



Janvier

2019

Etude hydraulique du projet d'ombrières photovoltaïques de l'île Piot, Avignon (84)

Note de résultats

CONSULTING

SAFEGE
Aix Métropole - Bâtiment D
30, Avenue Henri Malacrida
13100 AIX EN PROVENCE

Agence PACA Corse

SAFEGE SAS - SIÈGE SOCIAL
Parc de l'île - 15/27 rue du Port
92022 NANTERRE CEDEX
www.safege.com

Version : V0

Date : 15/01/19

Nom Prénom : Haddad Marwan

Visa :



Numéro du projet : 19MAXxxx

Intitulé du projet : Etude hydraulique du projet d'ombrières photovoltaïques de l'Ile Piot, Avignon (84)

Intitulé du document : Note de résultats

Version	Rédacteur NOM / Prénom	Vérificateur NOM / Prénom	Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
v0	HADDAD Marwan		15/01/2019	Version initiale

Sommaire

1.....	Contexte du projet	4
2.....	Impact des ombrières des secteurs Nord et Centre.....	6
3.....	Volumes à stocker	6
3.1	Présentation du secteur Sud	6
3.2	Description des sous-bassins versants	7
3.3	Calcul des coefficients de ruissellement et des débits de pointe en état aménagé.....	11
4.....	Conclusion	14

Tables des illustrations

Figure 1 : Périmètre du projet.....	5
Figure 2 : Ecoulement hydraulique sur le site.....	7
Figure 3 : Sous-bassins versants sur le site	8
Figure 4: Coupe géotechnique du site.....	12
Figure 5: Abaques - taux d'infiltrations	13

Table des tableaux

Tableau 1 : Coefficient de ruissellement, secteurs Nord et Centre	6
Tableau 2 : Caractéristiques géométriques des sous-bassins versants.....	8
Tableau 3 : Coefficient de Montana de la Station d'Avignon (84)	9
Tableau 4 : Coefficients de ruissellement.....	10
Tableau 5 : Coefficients de ruissellement calculés – état initial	10
Tableau 6 : Débit à l'état initial	10
Tableau 7 : Coefficients de ruissellement calculés – état projet.....	11
Tableau 8 : Débit à l'état projet	11
Tableau 9: Volumes de stockage et débits de fuite pour dimensionnement des ouvrages.....	13
Tableau 10 : Dimensions des noues paysagères	14

Table des annexes

Annexe 1 : Etude hydraulique

1 CONTEXTE DU PROJET

La Compagnie Nationale du Rhône (CNR) travaille en collaboration avec le Grand Avignon et TECELYS sur l'élaboration d'un projet d'ombrières photovoltaïques sur le parking relais de l'Île Piot à Avignon.

A l'état actuel, les parties Nord et Centre du parking sont recouvertes d'un enrobé et les eaux de pluie ruissellent vers les noues centrales.

L'installation d'ombrières ne devrait pas modifier la gestion des eaux pluviales puisque l'eau captée par les ombrières sera évacuée dans les noues existantes par un système de chéneaux.

La partie Sud est en graviers sans noues : l'eau s'infiltré et ruisselle sur cette zone vers les fossés périphériques. L'installation d'ombrières nécessitera la création de noues centrales (+ chéneaux pour évacuation de l'eau captée par les ombrières).

L'objectif de l'étude est de réaliser une notice hydraulique pour la section Sud des aménagements sur l'Île Piot. Cette notice inclue le calcul des volumes d'eau de ruissellement à stocker (du l'imperméabilisation), du débit de fuite maximum à respecter ainsi que le dimensionnement des noues paysagères.

Ci-dessous le plan de masse du projet et le périmètre de l'étude.

