

# AMO POUR LA GESTION INTEGREE DU RISQUE D'INONDATION DES VIEUX SALINS ET AMELIORATION DE LA QUALITE DES EAUX DES CANAUX DE CEINTURE DES SALINS D'HYERES – ETUDE DE PROGRAMMATION

TO1 – MODELISATION HYDRAULIQUE DU CANAL DE  
CEINTURE – SALIN DES PESQUIERS



16 mars 2020



## Informations relatives au document

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

**Auteur(s)** Jonathan Cantarel / Alexis Chambe  
**Volume du document** TO1 : Modélisation hydraulique du canal de ceinture  
**Version** V1  
**Référence** RIV0002

### HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédigé par	Visé par	Modifications
V1	16/03/2020	Jonathan Cantarel, Alexis Chambe	Hélène Maury	

### DESTINATAIRES

Nom	Entité
Frédérique GIMOND-LANTERI	MTPM

## SOMMAIRE

---

<b>1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS</b> .....	<b>5</b>
1.1 - Contexte de l'étude .....	5
1.2 - Objectifs de l'étude .....	6
1.3 - Objectifs de la TO1 .....	6
<b>2 - DESCRIPTION GENERALE</b> .....	<b>7</b>
2.1 - Fonctionnement hydraulique .....	7
2.2 - Ouvrages hydrauliques .....	11
<b>3 - HYPOTHESES HYDROLOGIQUES</b> .....	<b>14</b>
3.1 - Bassins versants interceptés .....	14
3.1.1 - Délimitation des sous bassins versants .....	14
3.1.2 - Caractéristiques des sous bassins versants .....	14
3.1.3 - Comparaison avec l'étude du SDGEP de la commune d'Hyères .....	16
3.2 - Estimation des débits .....	18
3.2.1 - Méthode SCS .....	18
3.2.1.1 - Définition du Curve Number .....	18
3.2.1.2 - Définition des pertes initiales .....	20
3.2.2 - Méthode rationnelle .....	21
3.2.2.1 - Coefficient de ruissellement .....	21
3.2.3 - Construction des pluies de projet d'occurrences mensuelle, annuelle et décennale .....	22
3.2.3.1 - Coefficient de Montana .....	22
3.2.3.2 - Pluies de projet .....	23
3.2.4.2 - Comparaison aux études hydrologiques sur le secteur .....	26
3.2.4.3 - Débits de pointe pour chaque occurrence .....	28
<b>4 - MODELISATION HYDRAULIQUE DU CANAL DE CEINTURE</b> .....	<b>31</b>

## REFERENCES

---

### LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Localisation de la zone d'étude (source : Contrat de Baie Iles d'Or, TPM) .....	5
Figure 2 - Evolution comparée des hydrogrammes de crue calculés en aval du modèle hydraulique Pour la zone palyvestre pour trois occurrences de crue (Source : SCE) .....	8
Figure 3 - Hauteurs de submersion et vitesses d'écoulement dans la zone du Palyvestre et dans le canal de ceinture du Salin des Pesquiers pour une pluie de période de retour 100 ans (Source : SCE pour la ville d'Hyères) .....	9
Figure 4 - Etat actuel du sens d'écoulement à l'intérieur du canal des Pesquiers lors d'une marée montante .....	9
Figure 5 - ETAT ACTUEL DU SENS D'ECOULEMENT A L'INTERIEUR DU CANAL DES PESQUIERS LORS D'UNE MAREE Descendante .....	10
Figure 6 - Sectorisation du Salin des pesquiers (Source : Ekos ingénierie) .....	10

Figure 7 - Pompe à vis d'archimède .....	10
Figure 8 - Rose des vents à Hyères issue de l'étude EKOS Ingénierie .....	11
Figure 9 – Points de connexion entre le réseau pluvial et le canal de ceinture .....	12
Figure 10 – Martelières au niveau du point de connexion entre mer et canal de ceinture.....	12
Figure 11 – cartographie des ouvrages hydrauliques sur le salin des pesquiers.....	13
Figure 12 - Sous bassins versants interceptés par le canal de ceinture du Salin des Pesquiers.....	15
Figure 13 - SOus découpage du SDGEP de la ville de Hyères.....	16
Figure 14 - Occupation des sols au niveau des bassins versants interceptés par le Salin des pesquiers selon les données Corinne Landcover 2012 .....	19
Figure 15 - Pluie de projet de type Desbordes mensuelle.....	24
Figure 16 - Pluie de projet de type Desbordes annuelle.....	24
Figure 17 - Pluie de projet de type Desbordes décennale .....	25
Figure 18 - Localisation du BV de Saint-Martin (SOURCE : SDGEP de la ville de HYERES).....	27
Figure 19- Débits spécifiques décennaux des bassins versants interceptés par les Salins des Vieux Pesquiers.....	30
Figure 20 - fonctionnement hydraulique du Salin des Pesquiers pour une pluie mensuelle – partie Nord.....	32
Figure 21 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE Du SALIN DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE MENSUELLE – PARTIE SuD.....	32
Figure 22 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE Du SALIN DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE annuelle – PARTIE Nord .....	32
Figure 23 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE Du SALIN DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE ANNUELLE – PARTIE Sud .....	32
Figure 24 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE Du SALINS DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE décennale – PARTIE NORD .....	32
Figure 25 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE Du SALIN DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE DECENNALE – PARTIE Sud .....	32

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS INTERCEPTES PAR les Salins des Pesquiers.....	14
Tableau 2 – Caractéristiques des sous bassins versants dans le SDGEP.....	17
Tableau 3 - Catégories de sol du SCS (source : Chow, 1998) .....	18
Tableau 4 – Valeurs des CN et Pi des sous bassins versants interceptes.....	20
Tableau 5 – coefficient de ruissellement par type de surface et période de retour (ven te chow) .....	21
Tableau 6 – coefficients de ruissellement pour chaque sous bassin versant .....	22
Tableau 7 – Coefficients de Montana de Hyères-le-palyvestre (source : Météo France) .....	22
Tableau 8 – Pluies de projet.....	25
Tableau 9 – Comparaison de l'évaluation du débit décennal selon la méthode csc et rationnelle.....	26
Tableau 10 – comparaison d'un sous bassin versant équivalent : bv de saint martin .....	26
Tableau 11 - Débits de pointe et débits spécifiques mensuels .....	28
Tableau 12 - Débits de pointe et débits spécifiques annuels.....	28
Tableau 13 - Débits de pointe et débits spécifiques décennaux .....	29

# 1 - CONTEXTE ET OBJECTIFS

## 1.1 - Contexte de l'étude

Les Salins d'Hyères sont composés en deux grandes entités : le Salin des Pesquiers (550 hectares) et les Vieux Salins (350 hectares). Ils sont propriété du Conservatoire du Littoral et sont gérés par la Métropole de Toulon Provence Méditerranée, en partenariat avec la ville d'Hyères et le Parc National de Port-Cros et de Porquerolles.



FIGURE 1 - LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE (SOURCE : CONTRAT DE BAIE ILES D'OR, TPM)

Ces sites constituent aujourd'hui des plans d'eau de profondeur, surface et salinité variable, présentant un intérêt culturel et historique mais également un intérêt écologique important.

Par ailleurs, les deux sites font l'objet d'un second plan de gestion récemment validé dont les orientations correspondent à une préservation visant d'une part, à accroître leur intérêt écologique et paysager, et d'autre part, à y développer une ouverture raisonnée au public. Il s'agit également d'intégrer les sites aux enjeux socio-économiques locaux comprenant la gestion des risques majeurs.

Territoires de l'entre terre et mer, ces sites sont le réceptacle des eaux des bassins versants immédiats et sont sous l'influence des cotes marines car en lien direct avec la mer via les canaux d'alimentation. Ils sont ainsi soumis à deux types de risques :

- Le risque inondation par débordement de cours d'eau, ruissellement et surcotes marines ;
- Le risque de pollutions chronique ou accidentelle particulièrement dans les canaux de ceinture.

## 1.2 - Objectifs de l'étude

L'étude de programmation fixe les deux objectifs principaux suivants :

- **Prévenir le risque inondation** des zones habitées en amont et en aval des Vieux Salins selon un schéma de gestion intégrant les équilibres écologiques et paysagers de ce site naturel remarquable ;
- **Limiter les risques de pollution** et améliorer la qualité des eaux des canaux de ceinture des Vieux Salins et du Salin des Pesquiers.

L'étude est articulée selon 6 phases :

- **Phase A** : Etat des lieux
- **Phase B** : Analyse du ruissellement et du transport sédimentaire (Vieux Salins)
- **Phase C** : Modélisation hydraulique en situation d'aléas (Vieux Salins)
- **TO1** : Modélisation hydraulique du canal de ceinture (Salin des Pesquiers)
- **Phase D** : Etude des incidences au regard des outils et des objectifs de gestion naturalistes et paysagers
- **Phase E** : Caractérisation des contaminants impactant la qualité des milieux aquatiques
- **Phase F** : Définition du programme d'actions

Le présent rapport correspond au rendu de la Phase B.

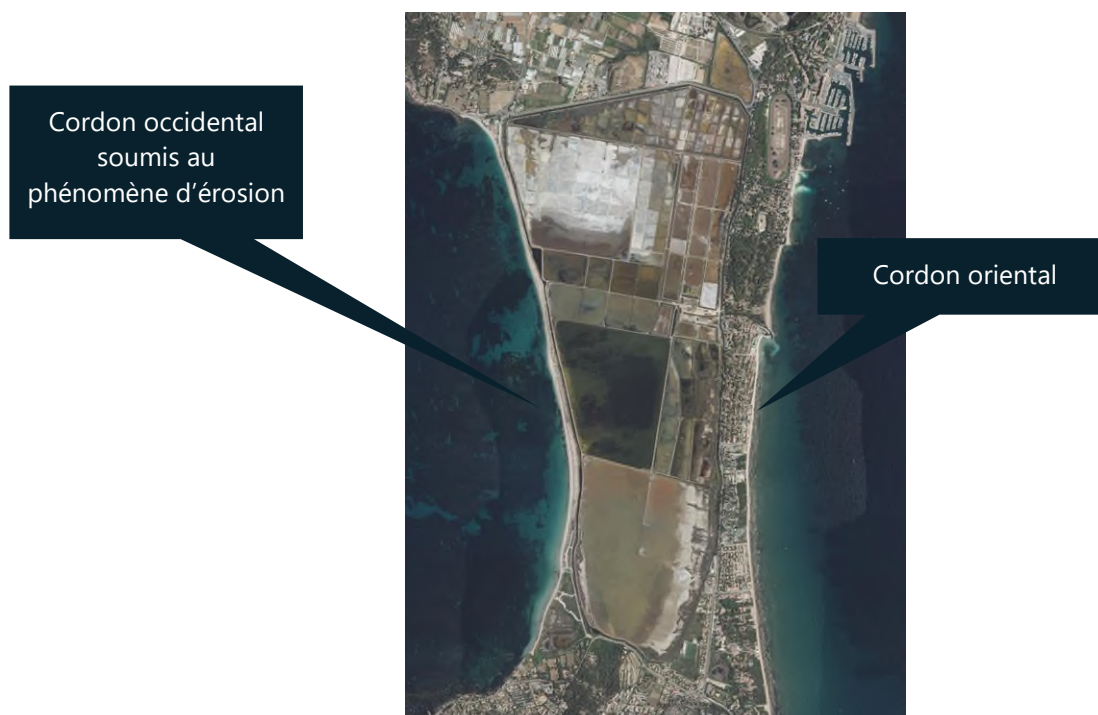
## 1.3 - Objectifs de la TO1

Les objectifs de cette phase d'étude sont de :

- Caractériser le **fonctionnement hydraulique du canal de ceinture** du Salin des Pesquiers ;
- Caractériser la **diffusion des polluantes** via des occurrences de débits faibles.

