2.3.3 CALAGE DU MODELE

a) Objectifs

L'exercice de calage consiste, à partir des écoulements et des niveaux d'eau atteints pour une crue historique, à reproduire cette ligne d'eau par ajustement des coefficients de rugosité en lits mineur et majeur, et des coefficients d'écoulement des structures hydrauliques. Le modèle peut ensuite être utilisé pour simuler des écoulements théoriques, non observés.

Compte tenu des éléments disponibles, et de la topographie du site, le calage a été réalisé en deux temps :

- Simulation de la crue du Gapeau du 18/01/1999, qui a touché principalement le Nord-Est de la commune ;
- Simulation de la crue du Roubaud du 21/10/1999 qui a concerné les terrains du Sud-Ouest.

Pour la crue du 18/01/1999 du Gapeau, de nombreux relevés sont disponibles, notamment :

- Les niveaux des plus hautes eaux en plusieurs points entre le Plan du Pont et la mer, en lit mineur (relevés SCP) ;
- L'évolution des débits sur la partie amont, notamment au droit du déversoir du Plan du Pont et à hauteur de l'Oratoire, d'après les résultats HGM (issue d'une simulation numérique).

Pour la crue du 21/10/1999 du Roubaud, peu d'observations ont été quantifiées. Cependant les informations recueillies auprès des riverains, croisées avec les renseignements apportés par le Service Espaces Verts de la ville, ont permis une bonne compréhension des phénomènes observés (zones préférentielles de débordement, ouvrages en charge, créant des surverses...). Les hauteurs d'eau atteintes ont ainsi été estimées d'après les relevés topographiques.

b) Paramètres de calage

Compte tenu de la nature des lits mineurs, de leur largeur et sinuosité, ainsi que de l'occupation des berges et du lit majeur, les valeurs suivantes ont été retenues pour le coefficient de rugosité (Manning) :

GAPEAU	Lit mineur amont (jusqu'à GT4)	0,033 à 0,030
	Lit mineur aval (de GT3 à GT1)	0,020
	Berges boisées	0,100 à 0,050
ROUBAUD	Lit mineur naturel amont (jusqu'à RT10)	0,040
	Lit mineur artificiel (suivant la nature du fond) (de RT9 à RT5)	0,030 à 0,025
	Lit mineur naturel aval (de RT4 à la mer)	0,033

Sur le chenal de crue du Gapeau, les coefficients de rugosité ont été portés à 0,100 compte tenu du fort encombrement par la végétation qui avait été relevé à l'époque (cf. HGM).

La zone urbaine dense (traversée du Roubaud) est assimilée à un secteur qui ne participe pas, ou très peu, à l'écoulement des eaux.

Enfin, les coefficients d'écoulement des structures assimilables à des déversoirs varient également en fonction de la nature de l'obstacle :

- 1,1 sur une digue « naturelle » enherbée ;
- 1,3 pour un seuil latéral aménagé dans ce but ;
- 1,7 pour un seuil transversal.

(Nota : ce coefficient peut varier entre 0 et 3).

c) Résultats du calage

Les résultats de calage sur les deux crues précédentes sont présentés en annexe 9 et rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Localisation		Valeur mesurée sur le terrain	Valeur calculée par HGM	Valeur simulée
GP3ORD	Déversoir du Plan du Pont		110 m ³ /s	117 m ³ /s
GCP3	Chenal de crue – Oratoire		9.87 m NGF	9.87 m NGF (moyenne)
GP29	Gapeau aval Plan du Pont	15.50 m NGF		15.39 m NGF
G005am	Sainte-Eulalie (amont)	12.23 m NGF		11.89 m NGF
GP20 av	Oratoire	8.99 m NGF 8.60 m NGF		8.25 m NGF
GP14	RN 98 (amont)	7.56 m NGF 6.18 m NGF		6.78 m NGF
GP 12	RN 98 (aval)	5.86 m NGF		5.32 m NGF
CO1	Oratoire (photo n° 18-HGM) Oratoire (photo n° 24-HGM)	9.94 mNGF 9.86 m NGF		9.91 m NGF
CO1bis	Oratoire (photo n° 27-HGM)	8.60 m NGF		8.46 m NGF
CO2	Caserne (photo n° 28/7-HGM)	7.61 m NGF 6.83 m NGF		6.91 m NGF
GP10	Aval RN 98 (photo n° 30-HGM)	4.97 m NGF		4.97 m NGF
C13	Lit majeur rive droite amont barrage (LeMaugauguet) (photo n° 31-HGM)	2.36 m NGF		2.30 m NGF
GP08	Barrage anti-sel (amont)	4.24 m NGF		4.16 m NGF
GP08 bis	Barrage anti-sel (aval)	3.56 m NGF		3.56 m NGF
GP04	Gapeau (aval)	1.29 m NGF		1.21 m NGF
RO17am	Pont av. P. Bourget	14.84 m NGF		15.00 m NGF
RO11 am	Pont Ch. du Martinet	10.00 m NGF		9.71 m NGF
ROP31	Jardin O. Riquier	7.80 m NGF		7.83 m NGF
RO10 am	Pont av. A. Thomas	7.65 m NGF		7.71 m NGF

Compte-tenu de la nature très turbulente des écoulements, la précision du calage est satisfaisante.

Par ailleurs, le modèle reproduit les phénomènes décrits par les riverains, à savoir :

- **Sur le Gapeau**

- débordement sur le déversoir du Plan du Pont, mais également sur la berge amont, à proximité de la confluence avec le Réal Martin,
- débordement direct du chenal de crue du Gapeau vers le lotissement de l'Oratoire, en particulier sur la partie amont, sur la partie aval les débordements sont moins intenses du fait de l'action des murets entre propriétés,
- débordement du Gapeau à hauteur des installations sportives du lycée. Les eaux ne retournent plus au Gapeau et s'écoulent alors vers la partie aval de la plaine hyéroise via les ouvrages de décharge sous la Voie Olbia.

- **Sur le Roubaud**

- mise en charge, avec surverses localisées, des ouvrages sous l'avenue P. Bourget et du Chemin du Martinet,
- inondation de la rive gauche à hauteur du jardin Olbius Riquier.

La période de retour de ces deux crues est estimée à environ 10 ans au vu des débits et hauteurs d'eau simulés.

3. PRESENTATION DES RESULTATS

3.1 HYDROLOGIE

a) Pluviométrie

La synthèse de l'analyse pluviométrique (voir le détail en annexe 2) amène aux résultats suivants :

PLUIES JOURNALIERES NON CENTREES (mm)									
Source	Lieu	Période de retour (années)							
		1	2	5	10	20	30	50	100
Gumbel sur données BAN (63-97)	Hyères	55	67	95	113	131	141	154	171
Données Météo (BCEOM) IDF (71-95)	Toulon	53	63	89	108	126	140	150	169
Données Cemagref (79)	Porquerolles	53			85				
	Toulon	56			105				
VALEURS RETENUES (à Hyères)		57	67	95	113	131	141	154	171

Les valeurs sont relativement élevées mais cohérentes avec les pluies observées dans la région.

b) Analyse de la pluviométrie d'octobre 1999

Compte tenu des résultats précédents, les courbes hauteur-durée-fréquence des pluies (de durée 1 à 10 jours) ont pu être déterminées.

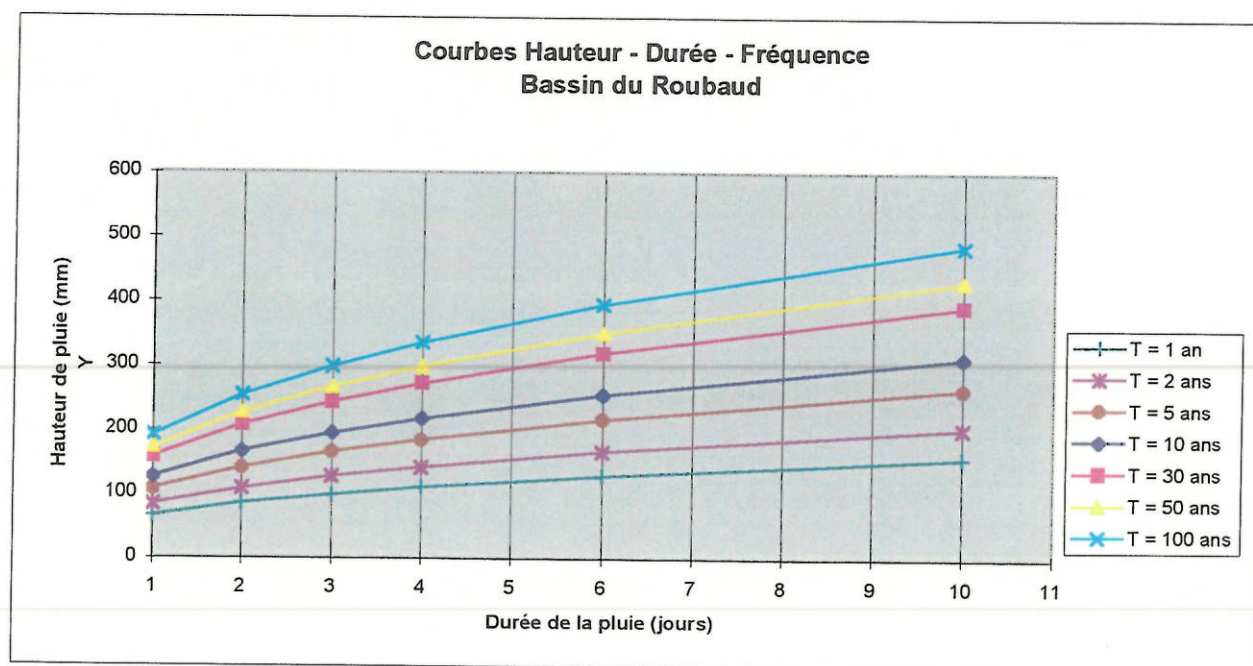


Figure 8 – Courbe Hauteur / Durée / Fréquence

L'analyse des pluies, compte tenu de ces courbes, sur une période de 10 jours encadrant la crue, montre que l'événement peut être considéré comme **décennal**.