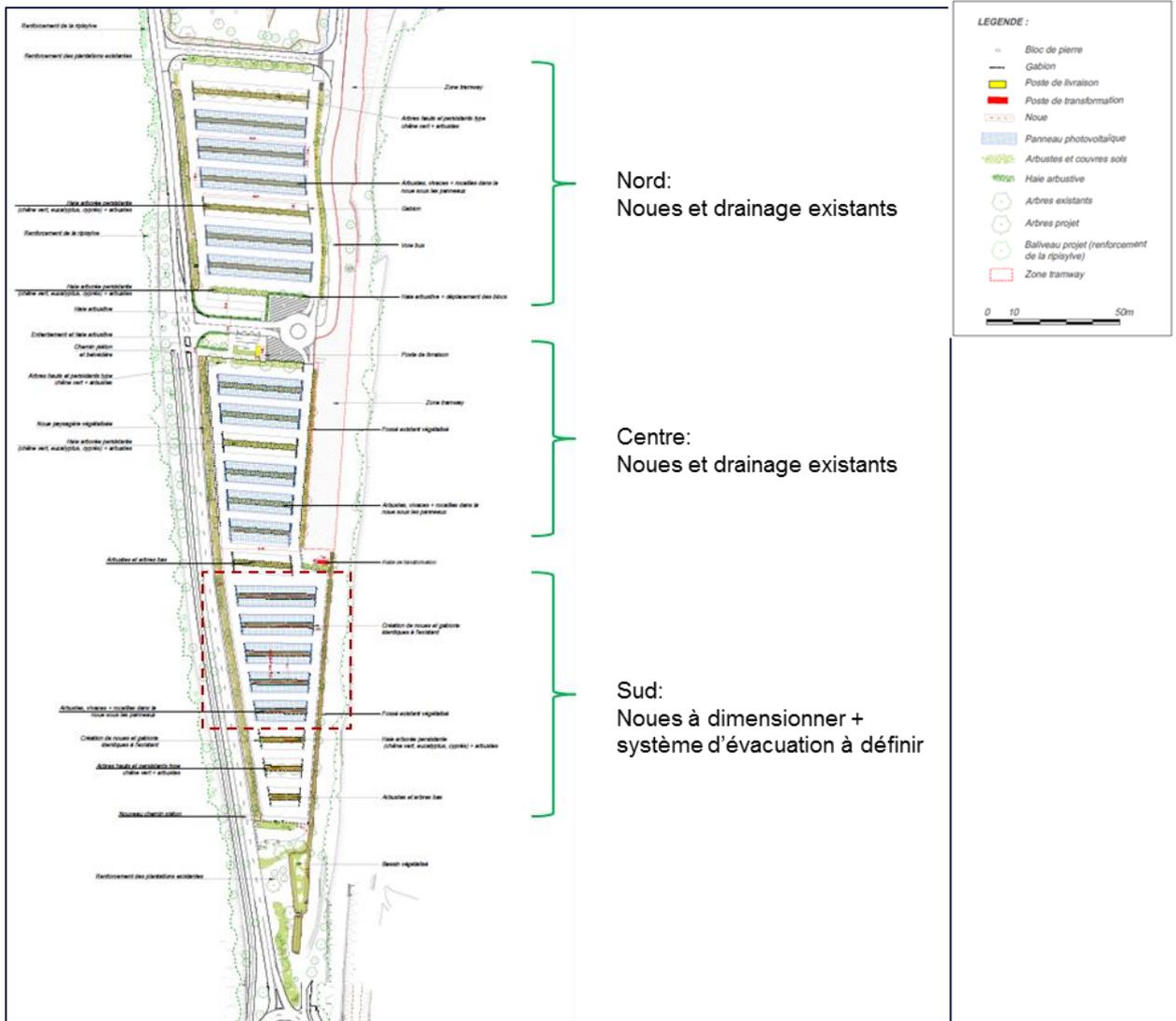
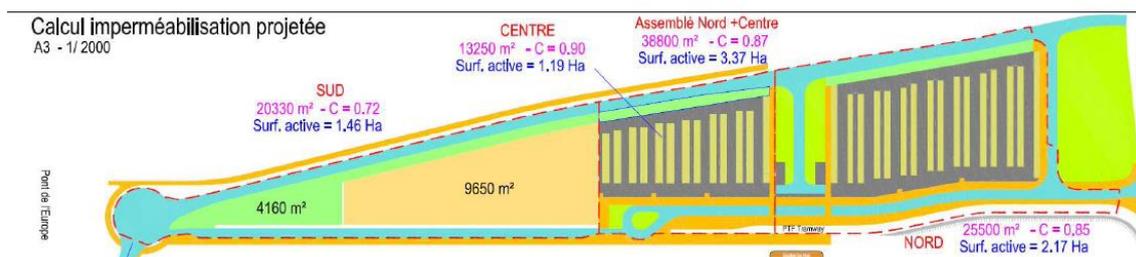


Figure 1 : Périmètre du projet

2 IMPACT DES OMBRIERES DES SECTEURS NORD ET CENTRE

Pour la création du P+R sur les secteurs Nord et Centre, une note technique a été réalisée en 2013 pour dimensionner les noues aujourd'hui existantes sur ces secteurs.

Ci-dessous la comparaison des coefficients de ruissellement de l'étude et des coefficients de ruissellement suite à la pose des panneaux photovoltaïques.



Secteur	Etude P+R (enrobé uniquement)
Nord	0.85
Centre	0.9

Ci-dessous le calcul de l'imperméabilisation à l'état projet (installation des panneaux photovoltaïques).

	Surface végétaux	Surface enrobé	Surface panneaux	Total	%étude P+R
Surfaces secteur Nord	8%	72%	20%	100%	
Coefficient de ruissellement	0.3	0.9	1	0.87	2%
Surfaces secteur Centre	8%	46%	46%	100%	
Coefficient de ruissellement	0.3	0.9	1	0.9	0%

Tableau 1 : Coefficient de ruissellement, secteurs Nord et Centre

Comme la variation de ces coefficients de ruissellement est faible (<2%), le dimensionnement des noues existantes reste valide suite à la pose des panneaux. Il n'y a pas d'impact supplémentaire sur le secteur Sud.