## 2 - DESCRIPTION GENERALE

Le Salin des Pesquiers s'inscrit dans la formation d'un double tombolo reliant Giens au Continent. Le cordon oriental de 7 kilomètres est issu de la convergence des dépôts du Gapeau. Pour ce qui est du cordon occidental, celui-ci est soumis à des phénomènes d'érosion et s'étend sur 4 kilomètres.



Cette formation a été créée par apports sédimentaires des fleuves côtiers du Pansard, Gapeau, Roubaud et de la Maravenne (Pansard). La présente étude hydrologique sera réalisée en cohérence avec l'étude hydrologique déjà réalisée sur le secteur des Vieux Salins et dans le cadre du SDGEP de la ville d'Hyères.

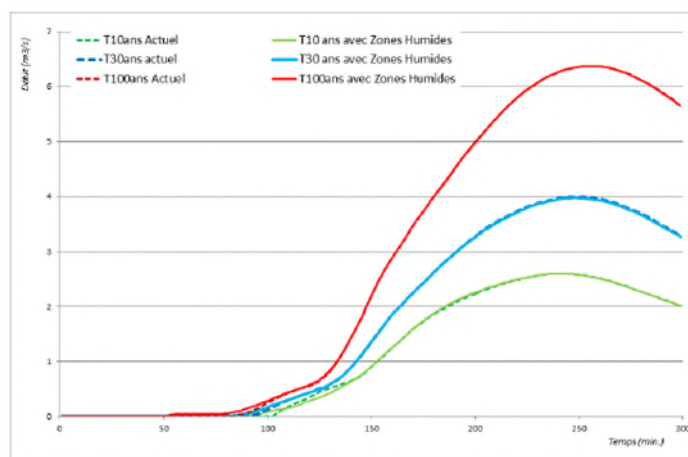
### 2.1 - Fonctionnement hydraulique

Le canal de ceinture reçoit des apports en eaux salées et en eaux douces. Pour ce qui est des apports en eau salée, ceux-ci sont assurés par :

- Le canal de Gras qui sert à la fois d'exutoire et de point d'alimentation du canal de ceinture. Ce canal, situé sur la commune de la Capte, a été acquis en 2005 par le Conservatoire du littoral.
- Des surverses marines lors de surcotes marines (voir-ci dessous).

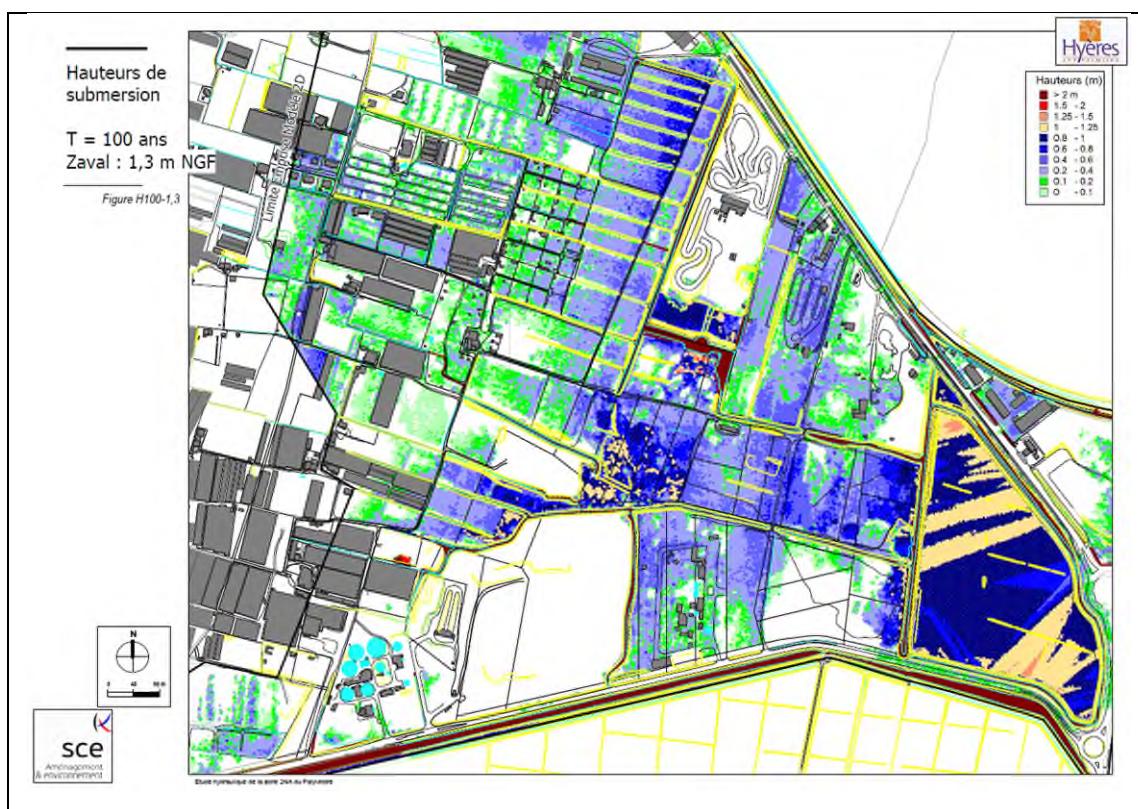
Les apports en eau douce dans le canal de ceinture proviennent des eaux ruisselant des bassins versants situés au Nord et au Sud du canal. Le bassin versant intercepté au Nord constitue une zone d'enrichissement des eaux du canal par les matières organiques et autres polluants provenant de la plaine horticole du Palyvestre et potentiellement de l'ancienne décharge.

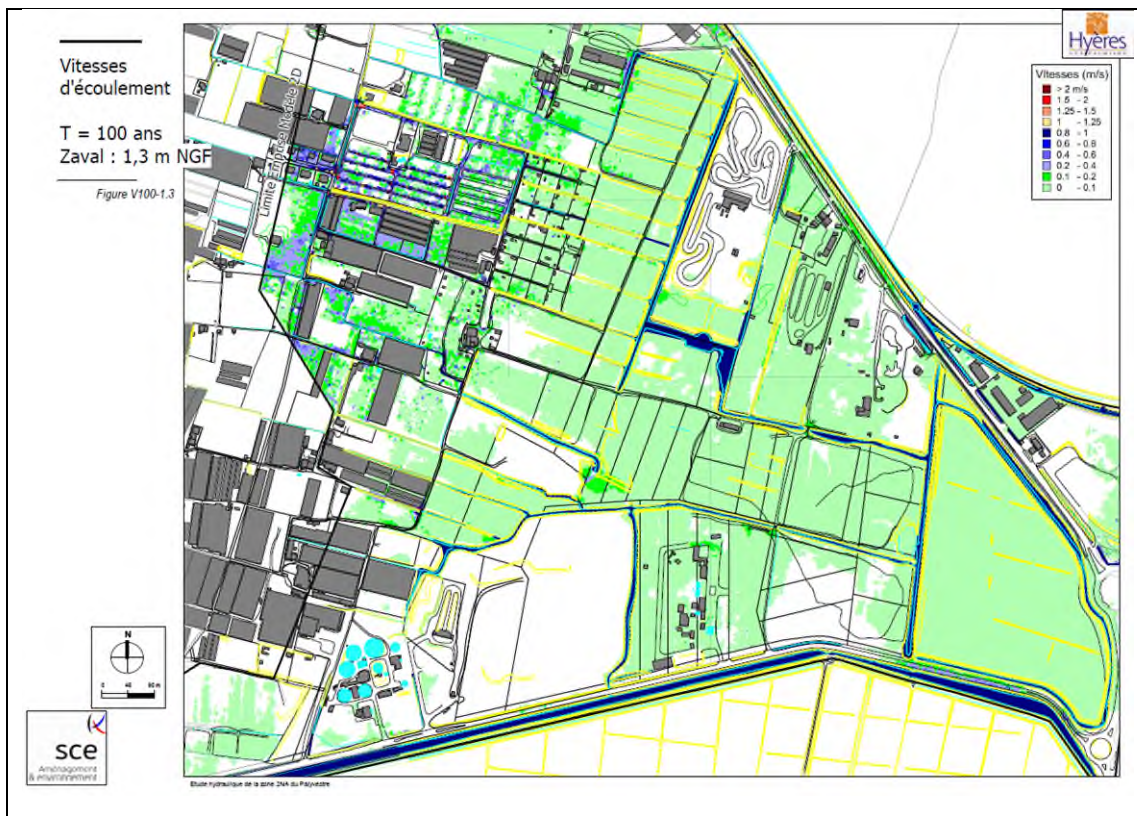
Cependant, le secteur du Palyvestre (bassin versant Nord) fait l'objet d'une action de requalification et de renaturation. Cette zone a fait l'objet d'une étude hydraulique par le bureau d'études SCE Aménagement & Environnement en septembre 2014. Lors de cette étude, il a été démontré que la renaturation des zones humides n'allait pas modifier de manière significative les hydrogrammes de crues en limite aval du modèle pour les différentes périodes. Ceci est principalement dû aux ouvrages hydrauliques reliant la zone du Palyvestre et le canal de ceinture du Salin des Pesquiers.