Episode d'octobre 99 - Hauteur d'eau en mm	
Poste pluviométrique : Hyères	
16/10/99	0.2
17/10/99	18.6
18/10/99	41.8
19/10/99	45.6
20/10/99	66.4
21/10/99	49.6
22/10/99	6.6
23/10/99	3.8
24/10/99	9.2
25/10/99	0.2

	Cumuls journaliers en mm	Période de retour en années
le 20/10/1999	66.4	1
du 20 au 21/10/99	116.0	3
du 19 au 21/10/99	161.6	5
du 18 au 21/10/99	203.4	10
du 17 au 22/10/99	228.6	9
du 16 au 25/10/99	242.0	5

c) Analyse des différents bassins versants (hors Gapeau)

- La délimitation des bassins versants a donné lieu à une cartographie au 1/25 000° présenté hors texte (pièce n° 2).

La définition de l'occupation du sol a également donné lieu à une cartographie au 1/25 000° (pièce n° 3 pour l'état actuel, pièce n° 3 bis pour l'état à court terme hors texte), où les classes suivantes ont été utilisées :

Occupation du sol	
Type	Coefficient de ruissellement
Marais	0,90
Urbanisé	0,80
Serres	0,40
Semi-urbanisé	0,40
Cultures	0,20
Prairies	0,15
Forêts	0,10
Zones NA	variable

Les principales caractéristiques des bassins sont récapitulées ci-dessous :

Repérage cartographique et sommations	Bassin Versant	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Longueur (km)	Pente (%)	Coef état actuel	Coef état futur
A+B+C+D+E+F+G+H+I+J+K+11+12+13	Roubaud	19,89	25,19	9,30	3,4	0.37	0.39
	Ritorte	2,89	13,50	5,10	3,7	0.42	0.42
	Py Janet	1,79	8,82	3,30	0,7	0.28	0.28
	Mataffe	0,60	7,02	2,80	6,5	0.52	0.52
1	Costebelle1	0,28	2,47	0,80	20,1	0.26	0.26
2	Costebelle2	0,17	1,64	0,60	26,8	0.28	0.28
3	Costebelle3	0,39	2,86	1,00	20,1	0.22	0.22
4	Costebelle4	0,35	3,21	1,30	10,0	0.24	0.24
5	Costebelle5	0,97	1,41	0,25	26,8	0.15	0.15
6	Costebelle6	0,14	1,57	0,40	5,0	0.35	0.35
7	Costebelle7	0,72	3,98	1,30	14,9	0.35	0.36
8	Costebelle8	0,56	3,38	1,10	17,4	0.49	0.53
9	Costebelle9	0,44	3,01	0,60	16,6	0.53	0.53
10	Costebelle10	0,14	1,64	0,50	15,4	0.69	0.69
11	Costebelle11	1,15	5,18	1,70		0.33	0.35
12	Costebelle12	0,26	2,13	0,70		0.29	0.29
11'+11+12	Costebelle11' (La Luquette)	1,41	5,71	2,00	13,3	0.32	0.34
13	Costebelle13 (La Copiane)	0,45	2,81	1,10	9,7	0.52	0.56
AV1	Aval1	1,61	8,02	3,20	0,6	0.32	0.32
AV2	Aval2	2,09	6,39	2,20	0,4	0.34	0.34
A	Fenouillet	2,14	7,07	3,00	9,8	0.24	0.24
B	Les Loubes (bras droit du Roubaud)	2,15	6,87	2,20	8,0	0.25	0.25
C	Le Coup Perdu	1,58	5,87	2,35	12,5	0.22	0.22
D	Rau de la Baye	1,85	6,74	2,90	7,2	0.47	0.47
E	Rau de la Vierge	2,79	7,19	2,40	10,9	0.22	0.22
F	Rau des Maurettes	0,86	4,82	2,00	9,1	0.56	0.56
G	G	0,52	3,10	0,96	9,0	0.52	0.52
H	Roubaudine	0,77	4,35	2,00	9,4	0.76	0.76
I	I	1,60	7,80	1,50	1,8	0.45	0.45
J	Sauvette	1,96	9,51	3,90	5,1	0.45	0.47
K	Decugis	1,84	8,06	2,70	0,5	0.35	0.35
9+10+AV1	Verlaque	2,19	8,50	3,60	2,8	0.39	0.39
7+8+AV2	La Font des Horts	3,37	8,18	3,50	5,7	0.37	0.38

NB : les coefficients de ruissellement globaux sont obtenus par pondération des différents types d'occupation du sol.

- Les résultats obtenus par différentes méthodes pour caractériser les débits de crues théoriques dans l'état actuel sont fournis en annexe 3. Les cases grisées sont mentionnées uniquement pour mémoire car leurs valeurs n'ont pas de signification, la méthode concernée n'étant pas valable. L'analyse, par cours d'eau, est donnée en annexe 4.

A ce propos, il est intéressant de noter que, sur les bassins étudiés :

- la transposition, par rapport des surfaces actives, n'est pas adaptée lorsque la pente moyenne du bassin est assez forte (> 5 %) ; les valeurs semblent sous-estimées ;
- le logiciel Cumulus (modèle Pluie-Débit) semble plus adapté aux bassins de pente forte (> 9 %) ;
- la méthode rationnelle surestime les valeurs en cas de pente forte.

Ainsi, au vu des fuseaux de courbes obtenus, les valeurs choisies s'inscrivent généralement dans le cadre suivant :

- pente > 9 % : valeurs lissées de Cumulus ou intermédiaires entre Cumulus et le Gradex.
- 5 % < pente < 9 % : valeurs intermédiaires entre la rationnelle et la transposition.
- pente < 5 % : composition entre la rationnelle et le Gradex.

Par ailleurs, l'observation des résultats obtenus par Muskingum sur le Roubaud (en supposant suffisante la capacité des lits mineurs) montre que le Roubaud doit présenter quelque part un tronçon ou ouvrage limitant à la crue décennale (les valeurs des débits de période de retour supérieure sont largement au dessus des autres valeurs obtenues par des méthodes plus globales).

Les hydrogrammes des principaux cours d'eau qui en découlent sont présentés en annexe 5.

Les hydrogrammes résultants de la Ritorte sont donnés ci-dessous, à titre d'exemple :