3 VOLUMES A STOCKER

3.1 Présentation du secteur Sud

La zone d'implantation du projet est caractérisée par :

- ▷ Le Rhône à l'ouest ;
- ▷ Le canal CNR à l'est ;

- ▶ Un parking au nord.

Les écoulements des eaux superficielles sont divisés en deux parties. La première depuis la ligne de crête vers le Rhône ; et la seconde vers le canal CNR

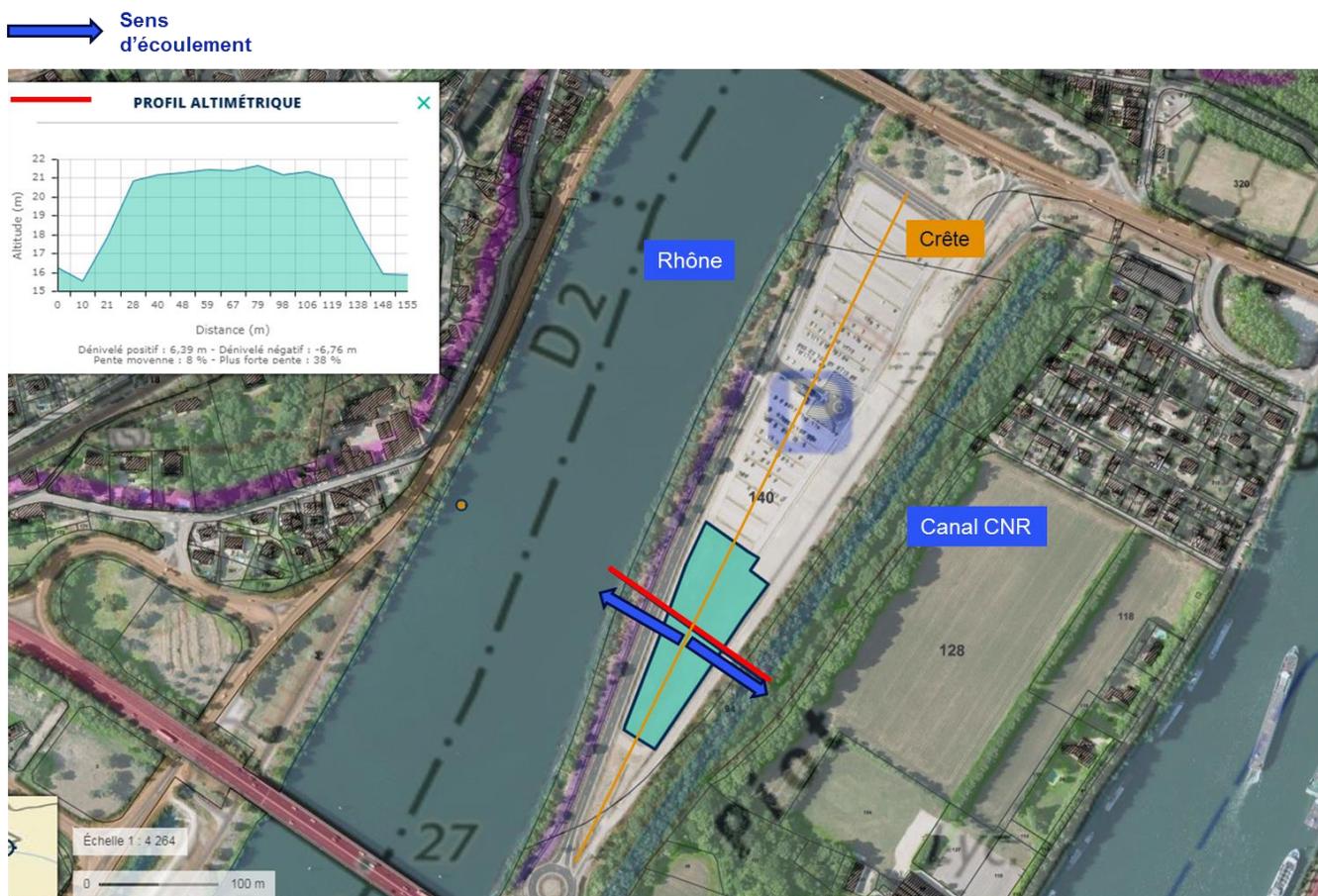


Figure 2 : Ecoulement hydraulique sur le site

3.2 Description des sous-bassins versants

Le site du projet constitue le seul bassin versant étudié. Le bassin versant du site est divisé en cinq (5) sous-bassins versants distincts (cf. Figure 3).