**FIGURE 2 - EVOLUTION COMPAREE DES HYDROGRAMMES DE CRUE CALCULES EN AVAL DU MODELE HYDRAULIQUE POUR LA ZONE PALLYVESTRE POUR TROIS OCCURRENCES DE CRUE (SOURCE : SCE)**

Contrairement à la zone du Palyvestre, le canal de ceinture du Salin des Pesquiers n'est que très peu impacté par l'augmentation des précipitations. En effet, les ouvrages de connexions assurent un certain débit d'évacuation de la zone du Palyvestre et le trop-plein d'eau est stocké sur cette zone. La figure ci-dessous reprend la modélisation hydraulique (hauteurs et vitesses) de la Zone du Palyvestre pour une pluie de période de retour 100 ans.



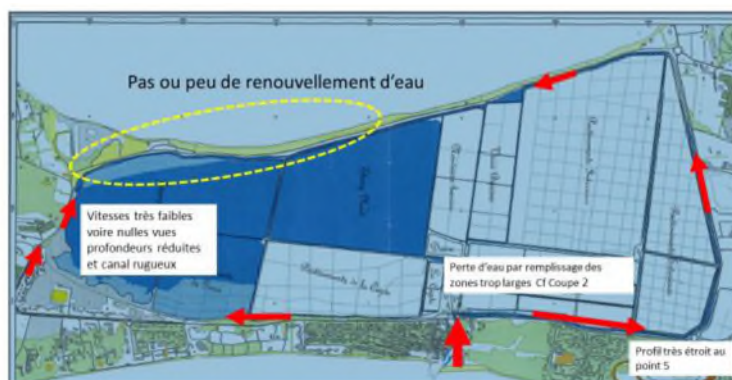


**FIGURE 3 - HAUTEURS DE SUBMERSION ET VITESSES D'ÉCOULEMENT DANS LA ZONE DU PALYVESTRE ET DANS LE CANAL DE CEINTURE DU SALIN DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE DE PERIODE DE RETOUR 100 ANS (SOURCE : SCE POUR LA VILLE D'HYÈRES)**

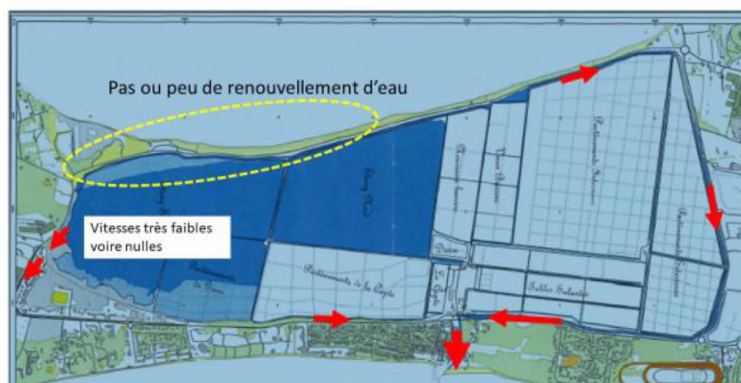
L'hydraulique du site est complexe : l'eau est présente dans les canaux, étangs, partènements séparés par des levées de terres (digues), etc. Ces masses d'eau présentent des gradients de salinité et des niveaux différents.

Le seul courant circulant à l'intérieur du canal est produit par le flot et le jusant dus aux marées et aux ruissellements importants lors d'épisodes pluvieux. Lorsque la marée monte, le flot remonte l'estuaire en fonction du débit à l'intérieur du canal et d'un coefficient de marée. Le flot est suivi de l'étalement (aucune vitesse et inversion des flux), suivi ensuite du jusant.

Les deux figures ci-dessous sont issues de l'étude réalisée par le cabinet EKOS Ingénierie en 2018 sur la Mission de diagnostic pour la réalisation de travaux d'ingénierie écologique en vue de la restauration partielle du canal de ceinture du salin des Pesquiers.



**FIGURE 4 - ETAT ACTUEL DU SENS D'ÉCOULEMENT À L'INTÉRIEUR DU CANAL DES PESQUIERS LORS D'UNE MAREE MONTANTE**



**FIGURE 5 - ETAT ACTUEL DU SENS D'ECOULEMENT A L'INTERIEUR DU CANAL DES PESQUIERS LORS D'UNE MAREE DESCENDANTE**

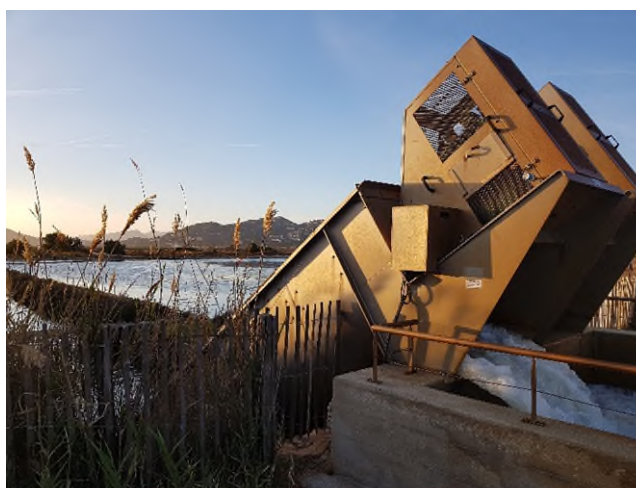


**FIGURE 6 - SECTORISATION DU SALIN DES PESQUIERS (SOURCE : EKOS INGENIERIE)**

L'étang Nord et les tables salantes sont alimentés à partir du canal de la mer, le partènement de la Capte, les partènements extérieurs et intérieurs le sont à partir du canal de ceinture, tandis que l'étang Sud reçoit ses eaux à la fois par le canal de ceinture et par l'étang Nord.

Les nouveaux et vieux bassins servent de stockage pour les saumures qui peuvent être diluées avec de l'eau de mer.

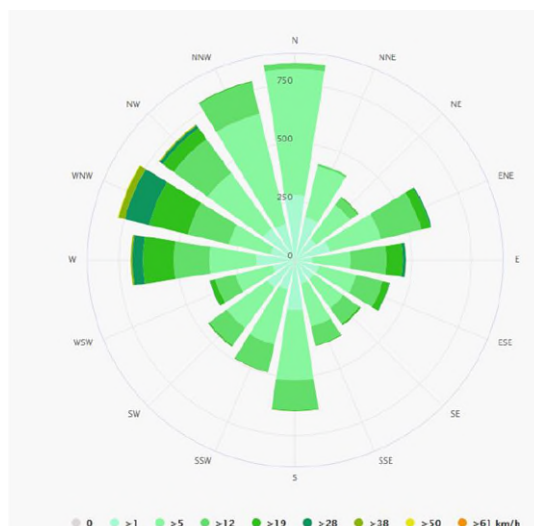
Il existe une pompe avec vis d'Archimède (cf. image ci-dessous), celle-ci assure la vidange du site et est en service depuis 2006. Cette pompe permet de vider le salin.



**FIGURE 7 - POMPE A VIS D'ARCHIMEDE**

A l'ouest du Salin des Pesquiers, des communications avec la mer peuvent s'établir lors de submersions dans le tombolo ouest. Celui-ci est fortement soumis à l'érosion dans sa partie ouest notamment depuis les modifications réalisées empêchant les apports sédimentaires par le Roubaud.

Comme expliqué précédemment, l'apport en eau salée est assuré par le canal du Gras, néanmoins, des apports spontanés peuvent avoir lieu lors de surcotes marines par exemple. Ces surcotes marines peuvent être la conséquence de la dépression atmosphérique liée aux tempêtes, de l'effet de la houle, de l'effet des marées et enfin de l'effet du vent. Il est à noter que les vents les plus violents viennent du Nord-Ouest avec une intensité de 50 km/h.



**FIGURE 8 - ROSE DES VENTS A HYERES ISSUE DE L'ETUDE EKOS INGENIERIE**

L'étude réalisée par EKOS ingénierie met en avant des problèmes d'envasement progressif des canaux de ceinture du salin des Pesquiers. Cet envasement résulte principalement d'une accumulation de sédiments apportés par les bassins versants, l'érosion des berges ou la décomposition de matières organiques. Cette problématique est également énoncée dans le document de Synthèse d'activités des Salins d'Hyères avec des actions annuelles de désensablement du canal de ceinture.

## 2.2 - Ouvrages hydrauliques

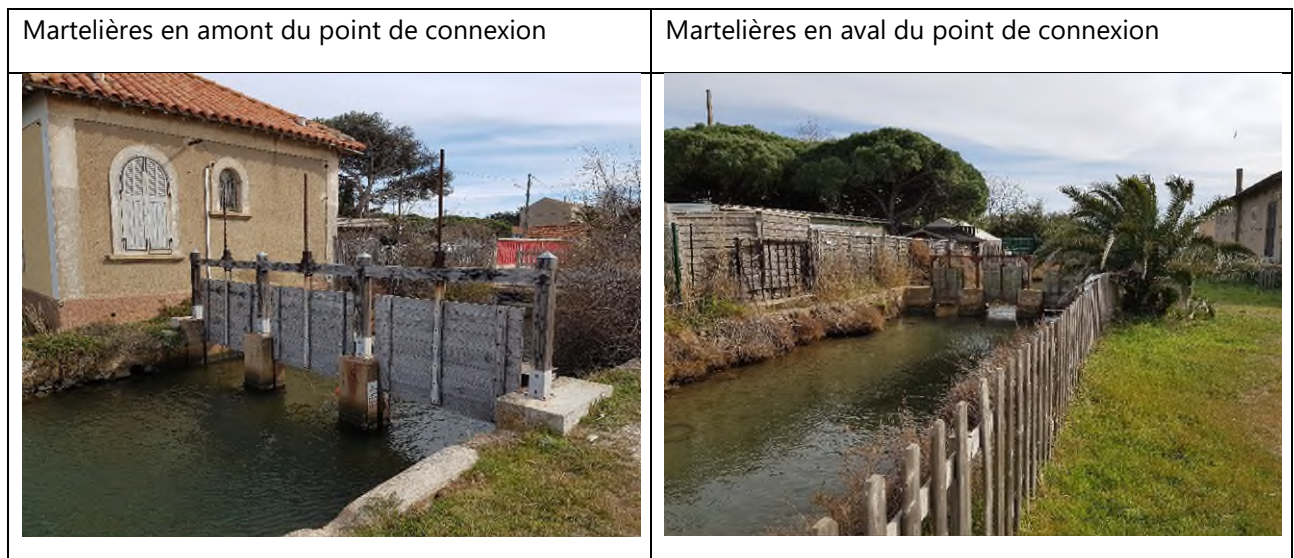
Le Salin des Pesquiers est relié au réseau pluvial via le canal de ceinture. Le reportage photographique présent en annexe reprend les différents points de connexion entre le réseau pluvial et le canal de ceinture. Le reportage photographique présent en annexe reprend les différents points de connexion entre le réseau pluvial et le canal de ceinture.