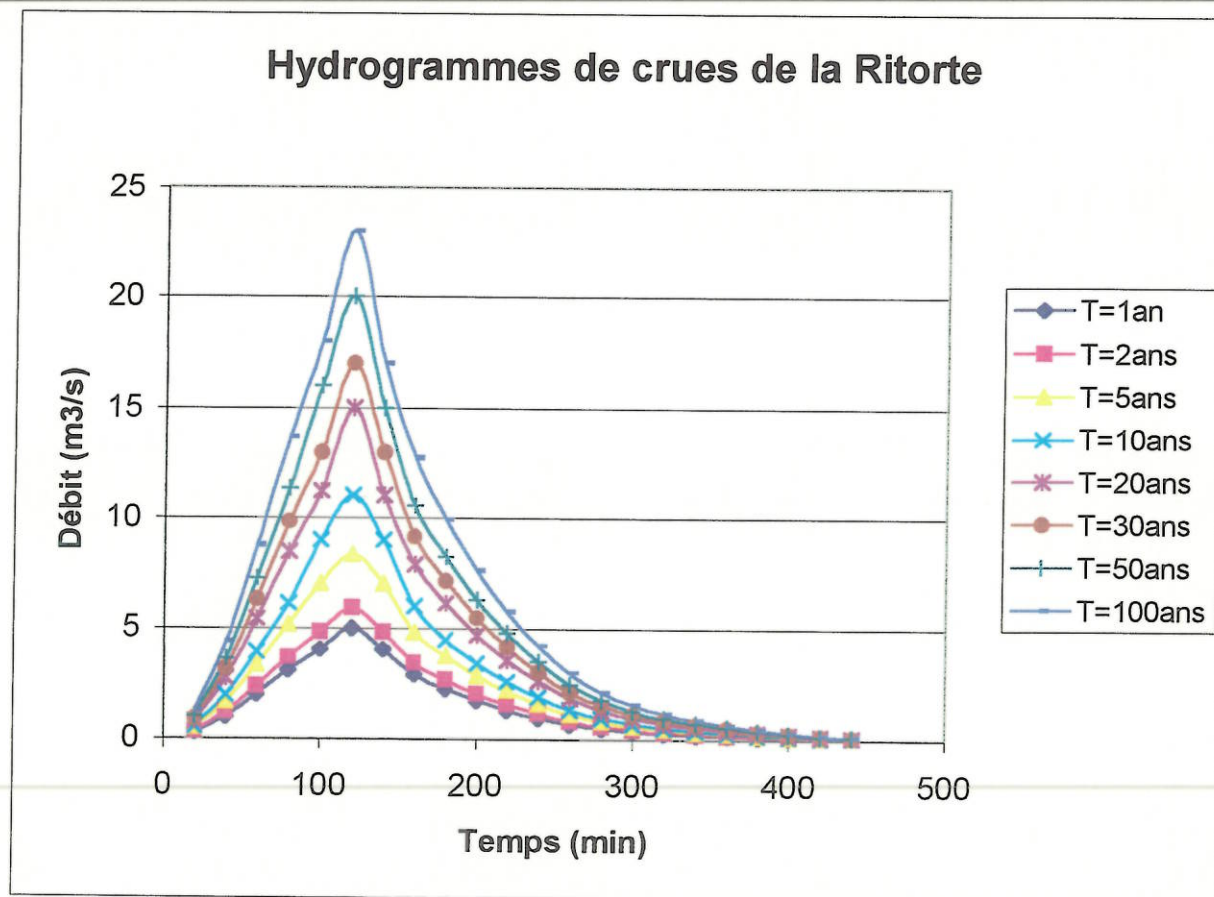
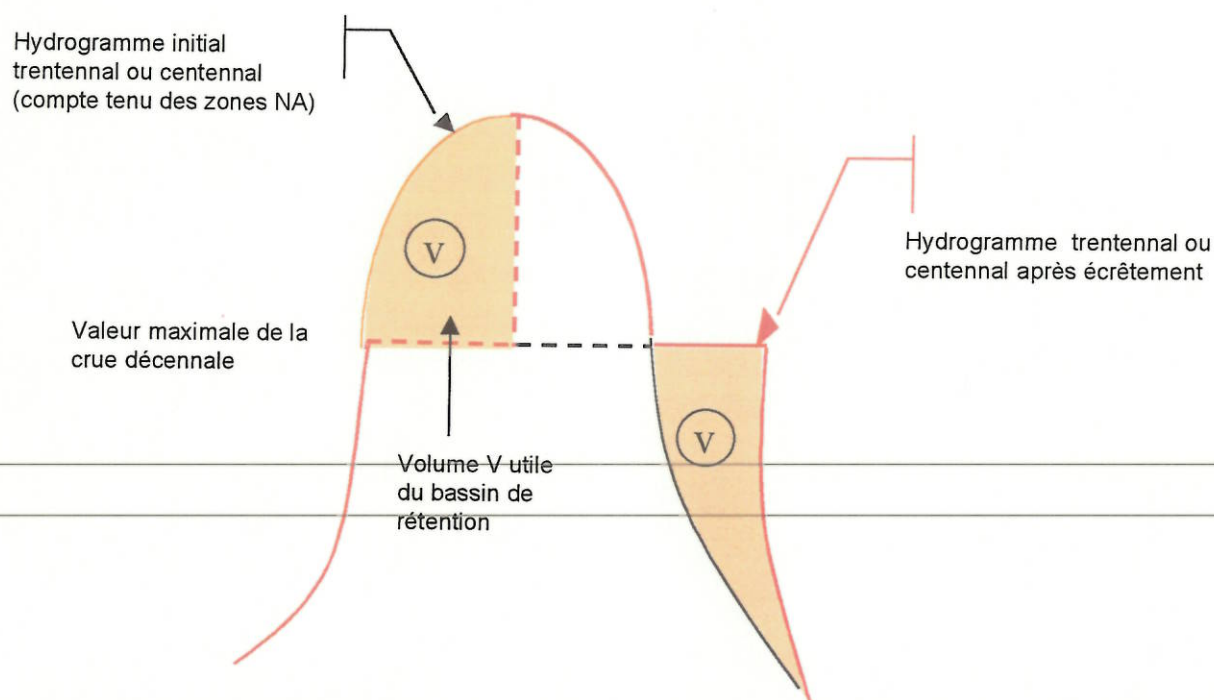


Figure 9 – Exemple d'hydrogramme de crues théoriques

- L'impact de l'urbanisation prévue à court terme a été étudié sur les crues trentennales et centennales en considérant la mise en place de bassin de rétention dimensionnés pour ne pas modifier l'état actuel pour une crue décennale .

Ainsi, il a été supposé que le volume de stockage des bassins était disponible lors de l'arrivée de crues trentennales ou centennales : les hydrogrammes finaux résultants sont donc légèrement modifiés (voir résultats en annexe 3 bis) de manière suivante :



Ainsi, selon le volume utile du bassin de rétention, la pointe de l'hydrogramme peut se trouver inchangée ou légèrement modifiée.

- Le modèle pluie-débit a permis d'obtenir les hydrogrammes du 21/10/99 résultants aux différents nœuds représentatifs du Roubaud (voir annexe 6).

Les hydrogrammes obtenus présentent une pointe maximale vers 15 h (ce qui est conforme aux observations de terrain), de période de retour 2 à 10 ans.

Le débit résultant dans le Gapeau est bien affecté d'une période de retour 10 ans (voir 2.3.3 résultats du calage).

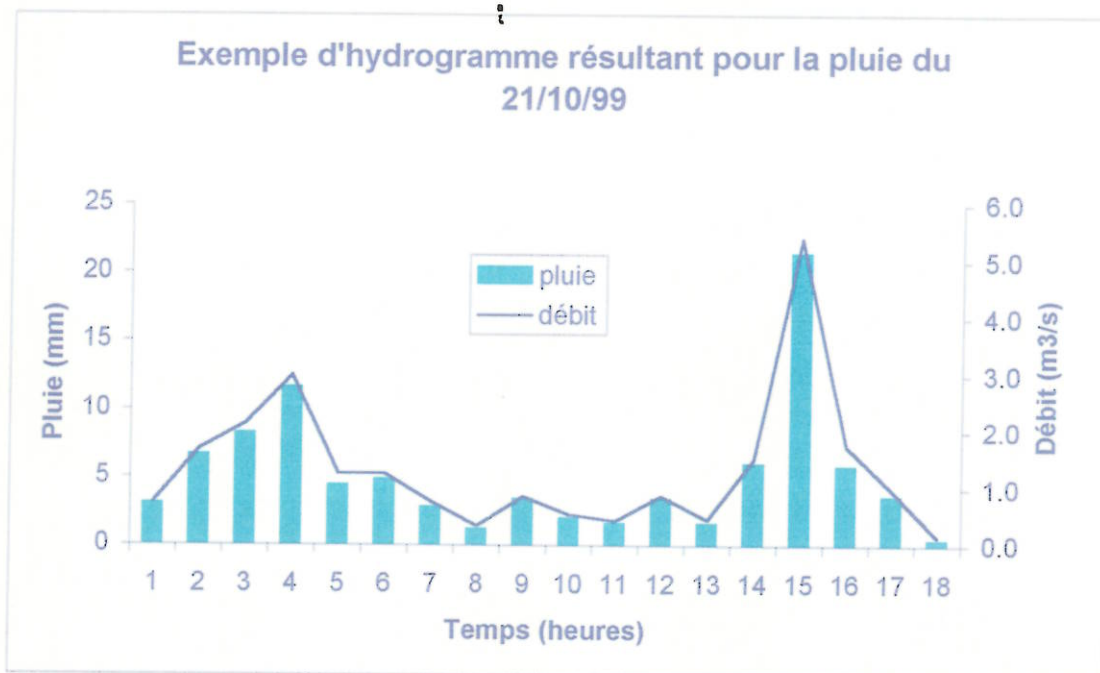


Figure 10 – Exemple d'hydrogramme résultant pour la pluie du 21/10/99

d) Analyse du Gapeau

L'analyse expliquée précédemment amène aux résultats suivants (voir détail en annexe 7) :

	DEBITS DE POINTE DU GAPEAU (m ³ /s)	
Période de retour	à Ste Eulalie	Calculés à la mer et injectés au confluent
2 ans	160 [130 ; 190]	160
5 ans	250 [220 ; 320]	260
10 ans	320 [270 ; 420]	340
20 ans	390 [320 ; 510]	400
30 ans	420 [350 ; 560]	430
50 ans	470 [390 ; 630]	490
100 ans	530 [440 ; 710]	550