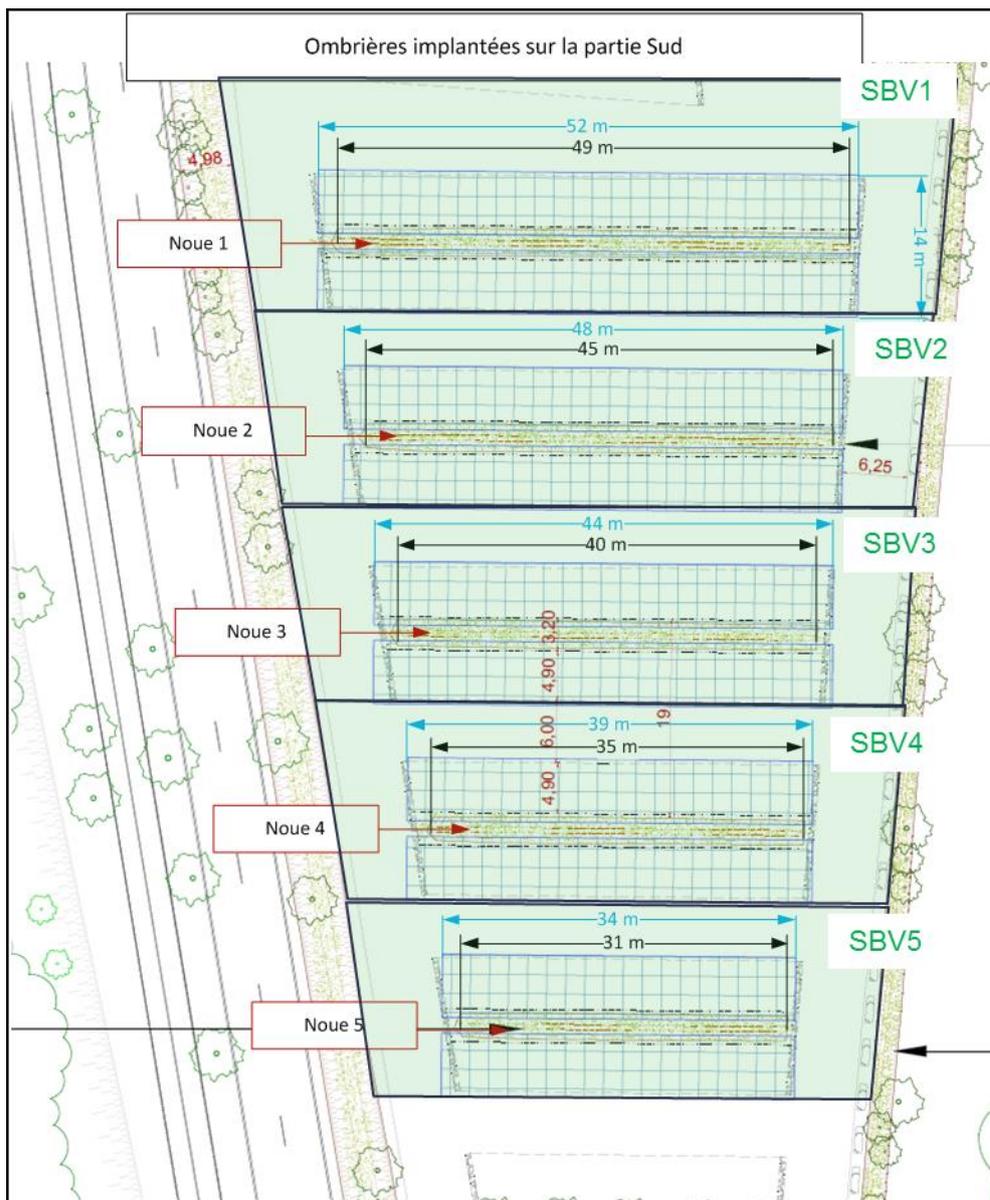


Figure 3 : Sous-bassins versants sur le site

Le tableau ci-dessous indique les caractéristiques géométriques de ces bassins versants à l'état initial et projet (sans aménagements). A l'état initial toute la surface est constituée de revêtement gravillonné. A l'état projet, la surface des panneaux photovoltaïques est soustraite à celle du revêtement. Les panneaux substituent le ruissellement de la surface qu'ils recouvrent.

Tableau 2 : Caractéristiques géométriques des sous-bassins versants

BV	Surface (m ²)	Pente (%)	Surface Gravillonnée	Surface panneaux photovoltaïques
SBV1	1 172	4	444	728
SBV2	903	4	231	672

SBV3	833	4	217	616
SBV4	729	4	183	546
SBV5	660	4	184	476

Les pentes sont en moyenne faibles (<7%) et les vitesses d'écoulement moyennes sont peu importantes, ce paramètre influe sur le coefficient de ruissellement (CR) des types de surfaces. Par exemple, pour une surface gravillonnée, plus la pente est forte, plus le CR est fort. La pente est aussi un facteur pour le calcul du temps de concentration (TC) d'un bassin versant. Vu la surface faible et la réponse rapide des sous-bassins versant du site d'étude, le TC n'est pas pris en compte.

3.2.1 Pluviométrie

Les données pluviométriques disponibles pour la zone d'étude sont issues :

- ▷ De la station météorologique Météo France la plus proche : Avignon (84) ;

Le tableau ci-dessous présente les données pluviométriques pour des périodes de retour 5 ans et 100 ans de la station d'Avignon et ce pour les deux 2 tranches de durée de pluie : [6mn-1h] et [1h-6h].