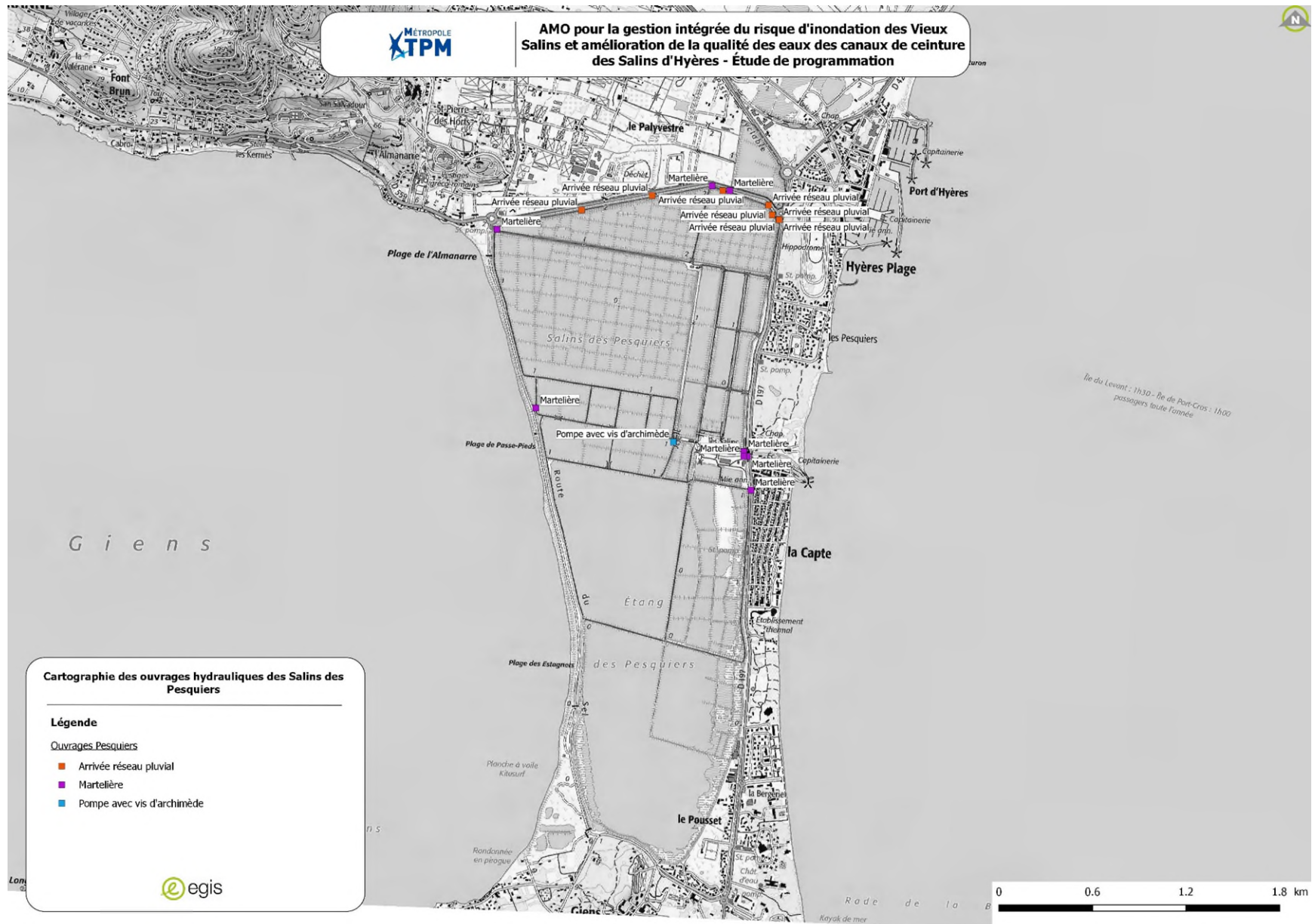
**FIGURE 9 – POINTS DE CONNEXION ENTRE LE RESEAU PLUVIAL ET LE CANAL DE CEINTURE**

Le canal de ceinture est ensuite relié au Salin des Pesquiers via différentes martelières présentes sur les parties Nord, Ouest et Est du canal de ceinture. De plus le canal de ceinture est connecté à la mer grâce à un canal le reliant au port de la Capte. Les échanges sont ensuite régulés grâce à des martelières présentes en amont et en aval du point de connexion entre ce canal et le canal de ceinture.



**FIGURE 10 – MARTELIERES AU NIVEAU DU POINT DE CONNEXION ENTRE MER ET CANAL DE CEINTURE**

La carte ci-dessous reprend les différents ouvrages hydrauliques observés dans les zones accessibles lors de la visite de terrain des Pesquiers.



**FIGURE 11 – CARTOGRAPHIE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES SUR LE SALIN DES PESQUIERS**

## 3 - HYPOTHESES HYDROLOGIQUES

### 3.1 - Bassins versants interceptés

#### 3.1.1 - Délimitation des sous bassins versants

Le canal de ceinture du Salin des Pesquiers subit les apports de la mer, de l'impluvium mais également du réseau pluvial. Certaines connexions entre le réseau pluvial et le réseau d'assainissement vont directement impacter la qualité des eaux pluviales.

Le modèle hydrologique réalisé sur le secteur du Salin des Pesquiers permettra de déterminer les différents débits issus du réseau pluvial transitant dans le canal de ceinture et donc d'estimer les flux de polluants sur le secteur.

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) et les coupes Litto3D de l'IGN permettent une représentation cartographique du relief avec une précision de l'ordre du mètre.

Ces données couplées aux courbes de niveau générées tous les 2 mètres de dénivelé ont permis de délimiter les bassins versants tels que représentés dans la cartographie suivante.

10 sous-bassins versants ont ainsi été identifiés.

#### 3.1.2 - Caractéristiques des sous bassins versants

Les caractéristiques des sous-bassins versants interceptés par les étangs sont résumées dans le tableau suivant.

Les temps de concentration des bassins versants ont été déterminés à partir des formules de Passini et de Ventura :

Formule de Ventura :  $Tc = 0,1272 \cdot \left(\frac{S}{p}\right)^{0,5}$  avec  $S$  la superficie et  $p$  la pente.

Formule de Passini :  $Tc = 0,108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{p^{0,5}}$  avec  $S$  la superficie,  $L$  la longueur d'écoulement et  $p$  la pente.

**TABEAU 1 – CARACTERISTIQUES DES SOUS-BASSINS VERSANTS INTERCEPTES PAR LES SALINS DES PESQUIERS**

<b>Bassin s</b>	<b>Aire (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Longueur (m)</b>	<b>Pente (m/m)</b>	<b>Tc Passini (min)</b>	<b>Tc Ventura (min)</b>	<b>Tc moyen (min)</b>
BV_1	0.10	342	0.01	21.2	24.4	22.8
BV_2	0.18	345	0.01	25.6	32.2	28.9
BV_3	0.25	398	0.02	21.3	27.0	24.2
BV_4	0.24	214	0.01	30.5	47.2	38.8
BV_5	0.26	645	0.01	35.8	39.1	37.5
BV_6	0.21	219	0.01	23.1	34.6	28.8
BV_7	0.80	938	0.05	27.8	32.3	30.0
BV_8	0.32	784	0.01	40.9	43.2	42.0
BV_9	0.28	797	0.06	16.0	16.4	16.2
BV_10	3.47	2947	0.07	53.2	53.7	53.4

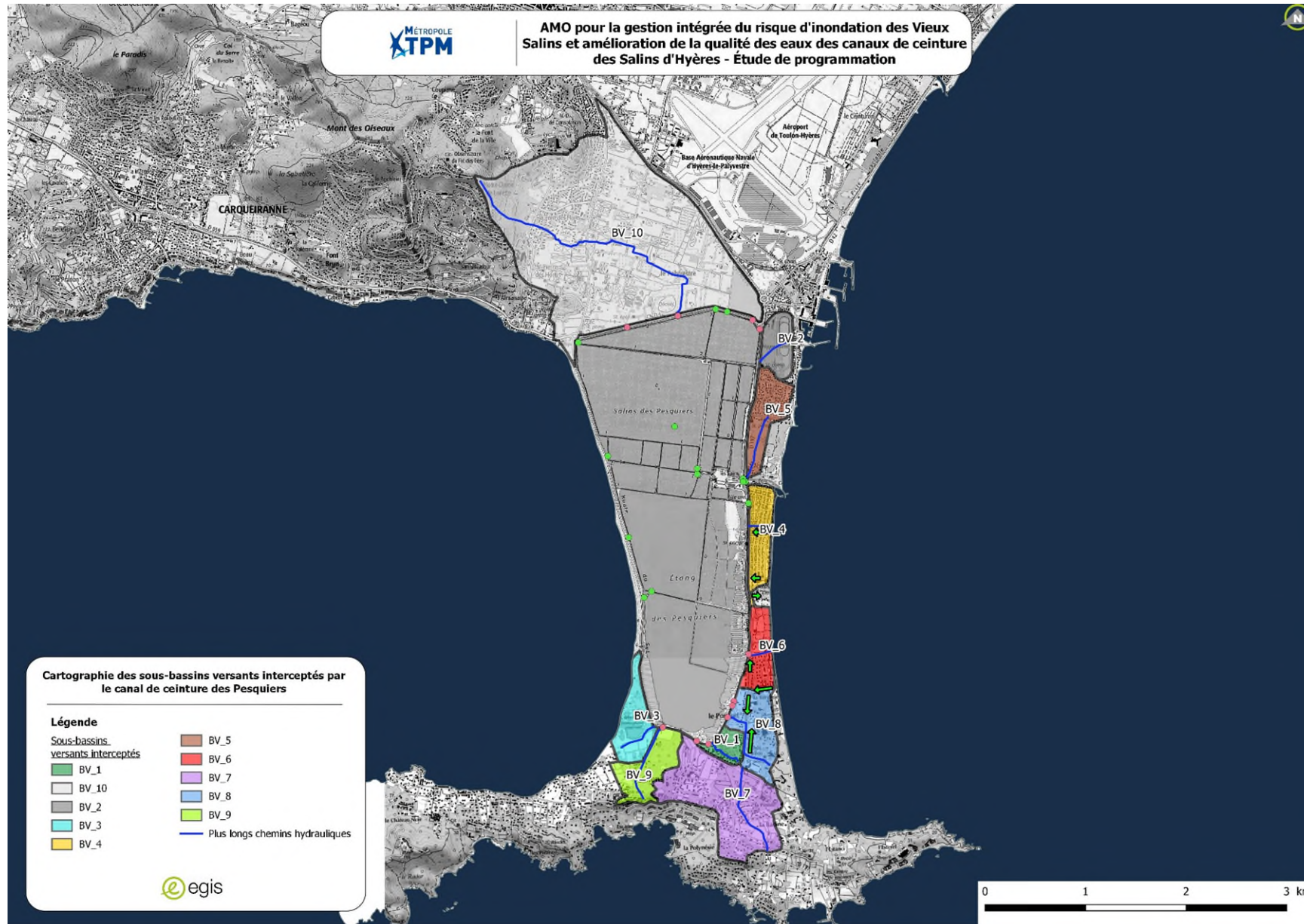


FIGURE 12 - SOUS BASSINS VERSANTS INTERCEPTES PAR LE CANAL DE CEINTURE DU SALIN DES PESQUIERS

### 3.1.3 - Comparaison avec l'étude du SDGEP de la commune d'Hyères

Dans le cadre du Schéma Directeur de Gestion des Eaux Pluviales (SDGEP) de la ville de Hyères, un découpage des sous-bassins versants a été réalisé par BCEOM. Ce découpage englobe également les Salins des Pesquiers. Cette étude a été utilisée afin d'établir un modèle hydrologique cohérent avec le SDGEP.