Valeurs entre crochets : intervalles de confiance

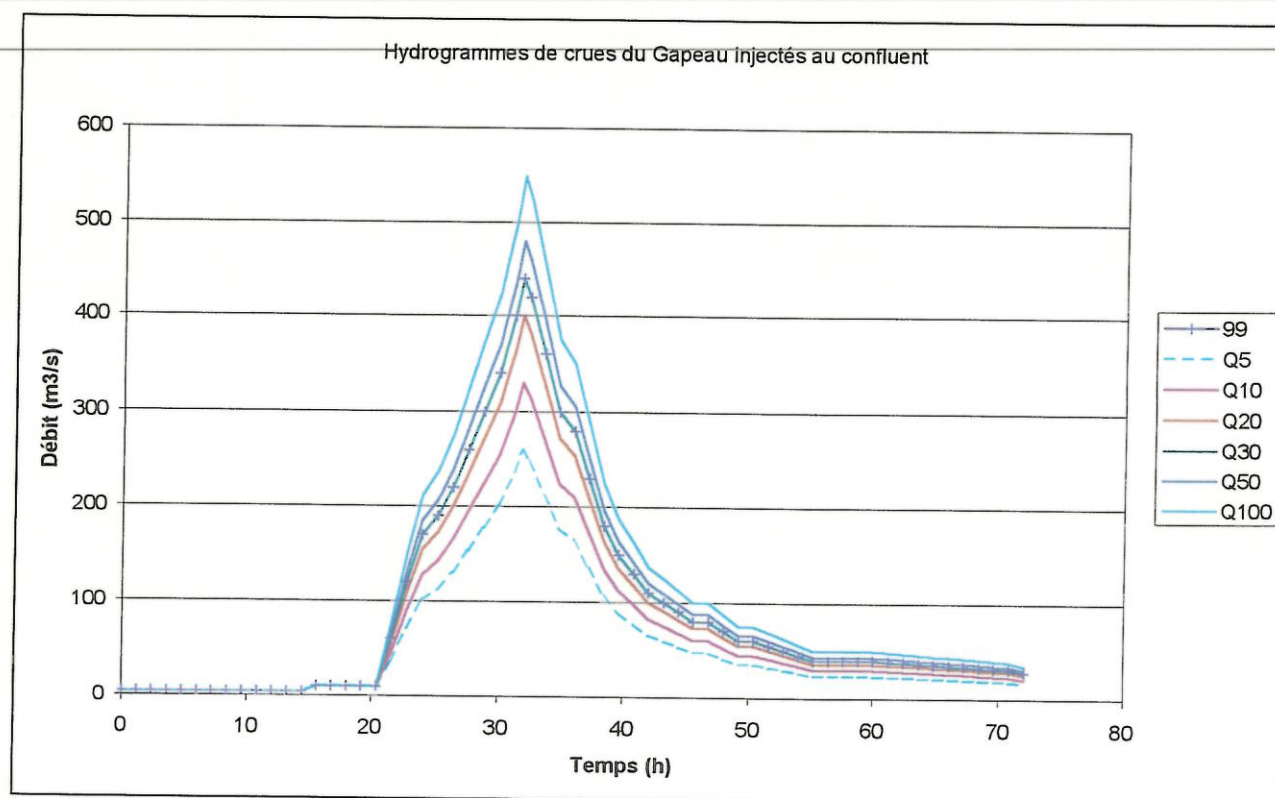


Figure 11 – Hydrogrammes de crues du Gapeau

Ces valeurs sont cohérentes, d'après les services techniques, avec des calculs d'HGM en cours.

3.2 DIAGNOSTIC PRELIMINAIRE

Etat actuel :

Le parcours de terrain a permis de relever de nombreux ouvrages et de sectoriser les cours d'eau en tronçons homogènes, comme présenté sur la pièce n° 4 hors texte.

Les limites de tronçons correspondent en général à une arrivée d'affluent d'ordre important, un changement de fonctionnement (partie couverte, ou revêtue en béton), une modification de gabarit du fait de merlons ou murs, ou une modification notable de la pente.

Ce premier diagnostic permet de mettre en évidence, même sans prendre en compte d'influences aval (remous d'ouvrage, marée), les problèmes d'évacuation des eaux dans la plaine hyéroise dans l'état actuel d'urbanisation (relativement forte) des bassins versants.

En effet, essentiellement à cause de la faible pente couplée à un sous dimensionnement des ouvrages et des gabarits, les cours d'eau ne peuvent véhiculer une crue décennale sans débordement.

~~Certains sont même saturés pour des périodes de retour bien inférieures, comme en témoignent les graphiques récapitulatifs et la carte de synthèse ci-après (le détail des résultats est présenté en annexe 8).~~

