

**ANNEXE 1 : ETUDE HYDRAULIQUE POUR LE DIMENSIONNEMENT
DE RETENUES D'EAU POUR L'ARROSAGE DU GOLF
DEPARTEMENTAL, SCE, NOVEMBRE 2016**



ETUDE HYDRAULIQUE

Etude hydraulique pour le dimensionnement de retenues d'eau pour l'irrigation du Golf Départemental

Maîtrise d'œuvre pour la remise à niveau technique des installations du Golf Départemental : lot N°5

Collectivité Territoriale de Martinique

Novembre 2016

CLIENT

RAISON SOCIALE	Collectivité Territoriale de Martinique
COORDONNÉES	Rue Gaston Defferre CS 30137 97 201 Fort-de-France Tel: 05.96.59.63.00 . Fax: 05.96.72.68.10
INTERLOCUTEUR	Gérard LOUISON

SCE

COORDONNÉES	Agence Antilles-Guyane Quartier Lareinty 97 232 Le Lamentin Tel : 05.96.42.10.28 - Fax. 05.96.63.69.07
INTERLOCUTEUR	Carole CHAUVIRE Chef de projet . SCE Agence Antilles-Guyane Tél. 06.96.28.71.51 E-mail : carole.chauvire@sce.fr

RAPPORT

TITRE	Etude hydraulique pour le dimensionnement de retenues d'eau pour l'arrosage du Golf Départemental
NOMBRE DE PAGES	34
NOMBRE D'ANNEXES	1
OFFRE DE REFERENCE	
N° COMMANDE	

SIGNATAIRE

REFERENCE	DATE	REVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA REVISION	REDACTEUR	CONTROLE QUALITE
160603	25/11/2016	Edition 2		ECS	LTI

SOMMAIRE

Introduction	4
1. Bilan besoin-ressources	5
1.1. Données utilisées	5
1.2. Méthodologie commune à l'estimation des volumes infiltrés et des volumes de ruissellement	7
1.3. Estimation des besoins	10
1.4. Estimation des ressources	12
1.4.1. Ressources souterraines	12
1.4.2. Alimentation de retenues d'eau par la pluviométrie	14
1.4.3. Estimation des ressources en eau superficielle : rivière de la Pagerie	17
1.5. Bilan	21
1.5.1. Bilan sans prélèvements	21
1.5.2. Bilan avec prélèvements	22
1.6. Préconisations	25
1.6.1. En phase travaux	25
1.6.2. En phase d'exploitation	26
2. Dimensionnement des ouvrages	30
2.1. Ouvrages de surverse	30
2.2. Ouvrages de vidange	31
Conclusion	32
Index	33

Introduction

Pour son arrosage, le golf dispose actuellement d'une réserve d'un volume maximal de 10 200 m³ qui a été créée lors de la construction du golf au départ du trou n°5, lieu où est située la station de pompage. D'après l'étude diagnostic technique des installations d'arrosage (Safege, 2015), en période sèche, l'étang se vide presque intégralement. De plus, la station de pompage reconstruite en 1991 et dont les équipements ont été remplacés en 2014, n'est plus utilisée.

Une réserve complémentaire de 4 600 m³, créée à la même époque et située en bordure du trou n°4, doit être supprimée pour des raisons administratives, liées à son ouvrage de fermeture détruit et dont la reconstruction comporterait des contraintes trop importantes.

Ainsi, la Collectivité Territoriale de la Martinique souhaite profiter de la réhabilitation du golf pour créer au cœur du parcours une ou plusieurs réserves d'eau à même de compenser le volume perdu de la réserve complémentaire, et d'augmenter le volume disponible.

Le volume total des réserves, intégrées à l'environnement, tendra à se rapprocher des besoins estimés. Ces besoins, pour répondre à une sécheresse totale d'un mois, tout en arrosant intégralement le parcours, sont estimés à 40 000 m³ environ.

Les nouvelles réserves auront pour but de ramener l'eau au bassin de pompage.



Figure 1 : Localisation des bassins existants

1. Bilan besoin-ressources

1.1. Données utilisées

Pour l'estimation des besoins comme pour l'estimation des ressources issues de la pluviométrie, les données climatiques suivantes ont été utilisées :

- Données pluviométriques quotidiennes de l'ex-Conseil Général de la Martinique, à la station de la Pagerie, de avril 1997 à août 2016. Ces données, dont les valeurs mensuelles sont présentées ci-après, sont incomplètes pour certains mois.
- Données d'évapotranspiration¹ potentielle (ETP) mensuelles de météo France à la station du Lamentin, sur les 10 dernières années.