FIGURE 13 - SOUS DECOUPAGE DU SDGEP DE LA VILLE DE HYÈRES

Les débits obtenus dans le cadre de la présente analyse hydrologique seront comparés avec ceux trouvés dans le SDGEP pour des bassins versants aux caractéristiques similaires.

**TABEAU 2 – CARACTERISTIQUES DES SOUS BASSINS VERSANTS DANS LE SDGEP**

ID ssBV	longueur hydraulique m	pente m/m	coef de ruissellement Q2ans	coef de ruissellement Q5ans	coef de ruissellement Q10ans	coef de ruissellement Q30ans	coef de ruissellement Q100ans	nœud d'injection	Surface km <sup>2</sup>
1	373.9	0.180	52	52	52	52	62	75	4.07
2	220	0.227	52	52	52	52	62	120	1.62
3	675	0.133	45	45	45	45	55	154	5.09
4	587	0.220	45	45	45	45	55	459	12.12
5	350	0.320	43	43	43	43	53	224	5.14
6	180	0.130	45	45	45	45	55	199	1.40
7	220	0.039	60	60	60	60	70	120	0.88
8	280	0.136	43	43	43	43	53	24	3.41
9	400	0.093	43	43	43	43	53	44	3.43
10	520	0.132	40	40	40	40	50	238	4.29
11	580	0.051	40	40	40	40	50	287	3.37
12	280	0.051	35	35	35	35	45	304	2.66
13	360	0.113	40	40	40	40	50	862	3.56
14	180	0.174	40	40	40	40	50	865	1.30
15	290	0.045	65	65	65	65	75	436	1.94
16	220	0.045	65	65	65	65	75	470	1.17
17	195	0.039	85	85	85	85	95	398	1.33
18	220	0.078	35	35	35	35	45	634	1.46
18 1	180	0.078	35	35	35	35	45	873	0.94
19	320	0.049	45	45	45	45	55	526	3.50
20	235.1	0.028	60	60	60	60	70	603	1.12
20 1	45	0.028	60	60	60	60	70	614	0.10
21	150	0.020	45	45	45	45	55	480	0.65
22	200	0.016	60	60	60	60	70	576	1.44
23	180	0.015	48	48	48	48	58	557	1.18
24	150	0.018	45	45	45	45	55	545	0.65
25	405	0.026	55	55	55	55	65	586	3.20
26	230	0.023	70	70	70	70	80	984	2.61
26 1	300	0.023	70	70	70	70	80	1008	2.79
27	180	0.023	60	60	60	60	70	975	0.63
28	320	0.020	60	60	60	60	70	1092	2.23
29	250	0.020	80	80	80	80	90	1193	5.02
30	330	0.015	60	60	60	60	70	712	1.21
31	260	0.018	65	65	65	65	75	701	1.14
32	260	0.015	55	55	55	55	65	806	2.20
33	250	0.014	43	43	43	43	53	1050	1.77
34	160	0.023	43	43	43	43	53	1141	0.69
35	200	0.012	80	80	80	80	90	1140	0.91
36	260	0.018	43	43	43	43	53	1116	1.22
37	120	0.019	45	45	45	45	55	1136	0.56
38	190	0.014	45	45	45	45	55	1126	1.64
39	260	0.009	85	85	85	85	95	764	0.63
40	240	0.013	45	45	45	45	55	752	1.29
41	270	0.009	85	85	85	85	95	1212	2.50
42	180	0.025	55	55	55	55	65	670	0.63
43	240	0.062	80	80	80	80	90	2155	2.65

Dans un but de conformité avec le SDGEP de la commune de Hyères, il a été décidé d'utiliser la méthode rationnelle et la méthode SCS pour l'estimation des débits.

## 3.2 - Estimation des débits

### 3.2.1 - Méthode SCS

La méthode SCS proposée par le Soil Conservation Service dans les années 1950 a pour objectif de définir la capacité des bassins versants à absorber la pluie (capacité maximale du réservoir). Ce volume stocké ne sera pas restitué au cours d'eau.

Cette méthode prend en compte un coefficient constant.

Elle utilise également les Pertes Initiales qui traduisent l'absorption par le sol dans des dépressions, l'eau capturée par les plantes et l'évaporation.

Les paramètres utilisés sont :

- La superficie ;
- Le Curve Number (CN) qui représente la capacité d'infiltration. Il dépend notamment de la nature du sol, de la saturation des sols et de la végétation présente. La méthode SCS considère que l'infiltration varie linéairement avec le temps ;
- Le temps de concentration (Tc) ;
- Le LagTime défini selon la formule :

$$\text{Lag Time} = 0,6 \times Tc$$

Cette méthode considère également des pertes initiales, c'est-à-dire la fraction de la pluie qui sera perdue au début d'un épisode pluvieux par absorption dans des dépressions du sol, la capture du couvert végétal ou encore l'évaporation.

Les paramètres hydrologiques de ces bassins versants ont été fixés en cohérence avec ceux utilisés dans la redéfinition de l'hydrologie des affluents du Gapeau au cours des « Études hydraulique et hydrogéomorphologique sur le bassin versant du fleuve Gapeau et du Roubaud en vue de la réalisation de Plans de Prévention des Risques d'Inondation et d'un programme d'aménagement et de restauration du bassin versant du Gapeau ».

#### 3.2.1.1 - Définition du Curve Number

Pour la définition du Curve Number, une analyse est menée sur les caractéristiques du sol et son occupation. Des tables de CN sont disponibles dans la littérature afin de définir une valeur de CN par type d'occupation et en fonction du type de sol. Les types de sol sont séparés en 4 grandes classes : A, B, C et D (A pour des sols perméables et D pour des sols imperméables).

**TABLEAU 3 - CATEGORIES DE SOL DU SCS (SOURCE : CHOW, 1998)**

<b>A</b>	Sables ou limons profonds. limons agrégés
<b>B</b>	Lœss superficiels. limon sableux
<b>C</b>	Limons argileux. Limons sableux peu profonds. Sols peu organiques. sols contenant beaucoup d'argiles
<b>D</b>	Sols qui gonflent rapidement lorsqu'humides. argiles plastiques et certaines roches salines

L'analyse des sols sur l'ensemble des bassins versants interceptés montre que ceux-ci peuvent être classés dans les catégories B et C.

Pour chaque sous bassin versant, l'analyse de l'occupation du sol est réalisée à partir de la base de données Corine Land Cover de 2012 (cf. cartographie suivante) et des photos aériennes disponibles sous Google Earth.

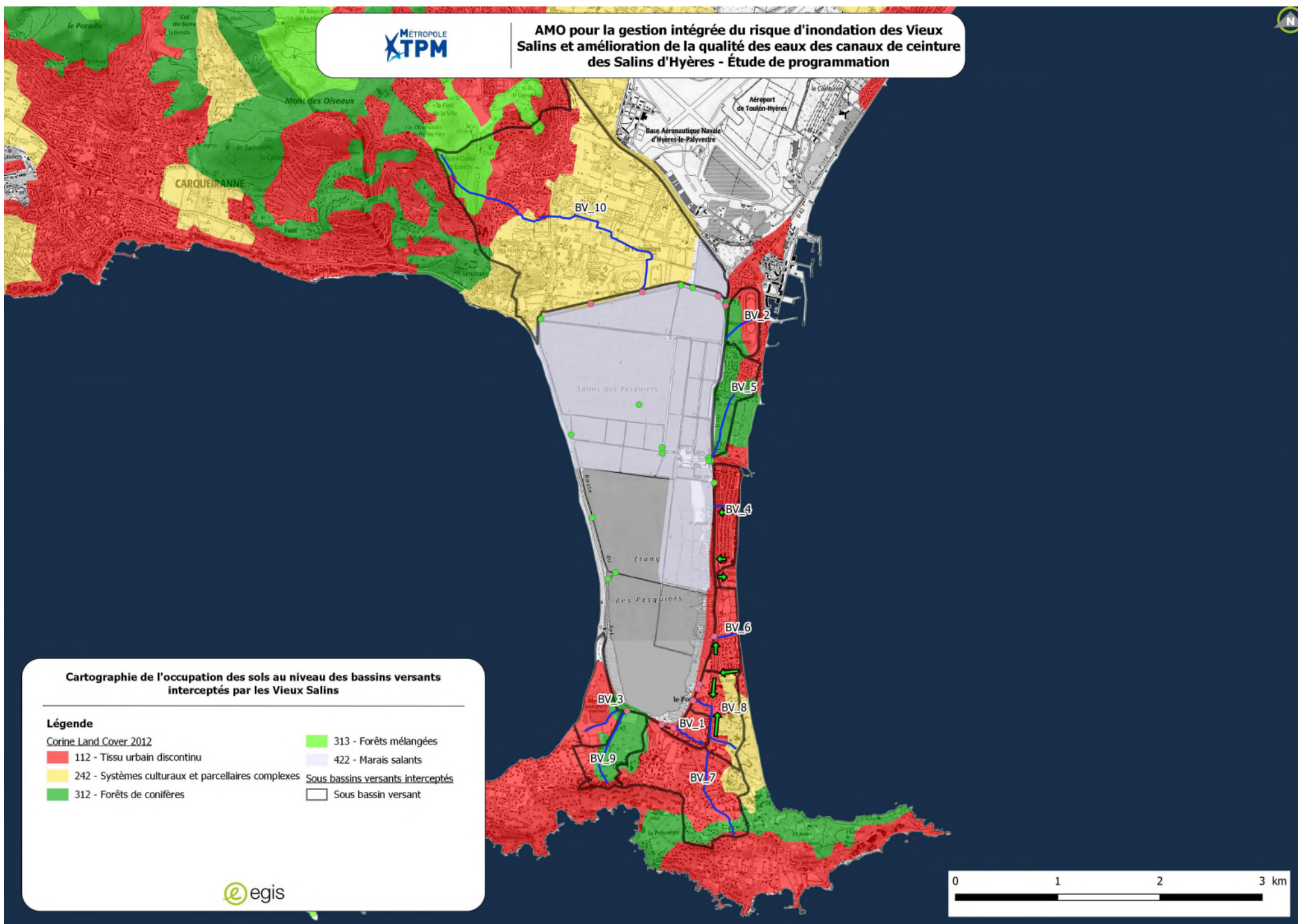


FIGURE 14 - OCCUPATION DES SOLS AU NIVEAU DES BASSINS VERSANTS INTERCEPTES PAR LE SALIN DES PESQUIERS SELON LES DONNEES CORINNE LANDCOVER 2012

A l'échelle de ces bassins versants, l'occupation des sols est identifiée selon 3 catégories principales :

- Les zones urbaines ;
- Les zones agricoles ;
- Les zones forestières.