Evolution des capacités hydrauliques des ouvrages sur le Roubaud

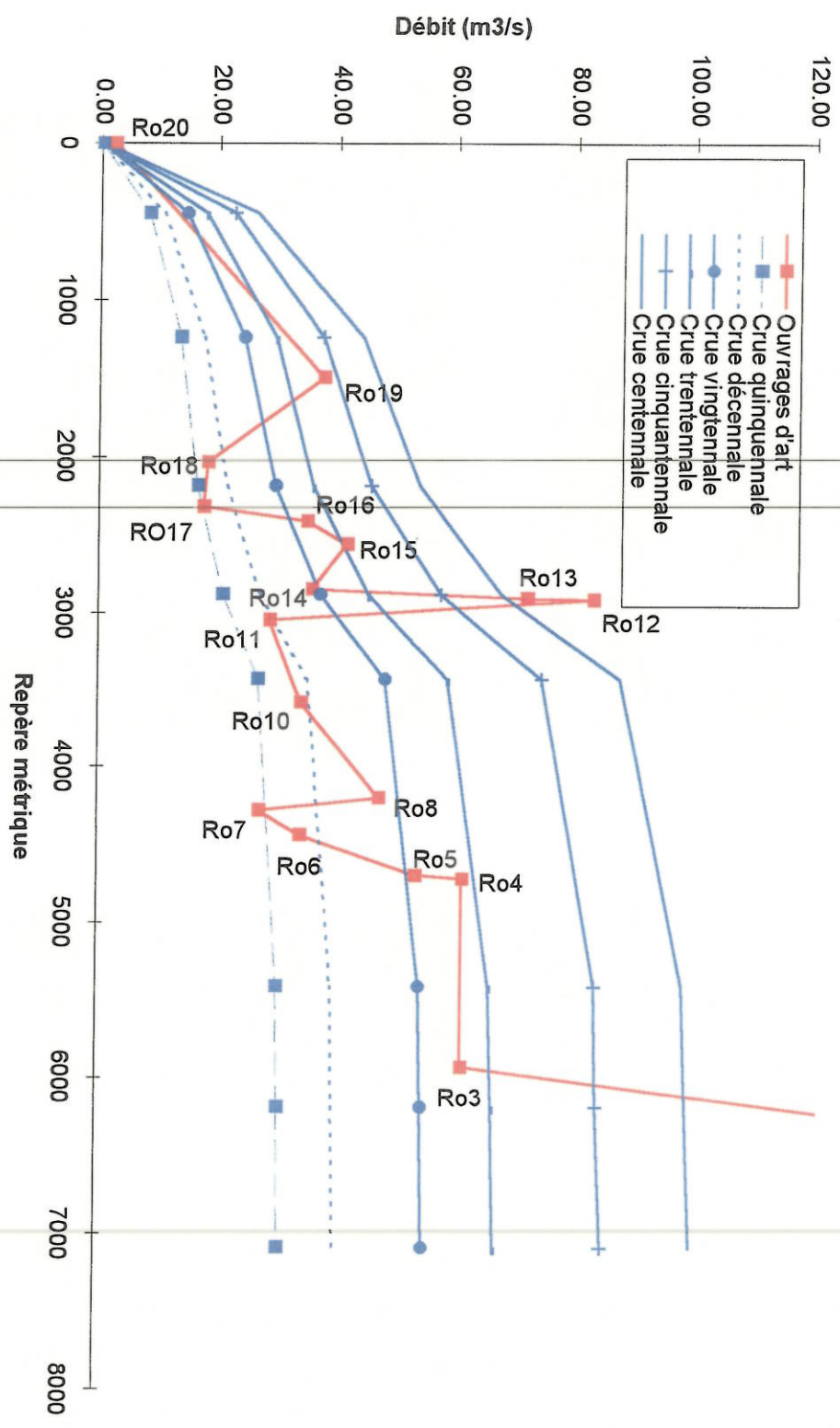


Figure 12 – Exemple de graphique analysant les capacités des ouvrages

Evolution des capacités hydrauliques des tronçons sur le Roubaud

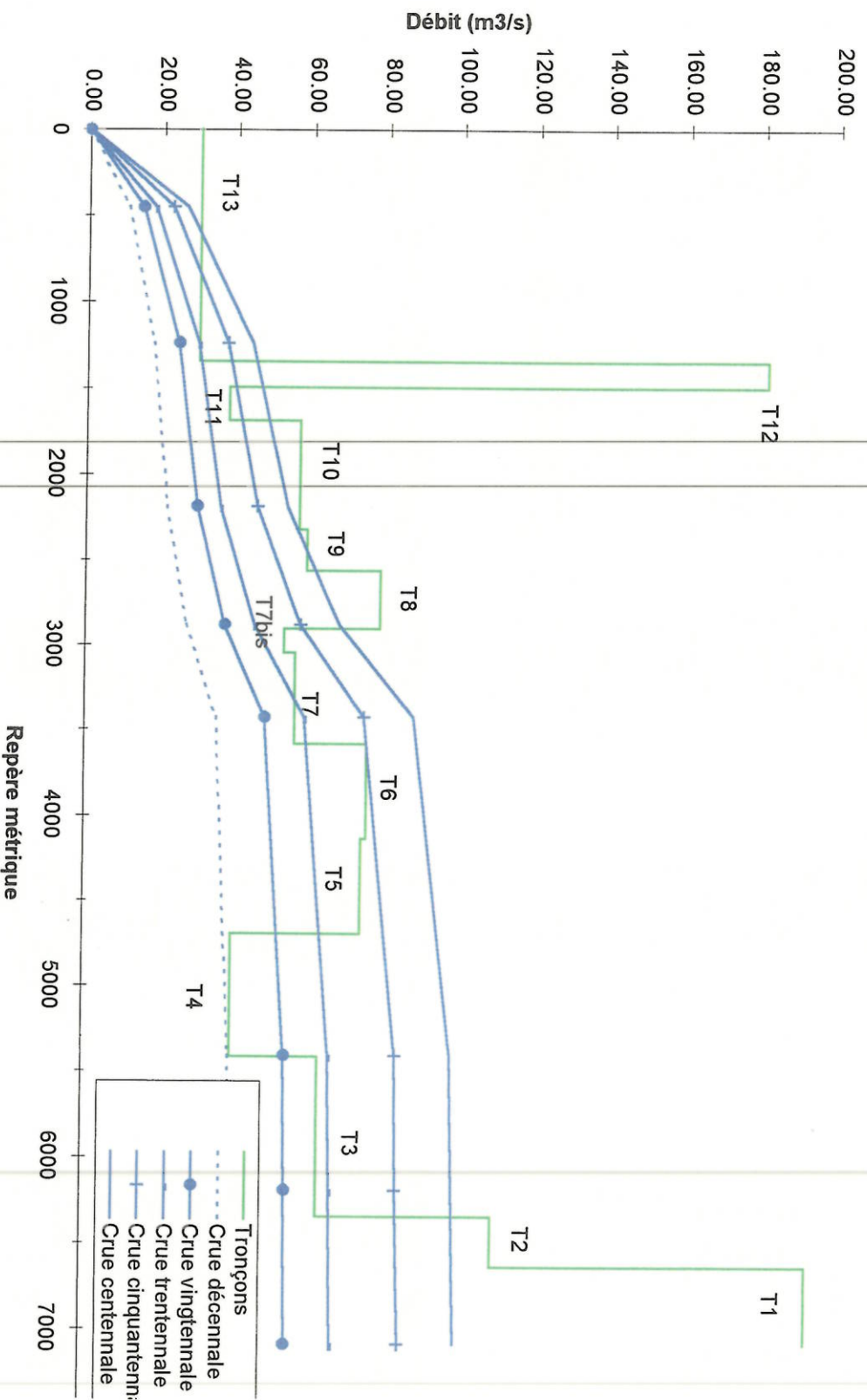


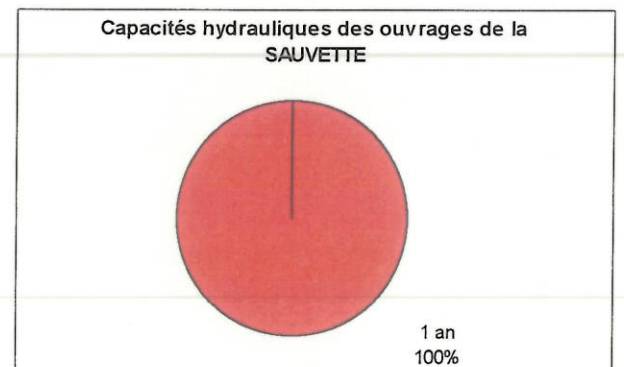
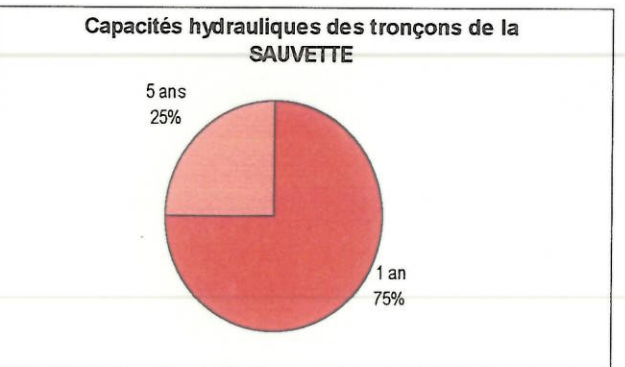
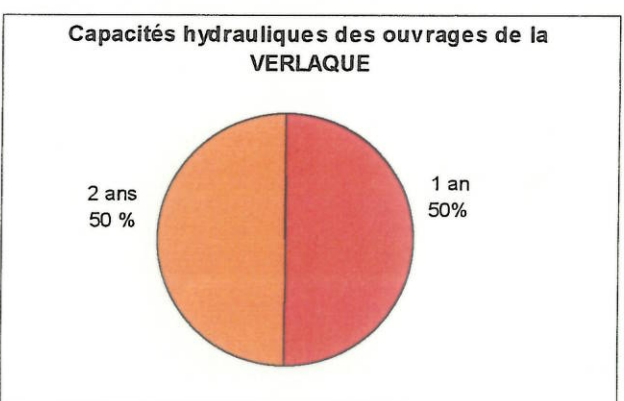
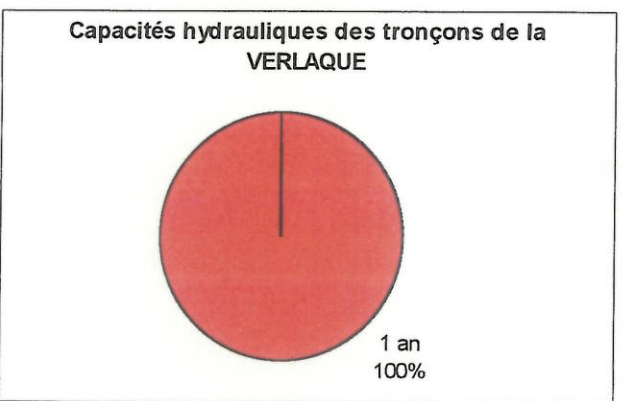
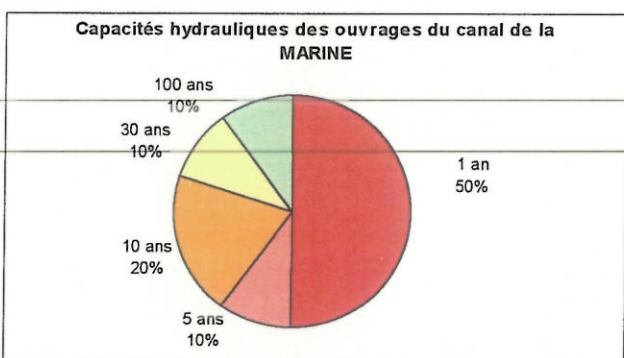
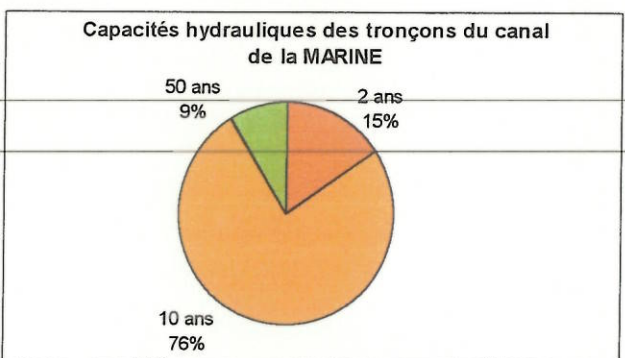
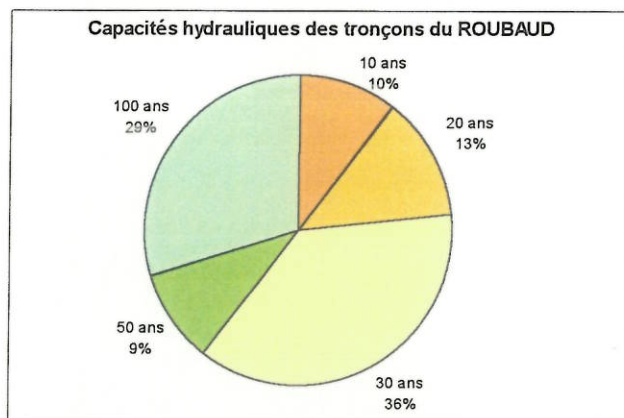
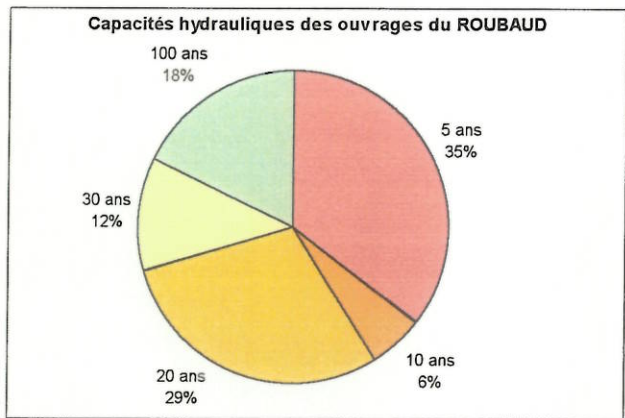
Figure 13 – Exemple de graphique analysant la capacité des tronçons

CAPACITES HYDRAULIQUES

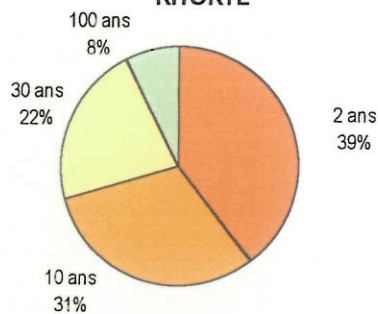
Echelle 1 / 25 000



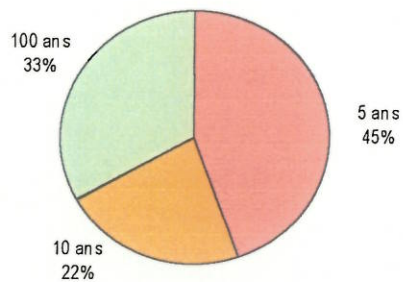
Les secteurs présentent la période de retour du débit maximal admissible.