Tableau 3 : Coefficient de Montana de la Station d'Avignon (84)

Coefficients de Montana pour des pluies de durée de 6 minutes à 1 heure

Durée de retour	a	b
5 ans	258	0.446
10 ans	297	0.446
20 ans	329	0.44
30 ans	350	0.439
50 ans	373	0.434
100 ans	403	0.428

Coefficients de Montana pour des pluies de durée de 1 heure à 6 heures

Durée de retour	a	b
5 ans	675	0.701
10 ans	689	0.675
20 ans	689	0.647
30 ans	678	0.628
50 ans	661	0.605
100 ans	625	0.57

Source : météoFrance ; échantillon de données entre 1998 et 2009

3.2.2 Calcul des coefficients de ruissellement et des débits de pointe en état initial

En plus des caractéristiques des différents bassins versants indiqués précédemment, il est nécessaire de définir les coefficients de ruissellement.

Etant donné la configuration actuelle de la zone, le calcul des coefficients de ruissellement se fait selon l'hypothèse suivante :

- ▶ Les panneaux ruissellent à 100% pour toutes les pluies.

Tableau 4 : Coefficients de ruissellement

T =	2 ans	5 ans	10 ans	30 ans	100 ans
Revêtement gravillonnée	0.7	0.71	0.72	0.75	0.8
Panneaux Photovoltaïques	1	1	1	1	1

Le tableau ci-dessous présente les coefficients de ruisselllements des différents bassins versants ainsi obtenus par pondération en fonction de l'occupation du sol.

Tableau 5 : Coefficients de ruissellement calculés – état initial

SBV			Couverture du sol état initial		Coeff de ruissellement initial			
BV	Surface (ha)	Pente (%)	Revêtement gravillonnée	Panneaux Photovoltaïques	Q5	Q10	Q30	Q100
SBV1	0.117	4%	100%	0%	0.71	0.72	0.75	0.80
SBV2	0.090	4%	100%	0%	0.71	0.72	0.75	0.80
SBV3	0.083	4%	100%	0%	0.71	0.72	0.75	0.80
SBV4	0.073	4%	100%	0%	0.71	0.72	0.75	0.80
SBV5	0.066	4%	100%	0%	0.71	0.72	0.75	0.80

A partir de ces caractéristiques et de la formule rationnelle, les débits en sortie des différents bassins versants à l'état initial sont définis.

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

avec :

Q = débit en l/s

C = coefficient de ruissellement

A = surface en m²

I = intensité de la pluie, correspondant à une pluie de 2 h (comme le préconise la DDTM 11) calculée à partir des coefficients de Montana.

Tableau 6 : Débit à l'état initial

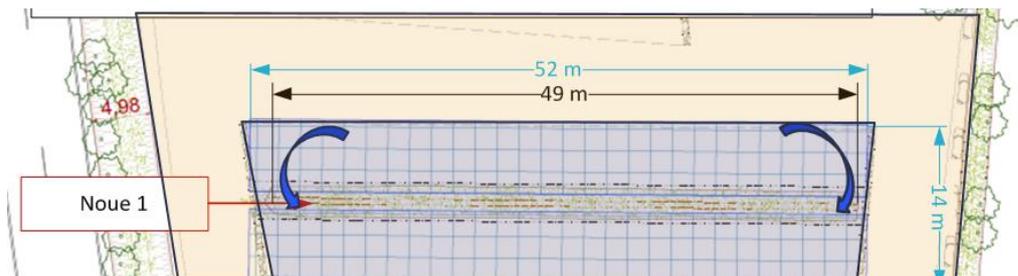
			Débit initial (l/s)			
BV	Surface (ha)	Pente (%)	Q5	Q10	Q30	Q100
SBV1	0.1	4%	21	23	26	33
SBV2	0.1	4%	16	18	20	25
SBV3	0.1	4%	15	17	19	23
SBV4	0.1	4%	13	15	16	20
SBV5	0.1	4%	12	13	15	19

3.3 Calcul des coefficients de ruissellement et des débits de pointe en état aménagé

En état aménagé, la création des panneaux photovoltaïques a un effet de ruissellement immédiatement vers la parcelle. Il est admis que la surface du revêtement que les panneaux recouvrent n'est pas incluse dans la surface de ruissellement totale.

Les aménagements qui impactent la perméabilité et l'écoulement sont :

- Des noues de stockage : totalement perméables, jouent le rôle de stockage des eaux de ruissellement jusqu'à la pluie centennale ;



Ci-dessous les caractéristiques des bassins versants à l'état aménagé.