La méthode SCS propose en fonction de la catégorie du sol et de l'occupation des valeurs références pour le Curve Number. Il est décidé de retenir les valeurs de Curve Number suivantes :

- Entre 77 et 83 pour les zones urbaines ;
- Entre 71 et 77 pour les zones agricoles ;
- Entre 68 et 71 pour les zones forestières.

### 3.2.1.2 - Définition des pertes initiales

Les pertes initiales correspondent à la fraction d'une pluie brute interceptée par le couvert végétal, évaporation ou bien absorption dans les dépressions du sol.

Elles sont estimées à partir de tables de la littérature, de l'occupation et de la nature du sol.

Les bassins versants interceptés appartiennent au socle métamorphique du Massif des Maures, très peu perméable.

Il est décidé de retenir des valeurs de pertes initiales suivantes :

- Entre 11 et 14 mm pour les zones urbaines ;
- Entre 14 et 17 mm pour les zones agricoles ;
- Entre 17 et 20 mm pour les zones forestières.

Le tableau ci-dessous reprend les valeurs de CN et de perte initiale pour les 10 bassins versants interceptés par le Salin des Pesquiers.

**TABEAU 4 – VALEURS DES CN ET PI DES SOUS BASSINS VERSANTS INTERCEPTES**

<b>Bassins</b>	<b>% Zone urbaine</b>	<b>%Forêt</b>	<b>%Zone agricole</b>	<b>CN</b>	<b>PI</b>
<i>BV_1</i>	100%			80	13
<i>BV_2</i>	60%	40%		76	15
<i>BV_3</i>	80%	20%		78	14
<i>BV_4</i>	100%			80	13
<i>BV_5</i>	46%	64%		81	18
<i>BV_6</i>	100%			80	13
<i>BV_7</i>	50%	30%	20%	76	15
<i>BV_8</i>	50%		50%	77	14
<i>BV_9</i>	40%	60%		74	16
<i>BV_10</i>	25%	15%	60%	75	15

### 3.2.2 - Méthode rationnelle

La méthode rationnelle permet d'estimer le débit de pointe en fonction de la formule suivante :

$$Q = 2.78 \times C \times I \times A$$

Avec C : Coefficient de ruissellement moyen

I : Intensité moyenne de la pluie (en mm/h) durant le temps de concentration

A : Surface du BV en hectares.

#### 3.2.2.1 - Coefficient de ruissellement

Les valeurs de débits dépendent fortement du coefficient de ruissellement fixé pour les différents bassins versants. Le tableau de Ven te Chow disponible ci-dessous reprend l'abaque des coefficients de ruissellement pour différentes périodes de retour.

**TABLEAU 5 – COEFFICIENT DE RUISSellement PAR TYPE DE SURFACE ET PERIODE DE RETOUR (VEN TE CHOW)**

Table Ven Te chow - Coefficient de ruissellement (Applied Hydrology p 498)								
Type de surface		Période de retour (ans)						
		2	5	10	25	50	100	500
<b>Asphalte</b>		0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1
<b>Béton,toit</b>		0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
<b>Zones enherbées (pelouse, parc...)</b>								
Conditions faibles (surface enherbée < 50% de la surface totale)								
	Plat, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
	Moyen, 2-7%	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
	Raide, >7%	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Conditions passables (surfaces enherbée entre 50% et 75% de la surface totale)								
	Plat, 0-2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
	Moyen, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
	Raide, >7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Conditions bonnes (surfaces enherbée > 75% de la surface totale)								
	Plat, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
	Moyen, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
	Raide, >7%	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Zone cultivée</b>								
	Plat, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57
	Moyen, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6
	Raide, >7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<b>Pâturage, prairie</b>								
	Plat, 0-2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
	Moyen, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
	Raide, >7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
<b>Fôret, bois</b>								
	Plat, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
	Moyen, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
	Raide, >7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Le tableau ci-dessous reprend les coefficients pour des périodes de retour biannuelle et décennale.

**TABLEAU 6 – COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT POUR CHAQUE SOUS BASSIN VERSANT**

Nom du Bassin Versant	% surface imperméabilisée	Coefficient de ruissellement	
		T = 2 ans	T = 10 ans
BV_1	45%	0.51	0.57
BV_2	27%	0.39	0.46
BV_3	36%	0.45	0.51
BV_4	45%	0.51	0.57
BV_5	10%	0.3	0.36
BV_6	45%	0.51	0.57
BV_7	23%	0.43	0.49
BV_8	23%	0.41	0.47
BV_9	34%	0.46	0.52
BV_10	6%	0.41	0.46

**Dans le cadre de la modélisation hydrologique, pour les occurrences mensuelles et annuelles, il sera retenu le coefficient de ruissellement pour une période de retour biannuelle.**

### 3.2.3 - Construction des pluies de projet d'occurrences mensuelle, annuelle et décennale

#### 3.2.3.1 - Coefficient de Montana

Pour construire les pluies de projet pour les différentes occurrences, les coefficients de Montana de la station Météo France de Hyères-BAN ont été utilisés. Il s'agit des coefficients utilisés dans le cadre du SDGEP d'Hyères. Ils sont issus des observations pluviométriques de 1982 à 2005 (soit 23 ans d'observation) pour les périodes de retour mensuelle et annuelle ; de 1977 à 2005 (soit 28 ans d'observation) pour la période de retour décennale.

**LA STATION METEO FRANCE DE HYERES-BAN A ETE RETENUE POUR REALISER L'ETUDE HYDROLOGIQUE DES SALINS DES PESQUIERS AFIN D'ETRE EN COHERENCE AVEC LE SDGEP.**

Le tableau suivant présente les coefficients de Montana pour les différentes occurrences.

**TABLEAU 7 – COEFFICIENTS DE MONTANA DE HYERES-BAN (SOURCE : METEO FRANCE)**

Période de retour	Coefficient a	Coefficient b
1 mois	1.619	0.63
1 an	3.686	0.563
10 ans	6.325	0.567

### 3.2.3.2 - Pluies de projet

A partir des coefficients de Montana précédemment décrits, plusieurs pluies de référence ont été construites pour chaque occurrence de pluie.

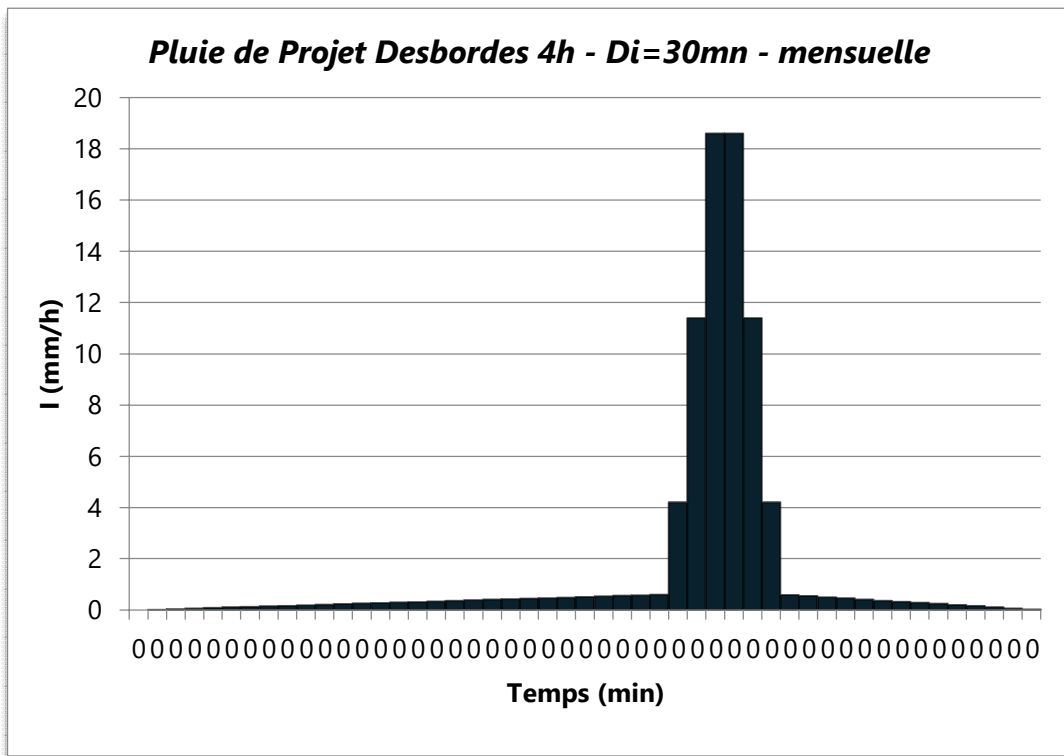
Les hypothèses suivantes ont été prises dans le cadre du SDGEP :

- La durée DM de la période intense peut varier de 15 minutes à 2 heures. Elle est fonction des temps de concentration des bassins versants étudiés. Après avoir effectué plusieurs tests, une durée de 30 minutes, engendrant globalement les débits de pointe les plus importants, a été retenue ;
- La hauteur HM de pluie tombée au cours de la période intense : hauteur à la période de retour T choisie pour la pluie de projet ;
- La durée totale DP, prise égale à 4 heures (durée significative des événements observés sur le site d'étude) ;
- La position de la période intense au sein de l'averse, que l'on considère légèrement décentrée ( $2/3 \times DP$ ). En effet, les analyses statistiques des pluies observées dans le Sud de la France font couramment état de périodes intenses se produisant aux  $2/3$  de la durée totale, c'est-à-dire légèrement décalée par rapport au « centre » de l'événement. Cette hypothèse a donc été retenue pour la modélisation ;
- La hauteur totale HT de pluie tombée pendant la durée totale DP de l'épisode pluvieux. La période de retour de cette hauteur est choisie légèrement inférieure à celle de la période intense afin de reproduire un événement « global » de période de retour T représentatif des pluies observées.