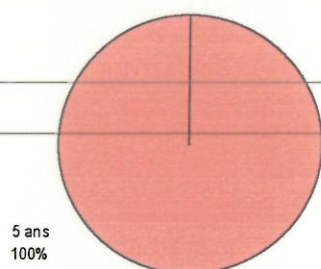
Capacités hydrauliques des tronçons de la RITORTE



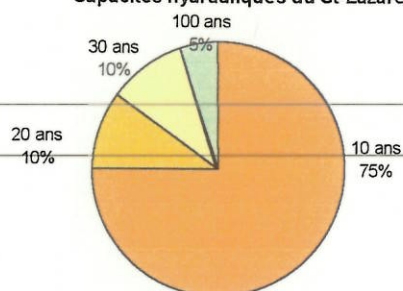
Capacités hydrauliques des ouvrages de la RITORTE



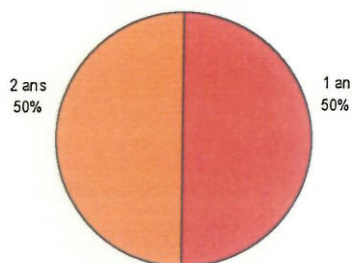
Capacités hydrauliques des tronçons du St LAZARE



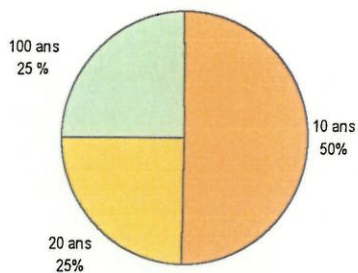
Capacités hydrauliques des ouvrages du St-Lazare



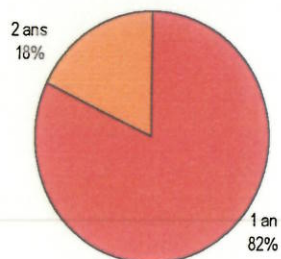
Capacités hydrauliques des tronçons du PYANET



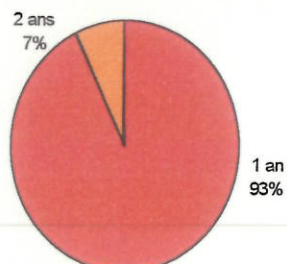
Capacités hydrauliques des ouvrages du PYANET

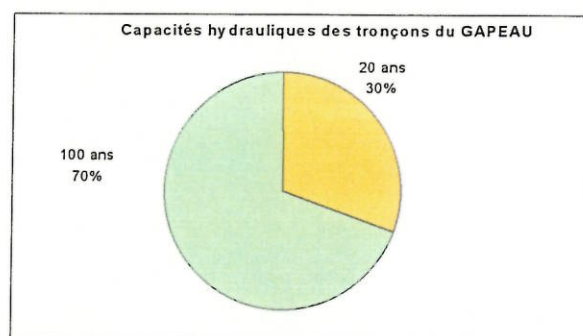
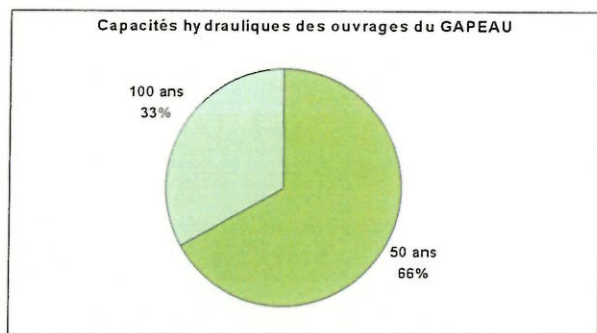


Capacités hydrauliques des tronçons du MATAFFE



Capacités hydrauliques des ouvrages du MATAFFE

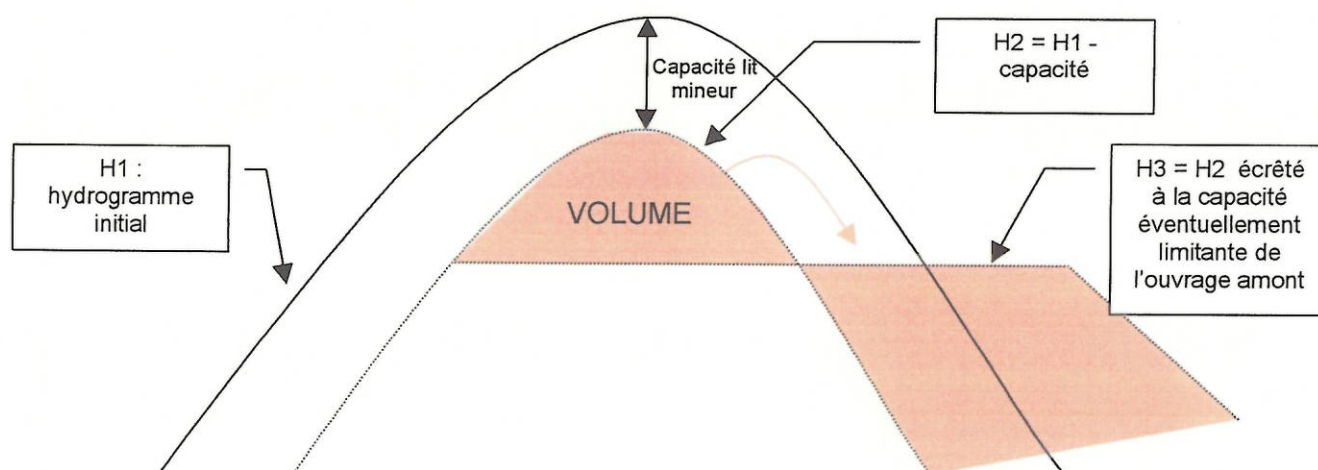




Deux premières conclusions importantes peut être énoncées suite à ce diagnostic préliminaire :

1. Les valeurs des débits de crues obtenus montrent bien la différence d'échelle qui existe entre les crues du Gapeau et du Roubaud d'une part, et celles des autres cours d'eau d'autre part : en effet, les crues des petits cours d'eau sont du même ordre que celles générées par les affluents du Roubaud. Par ailleurs, compte tenu des capacités limitées de ces cours d'eau (Ritorte, Mataffe, Pyanet...), le choix de les intégrer au modèle non comme unité filaire mais par le biais de leurs apports dans les casiers est tout à fait justifié.

La méthode consiste, à partir de l'hydrogramme concerné, à soustraire la capacité du lit mineur, puis éventuellement écrêter l'hydrogramme à la valeur limitante d'un ouvrage amont en conservant le volume, de la manière suivante :



2. L'observation relative des différentes capacités des cours d'eau montre clairement qu'il n'y a pas du tout (ou très peu et très localement) de marge de manœuvre au niveau des lits mineurs, dans le cas d'une crue trentennale, pour imaginer des transferts inter-cours d'eau sans recalibrage important, sauf à partir de l'hypothèse de crues isolées (c'est-à-dire une crue du Gapeau sans crue des autres cours d'eau, une crue du Roubaud sans crue des autres cours d'eau, une crue des petits cours d'eau sans crue du Roubaud et du Gapeau).

Etat d'urbanisation à court terme :

Pour les bassins qui présentent une modification de l'occupation du sol à court terme, l'analyse a été conduite de la même manière mais compte tenu des débits recalculés (avec un coefficient de ruissellement supérieur), afin de constater l'impact qu'une telle urbanisation aurait si les bassins de rétention mis en place étaient uniquement dimensionnés pour une décennale.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Cours d'eau concerné	Impact de l'urbanisation prévue à court terme	Conclusion
Sauvette	La capacité des tronçons et des ouvrages étant, déjà dans l'état actuel, très limitée (respectivement inférieur à un an et de 1 à 5 ans), les phénomènes de débordement pour les crues trentennales et centennales seront amplifiés du fait de l'augmentation des débits ($\approx + 10\%$).	Lors de la 2 ^{ème} phase, dans l'optique de la protection contre les crues trentennales, il sera étudié l'opportunité de mettre en place ou non des bassins de rétention dimensionnés pour une crue trentennale (par comparaison avec une solution de protection permettant d'absorber le volume excédentaire dû à l'urbanisation).
Canal de la Marine	La période de retour des débordements des tronçons reste la même que dans l'état actuel ; lorsque des débordements sont constatés, ils seront amplifiés, ainsi que pour les ouvrages, sauf V01 qui ne sera plus capable de laisser passer la crue centennale.	Lors de la 2 ^{ème} phase, dans l'optique de la protection contre les crues trentennales, il sera étudié l'opportunité de mettre en place ou non des bassins de rétention dimensionnés pour une crue trentennale (par comparaison avec une solution de protection permettant d'absorber le volume excédentaire dû à l'urbanisation).
Roubaud	Sur le Roubaud, mis à part l'aggravation des débordements déjà observés, des modifications importantes auront lieu : – Les tronçons T11 et T7 bis deviennent limitant pour la crue trentennale, et le tronçon T10 pour la crue centennale, – L'ouvrage R019 devient limitant pour la crue trentennale, R013 pour la crue centennale.	Il apparaîtrait judicieux, dans l'optique de la protection trentennale, de mettre en place des bassins de rétention dimensionnés pour la crue trentennale, le volume ainsi disponible pouvant éventuellement permettre de diminuer le débit de pointe centennal afin de retrouver la situation actuelle.

3.3 DIAGNOSTIC GLOBAL

L'ensemble des résultats hydrauliques est présenté en annexes 10 à 14, illustré des cartes synthétiques en lit majeur et des lignes d'eau en lit mineur. Un exemple est donné en pages 57 et 58.

Conformément au cahier des charges, le rendu cartographique a été affiné pour les crues globales de périodes de retour 30 et 100 ans (voir pièce 6 et 7, hors texte).

Compte tenu du mode de représentation du secteur de la base aéronautique, cette partie a été par défaut incluse dans la zone inondable pour ces deux crues.

3.3.1 INONDABILITE EN CAS DE CRUE TRENTENNALE (SCENARIO 1)

a) Rappel des hypothèses

Le scénario 1 suppose une crue globale trentennale de tous les cours d'eau de la plaine hyéroise, accompagnée d'un niveau de la mer normal.

b) Emprise et fonctionnement de la zone inondée

- **Secteur du Plan du Pont à la Voie Olbia**

En cas de crue trentennale sur le Gapeau, le déversoir du Plan du Pont permet d'évacuer un débit maximal de 100 m³/s en direction de la Bravette et du chenal de crue. L'ensemble du lit majeur est inondé, indépendamment du lit mineur du Gapeau.