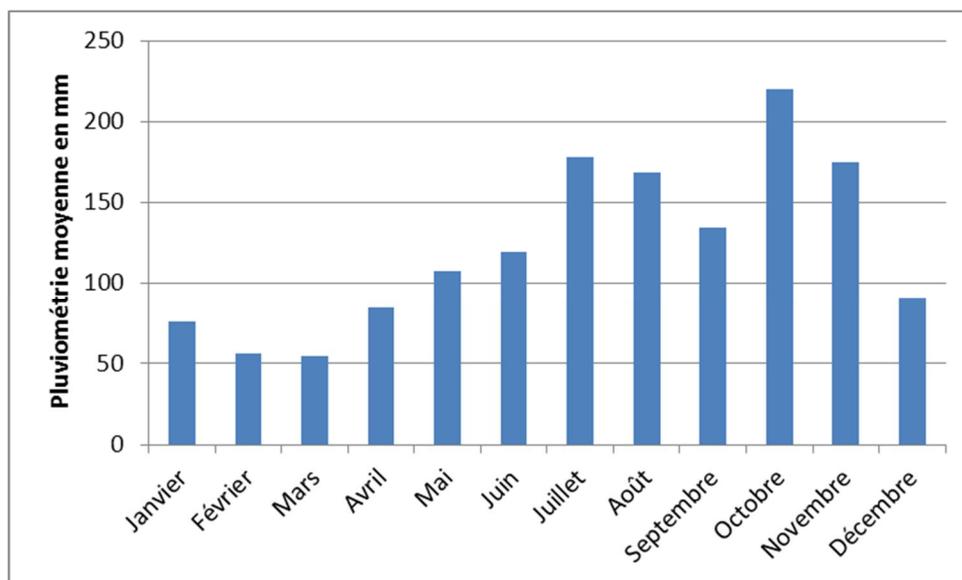


Figure 2 : Pluviométrie mensuelle moyenne à la station de la Pagerie (1997 – 2016)

¹ L'évapotranspiration correspond à la quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes.

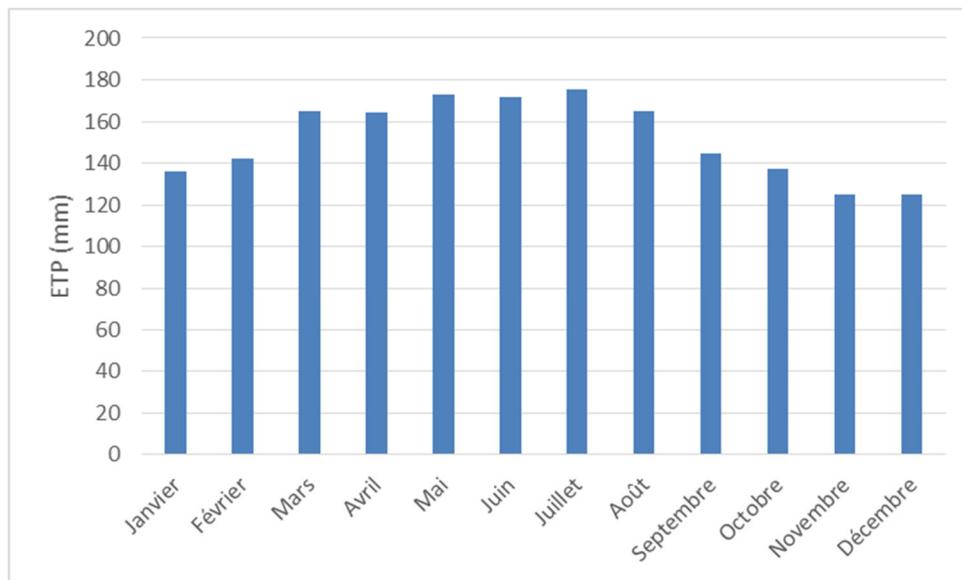


Figure 3 : Evapotranspiration mensuelle moyenne (Lamentin)

1.2. Méthodologie commune à l'estimation des volumes infiltrés et des volumes de ruissellement

La méthodologie du BRGM a été reprise, telle que présentée dans le rapport « Impact du changement climatique sur les ressources en eau de Martinique, Mars 2014 ». Il s'agit d'un modèle hydrologique sur le principe de réservoirs en cascade, appliqué sur des mailles de 1 km², schématisé ci-après. Seul le réservoir H a été considéré ici. En effet, le réservoir G représente la zone aquifère, qui n'est pas étudiée ici (cf paragraphe sur l'évaluation des ressources en eaux souterraines).