Tableau 7 : Coefficients de ruissellement calculés – état projet

SBV			Couverture du sol état projet		Coeff de ruissellement projet			
BV	Surface (ha)	Pente (%)	Revêtement gravillonnée	Panneaux Photovoltaïques	Q5	Q10	Q30	Q100
SBV1	0.117	4%	38%	62%	0.89	0.89	0.91	0.92
SBV2	0.090	4%	26%	74%	0.93	0.93	0.94	0.95
SBV3	0.083	4%	26%	74%	0.92	0.93	0.93	0.95
SBV4	0.073	4%	25%	75%	0.93	0.93	0.94	0.95
SBV5	0.066	4%	28%	72%	0.92	0.92	0.93	0.94

Les débits en aval des bassins versants à l'état aménagé sont les suivants :

Tableau 8 : Débit à l'état projet

BV	Surface (ha)	Pente (%)	Débit exploitation (l/s)			
			Q5	Q10	Q30	Q100
SBV1	0.1	4%	86	96	103	121
SBV2	0.1	4%	69	77	82	96
SBV3	0.1	4%	64	71	76	88
SBV4	0.1	4%	56	62	66	78
SBV5	0.1	4%	50	56	60	70

3.3.1 Calcul des volumes de stockages et dimensionnement des noues

Les données d'entrées et hypothèses prise pour le dimensionnement des noues sont les suivantes :

- Les volumes de stockage et les débits de fuites à respectés sont basés sur les préconisations de la Mise 84 et du PLU ;
- PLU : 100 m3 de rétention pour 1 ha imperméabilisé ;
- Mise 84 : application de la méthode des pluies pour une période de retour décennal ;

- Comparaison entre le volume de stockage calculé à partir de la méthode des pluies et le ratio de mise en termes fixé par le PLU d'Avignon.
 - ▷ Le PLU indique 100 m³ de rétention pour 1 ha imperméabilisé ;
 - ▷ Le volume le plus élevé des deux est pris en compte.
- Débits d'infiltration : calculé à partir de la perméabilité du sol et de la surface d'infiltration de chaque noue.
- $Q_{infiltration} = Surface\ noues\ (m^2) * k\ (m/s)$

Le débit d'infiltration est intégré à la méthode des pluies pour le calcul du volume de stockage nécessaire à la rétention.

Pour le calcul de la perméabilité, seul des coupes géotechniques ont été réalisées sur le site.

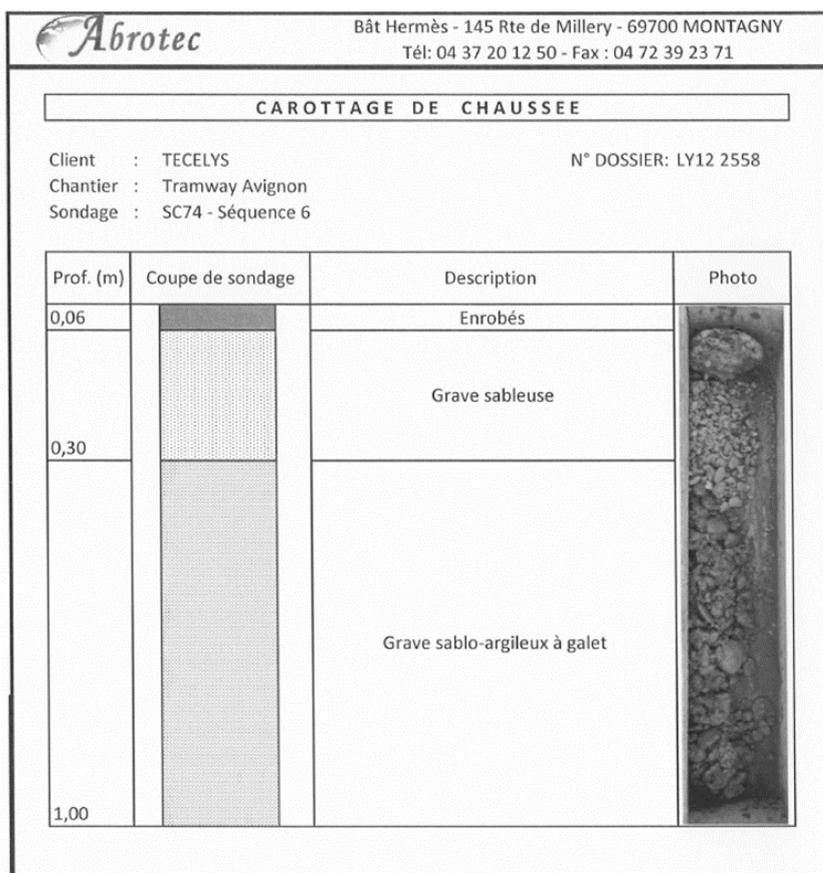


Figure 4: Coupe géotechnique du site

La perméabilité est donc estimée par la nature du sol et à partir d'un abaque :

Tableau B.1
Ordres de grandeur de la conductivité hydraulique dans différents sols (d'après Musy et Soutter (1991), cité dans Barraud (2006)).

K (m/s)	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Types de sols	Gravier sans sable ni éléments fins		Sable avec gravier, Sable grossier à sable fin		Sable très fin Limon grossier à limon argileux			Argile limoneuse à argile homogène			
Possibilités d'infiltration	Excellentes		Bonnes		Moyennes à faibles			Faibles à nulles			

Tableau B.2
Taux d'infiltration typiques (adapté de Ferguson, 1994).