Le quartier de l'Oratoire connaît les mêmes mécanismes d'inondation que ceux observés lors de la crue de 1999, avec des niveaux d'eau maximaux inférieurs. Le nettoyage et l'élargissement du chenal permettent ainsi de réduire l'impact d'une crue trentennale en diminuant le niveau d'eau dans les lotissements de plus de 20 cm.

En aval, les débordements à hauteur des installations sportives du lycée sont renforcés. Les déversements sur le chemin du Moulin Prenier sont étendus et permettent l'inondation de l'ensemble du lit majeur en rive droite du Gapeau, jusqu'au pied du coteau.

Les ouvrages de décharges sous la Voie Olbia mettent alors en communication cette zone amont avec la plaine aval. Cependant, l'infrastructure routière engendre un remous qui crée des profondeurs d'eau excédant 50 cm sur 100 m à l'amont de ces ouvrages.

Les apports du Mataffe et du Pyanet viennent grossir les eaux en provenance du Gapeau, mais restent négligeable par rapport à ces derniers.

- **Secteur du Roubaud / Amont Olbius Riquier**

La capacité du lit mineur du Roubaud, à l'aval du tronçon artificiel de l'autoroute, n'est pas suffisante pour contenir le Roubaud en crue, et ce, d'autant plus que les ouvrages sur le chemin de Saint-Martin (OA18) et à l'entrée de la zone urbanisée (OA17, av. du Bourget) engendrent des débordements.

Dans la traversée de la zone urbaine, les débordements s'intensifient, et la topographie locale tend à diriger les eaux d'une part en direction du rond point Henri Petit, d'autre part vers la gare.

Des débordements en rive droite du Roubaud ont également lieu, atteignant jusqu'à 16 m³/s. Ces eaux grossies par les apports de la Verlaque (10 m³/s) inondent une grande partie de la rive droite du Roubaud, essentiellement de part et d'autre de la Verlaque. L'action des pompes installées sur la BAN (Base aéronavale) permet toutefois de limiter les hauteurs d'eau maximales atteintes.

- **Secteur de la plaine centrale Roubaud / Gapeau**

Compte tenu de la topographie, et de l'endiguement du cours d'eau à l'aval de la Voie Olbia, les eaux de débordement du Gapeau s'étendent sur l'ensemble de la rive gauche de la Ritorte, jusqu'au cours aval du Gapeau.

L'inondation de ces secteurs est renforcée par les débordements en provenance du Roubaud qui ont lieu à hauteur du parc Olbius Riquier et du Collège Gustave Roux (environ 20 m³/s), et de la Sauvette (environ 3 m³/s).

c) Evolution des débits en lit mineur

Compte tenu des débordements, contrôlés ou non, et des apports des affluents, les débits en lit mineur évoluent comme suit :

Localisation	Profil	Débit (m ³ /s)
Gapeau – amont	GP31	440
Gapeau – aval Plan du Pont	GP29	330
Gapeau – aval oratoire	GP19	400
Gapeau – amont Voie Olbia	GP14	380
Gapeau – Exutoire	GP01	575
Roubaud – aval autoroute	ROP13	62
Roubaud – av. Edith Cavell	ROP19	53
Roubaud – amont O. Riquier	RO11am	64
Roubaud – services techniques	ROP37	35
Roubaud – exutoire	ROP56	40

Les débits en lit mineur du Gapeau sont donc fortement écrêtés (jusqu'à 25 %).

Sur le Roubaud, cet effet est également sensible entre l'entrée de la zone urbanisée et les Services Techniques (jusqu'à 30 %).

Cependant, les apports de la Sauvette et du Canal de Decugis sur le cours aval réalimentent en partie le lit mineur du Roubaud.

d) Zones sensibles

En cas de crue globale de période de retour 30 ans, les secteurs sensibles identifiés en lit majeur sont :

- la rive droite du chenal de crue du Gapeau, le long de l'Oratoire,
- la traversée du chemin de Moulin Premier,
- une bande de largeur environ 100 m à l'amont de la voie Olbia, vers le Père Eternel,
- les rives droite et gauche du cours aval de la Ritorte,
- quelques secteurs isolés en rive gauche du Roubaud.

Ces secteurs sont identifiés sur la pièce n° 6 par des zones et/ou des flèches de couleur bleu foncé. Ils correspondent à des profondeurs d'eau élevées (supérieures ou égales à 1 m) et/ou des vitesses d'écoulement importantes (supérieures à 0,5 m/s), où les secours pourront difficilement intervenir en cas d'inondation.

e) Evolution de l'inondabilité suivant l'état de la mer

En cas de surcote de fréquence trentennale des niveaux de la mer, le diagnostic précédent serait modifié sur les zones du littoral :

- sur le Gapeau, le remous consécutif serait relevé jusqu'à 600 m de l'embouchure (profil GP04) ;
- sur le Roubaud, jusqu'à hauteur de la confluence avec le canal de Decugis (environ 800 m) ;
- sur les casiers côtiers, le remous dû au niveau de la mer reste faible, de l'ordre de 20 cm au maximum. Il peut, suivant les conditions d'écoulement, se propager aux casiers voisins amont (cas du casier C38, où l'exutoire vers le canal du Decugis est moins efficient).

L'influence de la mer, pour ce type de surcote, est donc peu notable à l'échelle de l'ensemble de la zone inondée.

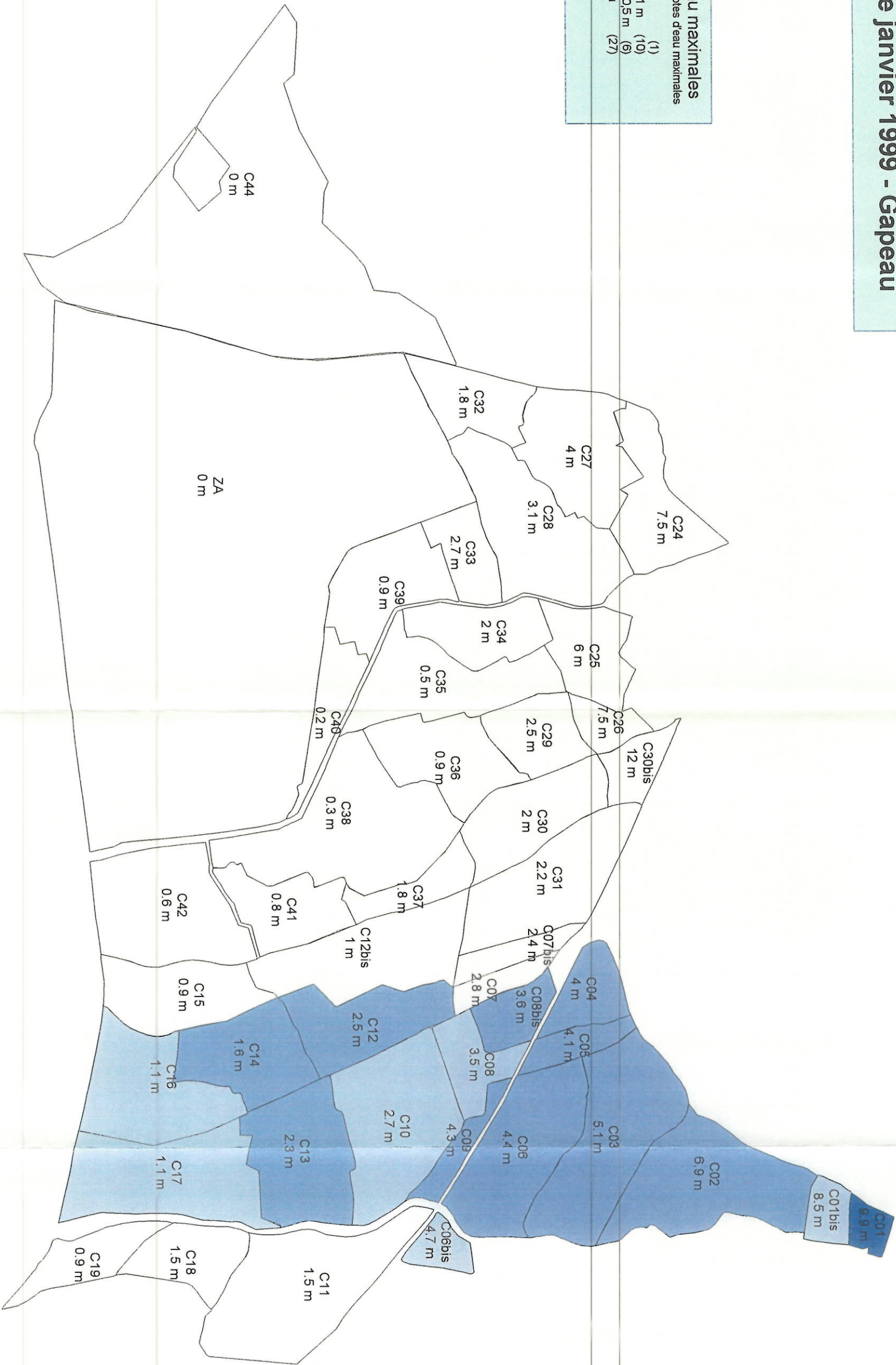
Cotes d'eau maximales
dans le lit majeur

Crue de janvier 1999 - Gapeau

Hauteurs d'eau maximales

Noms des casters & cotes d'eau maximales

- > 1 m (1)
- 0.5 m - 1 m (10)
- 0.02 m - 0.5 m (6)
- pas d'eau (27)





3.3.2 INONDABILITE EN CAS DE CRUE CENTENNALE (SCENARIO 2)

a) Rappel des hypothèses

Le scénario 2 suppose une crue globale de fréquence centennale sur tous les cours d'eau de la plaine hyéroise, accompagnée d'un niveau normal de la mer.

b) Emprise et fonctionnement de la zone inondée

Les mécanismes de crue détaillés au paragraphe précédent (3.3.1b)) sont accentués.