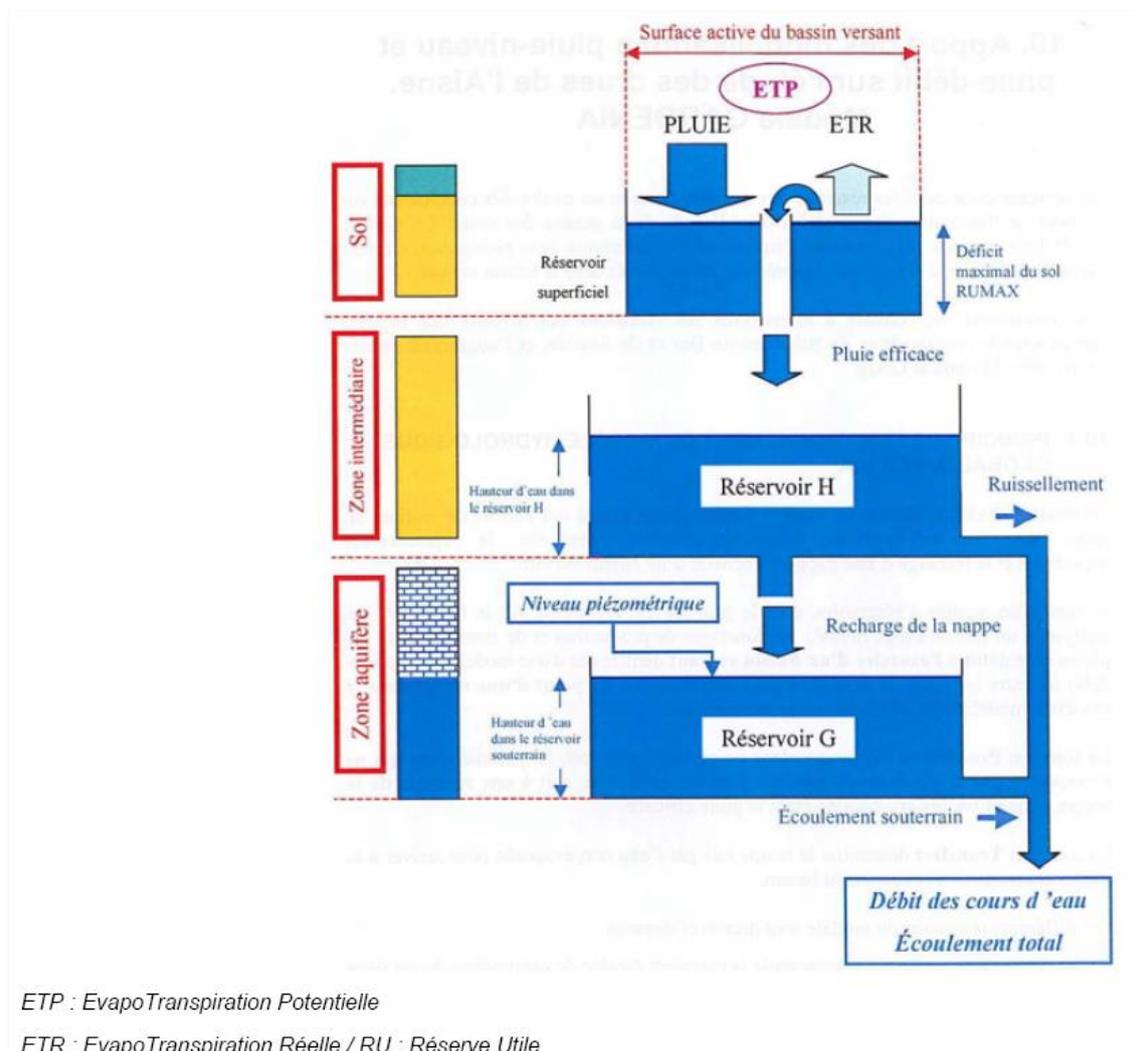


Figure 4 : Modèle hydrologique en réservoirs à cascade (BRGM, 2014)

Le principe, tel que décrit dans le rapport du BRGM « Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique : identification et caractérisations quantitatives, Juin 2007 » est le suivant :

La pluie efficace P_{eff} est la quantité d'eau en mm disponible pour le ruissellement, l'infiltration, et plus modestement la saturation des sols superficiels. Elle dépend de la pluviométrie (en mm), de l'évapotranspiration réelle (ETR, en mm) et du stock d'eau dans le sol (Réserve Utile : RU, en mm).