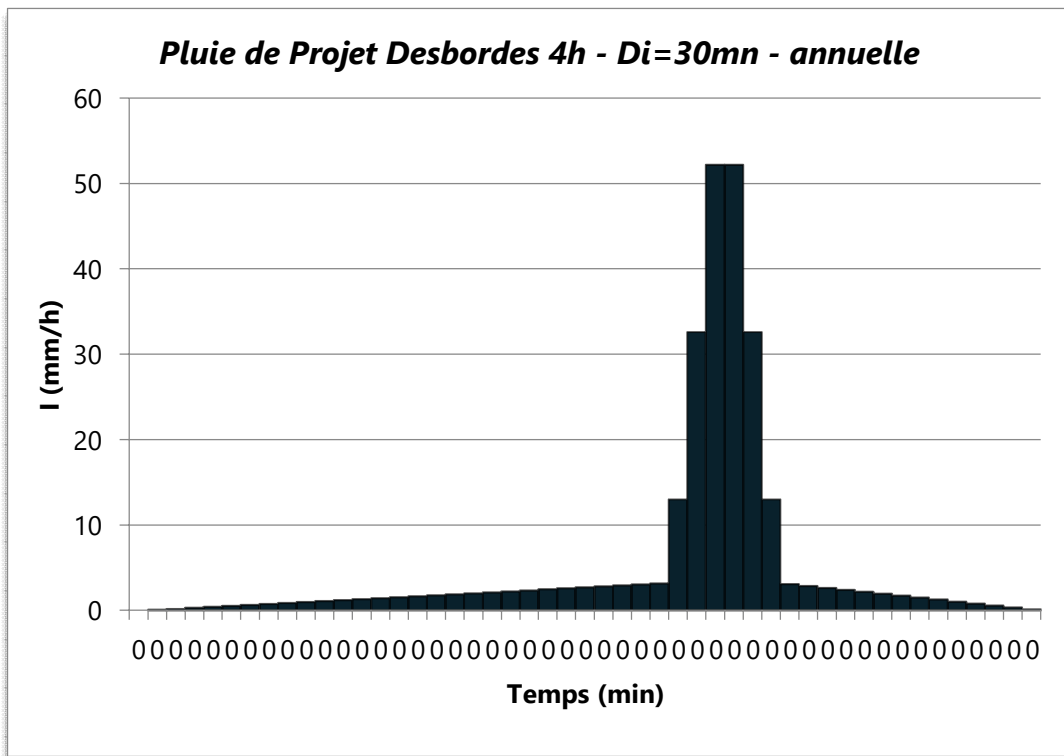
Afin d'avoir une période de retour plus faible sur le volume, les occurrences suivantes ont été retenues pour réaliser les pluies de Desbordes :

Période de retour Qmax	Période de retour Htotal
1 mois	15 jours
1 ans	3 mois
10 ans	5 ans

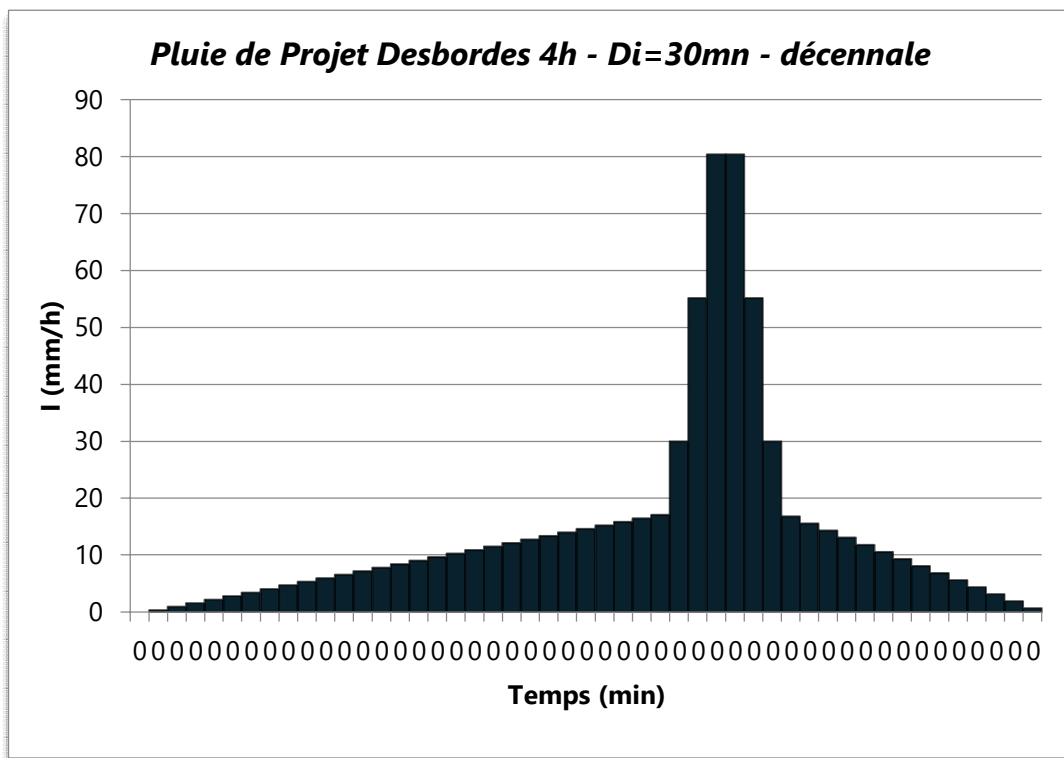
**AFIN D'ETRE EN COHERENCE AVEC LE SDGEP DEJA REALISE SUR LA COMMUNE DE HYERES, IL A ETE DECIDE DE REALISER DES PLUIES DE PROJET DE TYPE DESBORDES DE DUREE 4H ET DE DUREE INTENSE 30 MINUTES SUR LES OCCURRENCES MENSUELLES, ANNUELLES ET DECENNALES.**



**FIGURE 15 - PLUIE DE PROJET DE TYPE DESBORDES MENSUELLE**



**FIGURE 16 - PLUIE DE PROJET DE TYPE DESBORDES ANNUELLE**



**FIGURE 17 - PLUIE DE PROJET DE TYPE DESBORDES DECENNALE**

Le tableau ci-dessous reprend les informations sur ces trois pluies de projet.

**TABLEAU 8 – PLUIES DE PROJET**

Période de retour	Intensité max (en mm/h)	Hauteur totale (en mm)
Mensuelle	18.6	6.8
Annuelle	52.2	21.2
Décennale	80.4	58

### 3.2.4 - Débits de pointe

#### 3.2.4.1 - Comparaison méthode SCS et méthode rationnelle

Les deux méthodes de transfert donnent deux valeurs de débit maximum différentes. Une comparaison a été réalisée sur le débit maximum et sur le volume pour la pluie décennale.

**TABLEAU 9 – COMPARAISON DE L'ÉVALUATION DU DÉBIT DÉCENNAL SELON LA MÉTHODE SCS ET RATIONNELLE**

Nom BV	Aire (en km <sup>2</sup> )	Q10 : Méthode SCS		Q10 : Méthode rationnelle	
		Qmax	Débit spécifique	Qmax	Débit spécifique
BV_1	0.1	1.121	6.94	0.60	3.74
BV_2	0.18	1.429	5.68	0.97	3.86
BV_3	0.25	1.915	5.78	1.37	4.14
BV_4	0.24	2.101	6.64	1.89	5.98
BV_5	0.26	1.628	4.75	1.30	3.78
BV_6	0.21	2.016	7.14	1.39	4.91
BV_7	0.8	4.795	5.70	4.77	5.68
BV_8	0.32	2.887	7.18	2.20	5.48
BV_9	0.28	1.589	4.46	1.22	3.42
BV_10	3.47	18.39	6.80	26.76	9.89

La méthode rationnelle donne des valeurs de débits pseudo-spécifique dans une gamme beaucoup plus étendue [3.4 ; 9.9] que dans le cadre de la méthode SCS [4.5 ; 7.2]. Cependant, les valeurs de débits entre les deux méthodes sont assez proches pour les valeurs intermédiaires. Pour les bassins versants BV\_10 et BV\_1, la différence entre les deux méthodes semble plus importante. Dans le cadre de la méthode rationnelle, il semblerait que le débit spécifique soit légèrement élevé.

Ces valeurs sont comparées aux valeurs calculées dans l'étude hydrologique des Vieux Salins et du SDGEP.

#### 3.2.4.2 - Comparaison aux études hydrologiques sur le secteur

Dans le cadre du SDGEP, une étude hydrologique a été réalisée sur le secteur de la ville d'Hyères. Sur un bassin versant tel que celui de Saint-Martin dont les caractéristiques physiques sont disponibles ci-dessous, il semblerait que les valeurs de débit spécifique se rapprochent de ceux trouvés dans le cadre de la méthode SCS.

**TABLEAU 10 – COMPARAISON D'UN SOUS BASSIN VERSANT ÉQUIVALENT : BV DE SAINT MARTIN**

Sous-Bassin	Aire (km <sup>2</sup> )	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Débit spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup> )
Saint-Martin	<b>0.3</b>	2.1	5.5



**FIGURE 18 - LOCALISATION DU BV DE SAINT-MARTIN (SOURCE : SDGEP DE LA VILLE DE HYERES)**

La méthode SCS ayant été utilisée dans le cadre de l'étude hydrologique des Vieux Salins, les débits spécifiques sont proches de ceux trouvés pour le Salin des Pesquiers avec la méthode SCS.

**A la vue des différents éléments disponibles dans les études déjà réalisées sur le secteur d'étude et après avoir conclu que les deux méthodes donnaient des valeurs assez similaires, il a été décidé de conserver la méthode SCS pour la suite de l'étude hydrologique.**

### 3.2.4.3 - Débits de pointe pour chaque occurrence

Les paramètres hydrologiques et pluies de projet définies précédemment ont été renseignés dans un modèle PC-SWMM. Les hydrogrammes ont été définis selon la méthode de transformation de l'hydrogramme unitaire SCS.