- **Secteur du Plan du Pont à la Voie Olbia**

Les débordements du Gapeau sur le déversoir du Plan du Pont atteignent $225 \text{ m}^3/\text{s}$.

Cependant, l'étalement de la crue dans la plaine aval réduit le débit de pointe et n'engendre qu'un rehaussement de l'ordre de 0,10 m dans le quartier de l'Oratoire.

Les débordements en rive droite, à hauteur du lycée, sont augmentés de 50 % (par rapport à la situation trentennale), surinondant les casiers aval.

- **Secteur du Roubaud – Amont Olbius Riquier**

Les phénomènes précédents sont renforcés, entraînant l'élargissement de la zone inondée. L'ensemble du lit majeur, de l'autoroute à la gare, est concerné.

Dans la traversée urbaine, les ouvrages d'art entraînent tous des débordements sur les berges. Les débordements en rive droite du Roubaud atteignent $35 \text{ m}^3/\text{s}$, provoquant l'inondation généralisée de cette rive, aggravée par les apports de la Verlaque ($15 \text{ m}^3/\text{s}$).

Deux secteurs restent, en théorie, hors d'eau, car protégés des déversement du Roubaud par des murets et par une topographie favorable. Cependant, la présence des voies d'eau non maîtrisées (portails, drains...) et le ruissellement pluvial direct peut conduire ces secteurs à être également touchés.

- **Secteur de la plaine centrale – Roubaud / Gapeau**

L'inondation de ce secteur est renforcée, les hauteurs d'eau maximales dépassant régulièrement un mètre.

c) Evolution des débits en lit mineur

Compte tenu des nombreux déversement sur les berges du Gapeau et du Roubaud, les débits de pointe en lit mineur n'augmentent pas sensiblement sur les linéaires aval :

Localisation	Profil	Débit (m ³ /s)	Variation par rapport à la crue trentennale (%)
Gapeau – amont	GP31	550	+ 25%
Gapeau – aval Plan du Pont	GP29	380	+ 15 %
Gapeau – aval oratoire	GP19	510	+ 27 %
Gapeau – amont Voie Olbia	GP14	430	+ 13 %
Gapeau – Exutoire	GP01	400	+ 7 %
Roubaud – aval autoroute	ROP13	80	+ 28 %
Roubaud – av. Edith Cavell	ROP19	70	+ 29 %
Roubaud – amont O. Riquier	ROP am	80	+ 28 %
Roubaud – services techniques	ROP37	35	+ 6 %
Roubaud – exutoire	ROP56	70	+ 75 %

d) Zones sensibles

En cas de crue globale de fréquence centennale, les secteurs sensibles identifiés précédemment sont élargis, et accompagnés de nouvelles terres situées principalement dans la plaine centrale où convergent à la fois les débordements du Gapeau et du Roubaud. Ces zones sont essentiellement agricoles, mais peuvent isoler des secteurs semi-urbanisés, construits sur remblai.

e) Evolution de l'inondabilité suivant l'état de la mer

En cas de surcote de fréquence centennale des niveaux de la mer, le diagnostic précédent reste valable en lit majeur. L'influence de la mer est relevée principalement en lit mineur sur des linéaires similaires au cas précédent. Compte tenu de la forte inondation du lit majeur, le remous ne peut pas se propager dans les casiers limitrophes de façon très sensible.

3.3.3 PROBLEMES PLUVIAUX SUR COSTEBELLE

Les problèmes pluviaux du secteur de Costebelle sont de deux ordres : une inondation localisée au niveau de l'hôpital et un ruissellement plus général au niveau de la Font des Horts.

a) Hôpital

La non continuité d'un talweg, où existe un écoulement en période humide, est responsable d'un débordement lors des pluies intenses. Une route est alors inondée.

b) La Font des Horts

Le secteur de la Font des Horts est soumis à des inondations par ruissellement : l'eau vient buter contre la route de l'Almanarre (RD 559), la traverse par les buses existantes mais aussi, majoritairement, par surverse au dessus de la chaussée, pour aller ensuite s'étaler à l'aval de la route dès que la pente devient plus faible. Il n'existe en effet que quelques ruisseaux de capacités insuffisantes, et ces derniers n'ont pas d'exutoires bien déterminés : leurs capacités diminuent jusqu'à devenir négligeables en abordant le marais.

3.3.4 CONCLUSION PARTIELLE

Au vue des résultats des deux paragraphes précédents, il est confirmé que la plaine hyéroise est largement inondable pour des épisodes de crues exceptionnelles, même sans concomitance exacte des débits de pointe des crues envisagées.

Lutter contre les dégâts occasionnés par ce type d'événement nécessite des aménagements conséquents envisageables uniquement à l'échelle intercommunale.

Ils pourront, par exemple, être élaborés dans le cadre du SAGE du Gapeau.

3.3.5 CARACTERISATION DE L'INONDABILITE POUR DES SCENARIOS INTERMEDIAIRES

a) Rappel des hypothèses

Les scénarios modélisés sont les suivants :

- Scénario 3 : crue trentennale du Gapeau seul
- Scénario 4 : crue trentennale du Roubaud et affluents (de la Verlaque, de la Sauvette et de Fonts des Horts), associée à une crue décennale des petits cours d'eau (la Ritorte, le Pyanet, le Mataffe)
- Scénario 5 : crue trentennale des petits cours d'eau associée à une crue décennale du Roubaud et ses affluents.

Tous ces scénarios sont envisagés avec un niveau normal de la mer.

Les résultats sont illustrés par les cartes synthétiques correspondantes en annexe.

b) Scénario 3

Une crue isolée du Gapeau de période de retour trente ans concerne environ la moitié des casiers de la plaine hyéroise, et s'étale au-delà de la Ritorte, jusqu'au Roubaud.

Pour lutter contre ce type de crue, il sera nécessaire d'envisager des aménagements d'envergure.

c) Scénario 4

Une crue trentennale du Roubaud associée à une crue décennale des petits affluents met en évidence deux zones d'inondation :

- les terrains riverains du Roubaud et de ses affluents, la Verlaque et la Sauvette,
- les terrains riverains de la Ritorte, du St-Lazare et du Pyanet, ainsi que du Mataffe.

Ces deux zones ne sont pas connectées et l'inondation sur la Ritorte reste plus modérée que sur le Roubaud.

Quant au Gapeau, son niveau reste relativement bas.

Compte tenu de ces résultats, il pourrait être envisagé de soulager les secteurs inondés vers les secteurs hors d'eau, ou à faible enjeux. Cependant, les résultats par tronçons hydrauliquement homogènes ont également montré que la capacité des petits affluents reste modeste.

Pour lutter contre ce type de crue, il sera donc nécessaire de combiner à la fois des interventions en lits mineurs et l'aménagement du lit majeur, car les volumes de crues à gérer deviennent importants.

d) Scénario 5

Une crue de période de retour trente ans sur les petits affluents, combinée avec une crue décennale du Roubaud conduit à une situation similaire au cas précédent, à savoir l'existence de deux secteurs inondés disjoints.

Dans ce cas également, les solutions de protection pourront s'envisager soit à l'échelle d'un bassin unique (cas du Mataffe, par exemple), soit entre plusieurs bassins (exemple de la Ritorte et du Roubaud, via le canal de Decugis).

Ces pistes d'interventions seront affinées au cours de la seconde phase de l'étude. Il reste cependant important de souligner que seule une protection contre des crues de fréquence trentennale **non cocomittantes** pourra être recherchée à l'échelle communale.

BIBLIOGRAPHIE

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Protection du quartier de l'Oratoire contre les crues du Gapeau.
Etude hydraulique.
<i>Ville de Hyères les Palmiers.</i> | <p>HGM Environnement.
Avril 1999</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Etude d'assainissement pour la partie continentale.
<i>Commune de Hyères les Palmiers. Département du Var.</i> | <p>CEDRAT Développement.
(2A 1188 – Février 1999)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Cartographie de l'aléa inondation par le Roubaud.
<i>Commune de Hyères. DDE 83.</i> | <p>IPSEAU.
Décembre 1998</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Etude hydraulique des bassins versants des ruisseaux de la Ritorte, du Mataffe et du Pyanet.
<i>Département du Var. Commune de Hyères les Palmiers.</i> | <p>BCEOM.
Janvier 1997</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Le Gapeau. Etude hydraulique. Gestion des crues.
<i>Ville de Hyères les Palmiers. DDE 83. Service Urbanisme et Aménagement de l'Etat.</i> | <p>HGM Environnement.
Novembre 1996</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Etude hydrologique. Etude hydraulique. Bassin versant du Roubaud.
<i>Commune de Hyères.</i> | <p>BETEREM.
Juillet 1994</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Extension de l'aéroport de Toulon-Hyères (phase 1). Etude d'impact.
<i>Chambre de Commerce et de l'Industrie du Var.</i> | <p>SAMETOVAR.
Juillet 1994</p> |