Type de sol	Conductivité hydraulique saturée		Taux d'infiltration pour conception (facteur de sécurité de 0,5)	
	(mm/h)	(m/s)	(mm/h)	(m/s)
Sable	210	5,83 x 10 ⁻⁵	105	2,92 x 10 ⁻⁵
Sable limoneux	61	1,69 x 10 ⁻⁵	30,5	8,45 x 10 ⁻⁶
Limon sablonneux	26	7,22 x 10 ⁻⁶	13	3,61 x 10 ⁻⁶
Limon	13	3,61 x 10 ⁻⁶	6,5	1,81 x 10 ⁻⁶
Limon silteux	6,8	1,89 x 10 ⁻⁶	3,4	9,45 x 10 ⁻⁷
Limon argilo-sablonneux	4,3	1,19 x 10 ⁻⁶	2,2	5,95 x 10 ⁻⁷
Limon argileux	2,3	6,39 x 10 ⁻⁷	1,2	3,20 x 10 ⁻⁷
Limon argilo-silteux	1,5	4,17 x 10 ⁻⁷	0,75	2,09 x 10 ⁻⁷
Argile sablonneuse	1,2	3,33 x 10 ⁻⁷	0,6	1,67 x 10 ⁻⁷
Argile silteuse	0,9	2,50 x 10 ⁻⁷	0,45	1,25 x 10 ⁻⁷
Argile	0,6	1,67 x 10 ⁻⁷	0,3	8,35 x 10 ⁻⁸

Figure 5: Abaques - taux d'infiltrations

- ▶ Perméabilité : le type de sol est de la grave sablo-argileux. La valeur **estimée et conservative** de **k=5*10⁻⁵ m/s** est retenu sur tous les bassins versants.

Ci-dessous, les résultats des volumes de stockage à mettre en œuvre et des débits d'infiltration de chaque sous-bassin versant. (Cf. Annexe 2 pour les fiches de calculs des volumes issus de la méthode des pluies).

Tableau 9: Volumes de stockage et débits de fuite pour dimensionnement des ouvrages

BV	Volumes de stockage (m3)		Débit de fuite maximal (l/s) si non dimensionné		Q infiltration (l/s)
	Méthode des ratio	Méthode des pluies	Surface projetée	Perméabilité	
SBV1	72.8	21.0	173.5	5.00E-05	8.7
SBV2	67.2	16.0	159.3	5.00E-05	8.0
SBV3	61.6	15.0	141.6	5.00E-05	7.1
SBV4	54.6	13.0	123.9	5.00E-05	6.2
SBV5	47.6	12.0	109.7	5.00E-05	5.5

3.3.2 Dimensionnement des noues paysagères

Suite au calcul des volumes de stockages à mettre en œuvre et des débits de fuite à ne pas dépasser ; sur chacun des sous-bassins versants les ouvrages de stockage sont dimensionnés.

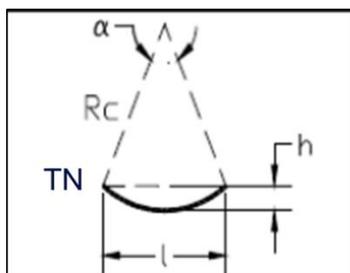
Pour l'ensemble des noues, la hauteur des noues est fixée à 75 cm et la largeur à 3 m

Dimensions

Tableau 10 : Dimensions des noues paysagères

	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur noue (m)	Volume noue finale (m3)	Volume min (PLU)
SBV1	49	3	0.75	77.1	72.8
SBV2	45	3	0.75	70.8	67.2
SBV3	40	3	0.75	62.9	61.6
SBV4	35	3	0.75	55.0	54.6
SBV5	31	3	0.75	48.7	47.6

La section est la même pour toutes les noues du secteur Sud. Ci-dessous la coupe transversale des noues :



Pollution

Aucun système de dépollution n'est à prévoir car les aménagements prévus ne sont pas de type routier.

4 CONCLUSION

- Les eaux de ruissellement des secteurs Nord et Centre n'ont pas d'impact sur le secteur Sud. Les noues de stockage, avec système d'acheminement vers le bassin de rétention, sont bien dimensionnées pour une pluie de période de retour 10 ans ;
- Les noues du secteur sud sont dimensionnées avec une **hauteur de 75 cm** pour une pluie de période de retour **10 ans** ;
- La pose d'une **couche de terre végétale sablonneuse est possible (à condition que sa perméabilité soit supérieur à 10^{-4} m/s)**. Les racines rampantes des végétaux ont l'avantage de réduire l'érosion du sol.