**TABEAU 11 - DEBITS DE POINTE ET DEBITS SPECIFIQUES MENSUELS**

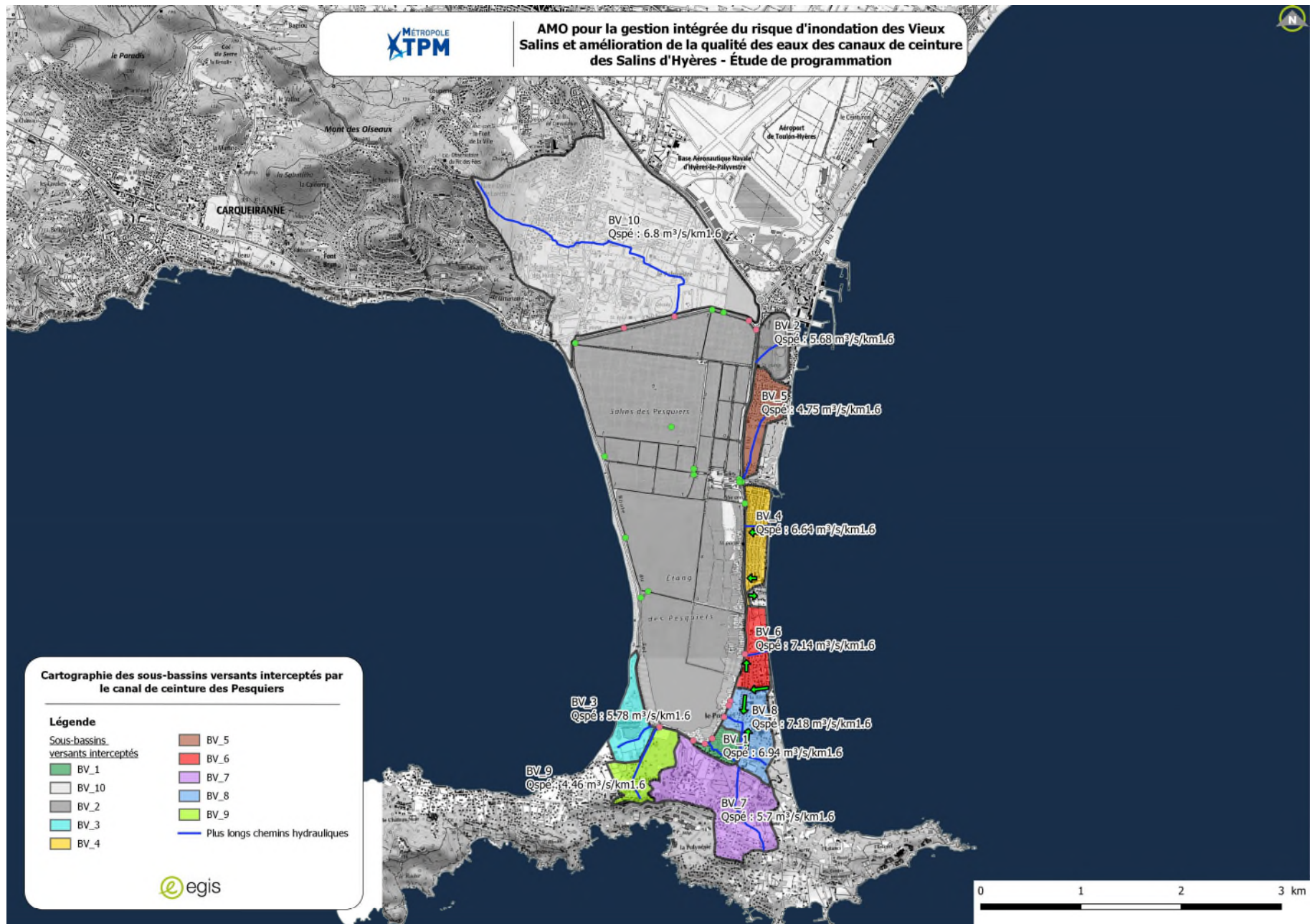
Sous-Bassin	Aire (km <sup>2</sup> )	Q <sub>mens</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Débit pseudo-spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup> )
BV_1	0.10	0.157	0.97
BV_2	0.18	0.159	0.63
BV_3	0.25	0.2267	0.68
BV_4	0.24	0.2734	0.86
BV_5	0.26	0.0786	0.23
BV_6	0.21	0.2722	0.96
BV_7	0.80	0.44	0.52
BV_8	0.32	0.2846	0.71
BV_9	0.28	0.1858	0.52
BV_10	3.47	0.6227	0.23

**TABEAU 12 - DEBITS DE POINTE ET DEBITS SPECIFIQUES ANNUELS**

Sous-Bassin	Aire (km <sup>2</sup> )	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Débit pseudo-spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup> )
BV_1	0.10	0.4661	2.88
BV_2	0.18	0.4672	1.86
BV_3	0.25	0.6864	2.07
BV_4	0.24	0.8303	2.62
BV_5	0.26	0.2311	0.67
BV_6	0.21	0.8182	2.90
BV_7	0.80	1.339	1.59
BV_8	0.32	0.8408	2.09
BV_9	0.28	0.5564	1.56
BV_10	3.47	2.216	0.82

**TABLEAU 13 - DEBITS DE POINTE ET DEBITS SPECIFIQUES DECENNAUX**

Sous-Bassin	Aire (km <sup>2</sup> )	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Débit pseudo-spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup> )
BV_1	0.10	1.121	6.94
BV_2	0.18	1.429	5.68
BV_3	0.25	1.915	5.78
BV_4	0.24	2.101	6.64
BV_5	0.26	1.628	4.75
BV_6	0.21	2.016	7.14
BV_7	0.80	4.795	5.70
BV_8	0.32	2.887	7.18
BV_9	0.28	1.589	4.46
BV_10	3.47	18.39	6.80



**FIGURE 19- DEBITS SPECIFIQUES DECENNAUX DES BASSINS VERSANTS INTERCEPTES PAR LES SALINS DES VIEUX PESQUIERS**

## **4 - MODELISATION HYDRAULIQUE DU CANAL DE CEINTURE**

Afin de comprendre le fonctionnement hydraulique du canal de ceinture du Salin des Pesquiers, dans un contexte complexe du fait de la topographie plane du site, une modélisation hydraulique 1D a été réalisée sous le logiciel Infoworks ICM.

Ces modélisations ont également pour vocation de définir ultérieurement les flux de contaminants interceptés le canal de ceinture et de déterminer l'impact sur les milieux aquatiques (identification des sources de pollution, caractérisation, schéma de diffusion des éléments contaminants, etc.).

L'atlas cartographique ci-dessous présente les résultats de modélisation pour les pluies mensuelle, annuelle et décennale.

Globalement, le même schéma de propagation des écoulements peut être observé quelle que soit l'occurrence :

- Les bassins versants du Palyvestre et de la Presqu'île de Giens génèrent des ruissellements interceptés par le canal de ceinture ;
- Ces ruissellements s'estompent rapidement après interception par le canal de ceinture et se diffusent dans les étangs.



AMO pour la gestion intégrée du risque d'inondation des Vieux Salins et amélioration de la qualité des eaux des canaux de ceinture des Salins d'Hyères - Étude de programmation

MÉTROPOLE  
XTPM



Atlas cartographique du fonctionnement hydraulique des Salins des Pesquiers pour une pluie mensuelle

**Légende**

- Sens des écoulements dans le canal de ceinture
- Profils en travers



FIGURE 20 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SALIN DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE MENSUELLE – PARTIE NORD



AMO pour la gestion intégrée du risque d'inondation des Vieux Salins et amélioration de la qualité des eaux des canaux de ceinture des Salins d'Hyères - Étude de programmation

MÉTROPOLE  
XTPM



Atlas cartographique du fonctionnement hydraulique des Salins des Pesquiers pour une pluie mensuelle

**Légende**

→ Sens des écoulements dans le canal de ceinture

— Profils en travers



FIGURE 21 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SALIN DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE MENSUELLE – PARTIE SUD

AMO pour la gestion intégrée du risque d'inondation des Vieux Salins et amélioration de la qualité des eaux des canaux de ceinture des Salins d'Hyères - Étude de programmation



Atlas cartographique du fonctionnement hydraulique des Salins des Pesquiers pour une pluie annuelle

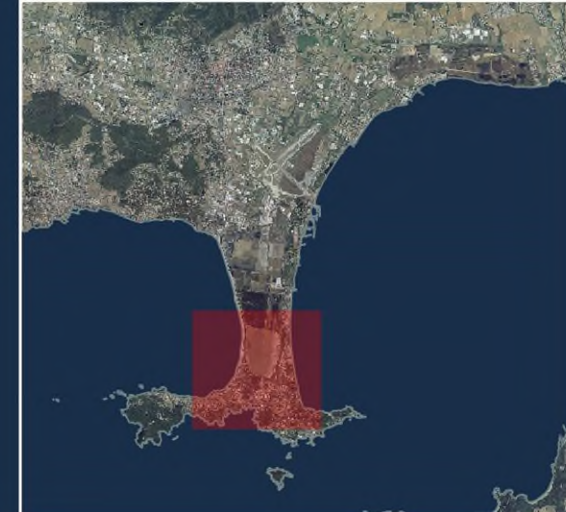
- Légende**
- Sens des écoulements dans le canal de ceinture
  - Profils en travers



FIGURE 22 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SALIN DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE ANNUELLE – PARTIE NORD



AMO pour la gestion intégrée du risque d'inondation des Vieux Salins et amélioration de la qualité des eaux des canaux de ceinture des Salins d'Hyères - Étude de programmation



Atlas cartographique du fonctionnement hydraulique des Salins des Pesquiers pour une pluie annuelle

**Légende**  
 Sens des écoulements dans le canal de ceinture  
 Profils en travers



FIGURE 23 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SALIN DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE ANNUELLE – PARTIE SUD



AMO pour la gestion intégrée du risque d'inondation des Vieux Salins et amélioration de la qualité des eaux des canaux de ceinture des Salins d'Hyères - Étude de programmation



Atlas cartographique du fonctionnement hydraulique des Salins des Pesquiers pour une pluie décennale

**Légende**  
 Sens des écoulements dans le canal de ceinture  
 Profils en travers



FIGURE 24 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SALINS DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE DECENNALE – PARTIE NORD



AMO pour la gestion intégrée du risque d'inondation des Vieux Salins et amélioration de la qualité des eaux des canaux de ceinture des Salins d'Hyères - Étude de programmation

MÉTROPOLE  
XTPM

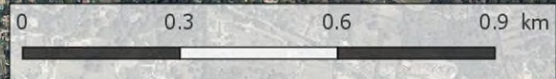


Atlas cartographique du fonctionnement hydraulique des Salins des Pesquiers pour une pluie décennale

**Légende**

→ Sens des écoulements dans le canal de ceinture

● Profils en travers



egis



FIGURE 25 - FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU SALIN DES PESQUIERS POUR UNE PLUIE DECENNALE – PARTIE SUD