ANNEXE 1 : ETUDE HYDRAULIQUE

Calcul du volume de rétention pour limitation du débit Méthode des pluies (ITN 77/284)									
Caractéristiques du bassin versant									
Référence du bassin versant étudié				Surface totale du bassin versant					
SBV1				1 172 m ²					
Détail des surfaces du bassin versant								Coefficients de ruissellement T=10 ans	
Revêtement gravillonnée	=	38%	445	m ²			0.72		
Panneaux photovoltaïques	=	62%	727	m ²			1.00		
	=	0%	0	m ²			1.00		
	=	0.00%	0	m ²			0.95		
Coefficient d'apport Ca				Débit d'infiltration Qf					
0.894				0.00867 m ³ /s					
Station				Période de retour					
Avignon 1h - 6h				10 ns					
Coefficients a et b (en intensité)									
a	=	689.000	b	=	0.675				
Volume maximum de stockage du bassin versant									
T = (a x 10 ⁻³ x Sa x (1-b)) / Qf ^{1/b}				V = a x Sa x T ^{1-b} - Qf x T					
T =	20	mn	V =	21	m ³				

Calcul du volume de rétention pour limitation du débit Méthode des pluies (ITN 77/284)									
Caractéristiques du bassin versant									
Référence du bassin versant étudié				Surface totale du bassin versant					
SBV2				903 m ²					
Détail des surfaces du bassin versant								Coefficients de ruissellement T=10 ans	
Revêtement gravillonnée	=	38%	230	m ²			0.72		
Espace vert, couverture argileuse	=	62%	672	m ²			1.00		
	=	0%	0	m ²			1.00		
	=	0.00%	0	m ²			0.95		
Coefficient d'apport Ca				Débit d'infiltration Qf					
0.928				0.00800 m ³ /s					
Station				Période de retour					
Avignon 1h - 6h				10 ns					
Coefficients a et b (en intensité)									
a	=	689.000	b	=	0.675				
Volume maximum de stockage du bassin versant									
T = (a x 10 ⁻³ x Sa x (1-b)) / Qf ^{1/b}				V = a x Sa x T ^{1-b} - Qf x T					
T =	16	mn	V =	16	m ³				

Calcul du volume de rétention pour limitation du débit Méthode des pluies (ITN 77/284)									
Caractéristiques du bassin versant									
Référence du bassin versant étudié				Surface totale du bassin versant					
SBV3				833 m ²					
Détail des surfaces du bassin versant								Coefficients de ruissellement T=10 ans	
Revêtement gravillonnée	=	38%	217	m ²			0.72		
Espace vert, couverture argileuse	=	62%	616	m ²			1.00		
	=	0%	0	m ²			1.00		
	=	0.00%	0	m ²			0.95		
Coefficient d'apport Ca				Débit d'infiltration Qf					
0.927				0.00705 m ³ /s					
Station				Période de retour					
Avignon 1h - 6h				10 ns					
Coefficients a et b (en intensité)									
a	=	689.000	b	=	0.675				
Volume maximum de stockage du bassin versant									
$T = (a \times 10^{-3} \times Sa \times (1-b)) / Qf^{1/b}$				$V = a \times Sa \times T^{1-b} - Qf \times T$					
T =	17	mn					V =		15 m ³

Calcul du volume de rétention pour limitation du débit Méthode des pluies (ITN 77/284)									
Caractéristiques du bassin versant									
Référence du bassin versant étudié				Surface totale du bassin versant					
SBV1				729 m ²					
Détail des surfaces du bassin versant								Coefficients de ruissellement T=10 ans	
Revêtement gravillonnée	=	38%	183	m ²			0.72		
Espace vert, couverture argileuse	=	62%	546	m ²			1.00		
	=	0%	0	m ²			1.00		
	=	0.00%	0	m ²			0.95		
Coefficient d'apport Ca				Débit d'infiltration Qf					
0.929				0.00620 m ³ /s					
Station				Période de retour					
Avignon 1h - 6h				10 ns					
Coefficients a et b (en intensité)									
a	=	689.000	b	=	0.675				
Volume maximum de stockage du bassin versant									
$T = (a \times 10^{-3} \times Sa \times (1-b)) / Qf^{1/b}$				$V = a \times Sa \times T^{1-b} - Qf \times T$					
T =	17	mn					V =		13 m ³

Calcul du volume de rétention pour limitation du débit Méthode des pluies (ITN 77/284)									
Caractéristiques du bassin versant									
Référence du bassin versant étudié				Surface totale du bassin versant					
SBV1				660 m ²					
Détail des surfaces du bassin versant								Coefficients de ruissellement T=10 ans	
Revêtement gravillonnée	=	38%	183	m ²			0.72		
Espace vert, couverture argileuse	=	62%	476	m ²			1.00		
	=	0%	0	m ²			1.00		
	=	0.00%	0	m ²			0.95		
Coefficient d'apport Ca				Débit d'infiltration Qf					
0.921				0.00550 m ³ /s					
Station				Période de retour					
Avignon 1h - 6h				10 ns					
Coefficients a et b (en intensité)									
a	=	689.000	b	=	0.675				
Volume maximum de stockage du bassin versant									
$T = (a \times 10^{-3} \times Sa \times (1-b)) / Qf^{1/b}$				$V = a \times Sa \times T^{1-b} - Qf \times T$					
T =	17	mn					V =		12 m ³