La pluie efficace et l'ETR ont été estimés par bilan hydrologique du sol, selon le modèle de Thornthwaite :

L'ETR est toujours inférieure ou égale à l'ETP.

A chaque pas de temps de calcul :

si $P > ETP$, il pleut assez pour assurer une évapotranspiration réelle maximale, donc $ETR = ETP$.

si $P < ETP$, l'ETR dépend de la quantité d'eau stockée dans le sol (réserve utile) : si elle est suffisante, $ETR = ETP$, sinon $ETR < ETP$.

Ainsi, à chaque pas de temps, la pluie efficace est au maximum égale à $P - ETR$.

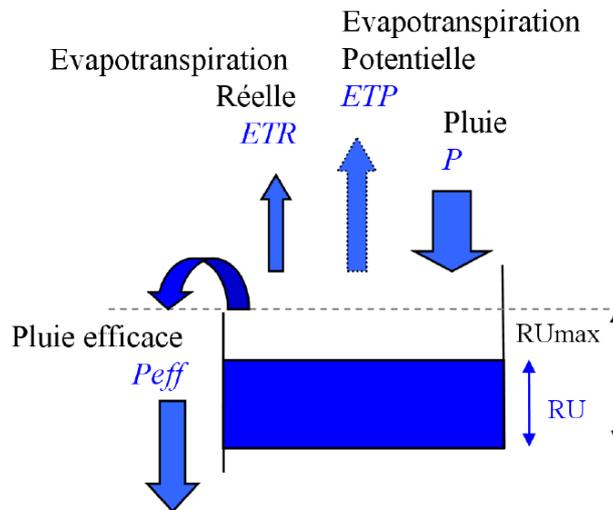


Figure 5 : Principe du calcul de la pluie efficace

L'algorithme qui en découle pour calculer l'ETR et la pluie efficace (P_{eff}) à chaque pas de temps n est le suivant :

$$ETR^n = \min(ETP^n; P^n + RU^n)$$

$$P_{eff}^n = P^n - ETR^n - (RU_{max} - RU^n)$$

$$\text{si } P_{eff}^n \leq 0 \text{ alors } P_{eff}^n = 0$$

$$RU^{n+1} = \min(RU_{max}; P^n + RU^n - ETR^n)$$

Le deuxième réservoir du modèle (« réservoir intermédiaire ») est alimenté par la pluie efficace. Il permet de calculer le ruissellement et l'infiltration. Physiquement, il représente une zone intermédiaire allant du sol à la nappe.

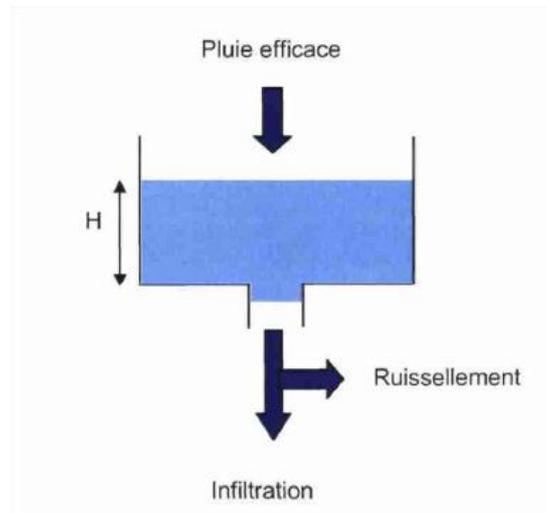


Figure 6 : Principe du « réservoir intermédiaire »

Les équations résolues, pour le calcul de la hauteur d'eau H dans le réservoir sont les suivantes :

$$\frac{dH}{dt} = P_{eff}(t) - \tau_1 \cdot H(t)$$

$$R(t) = \alpha \cdot \tau_1 \cdot H(t)$$

$$I(t) = (1 - \alpha) \cdot \tau_1 \cdot H(t)$$

Avec :

H : la hauteur d'eau dans le réservoir (mm),

P_{eff} : la pluie efficace en mm/j,

R : le ruissellement en mm/j,

I : l'infiltration en mm/j,

α : le coefficient de ruissellement : estimé à 0.3 sur le golf.

τ_1 : la constante de temps du réservoir en j^{-1} , prise ici égale à 1, comme dans l'étude du BRGM.

Ces équations ont été résolues sous Excel, avec un pas de temps journalier. **Elles ont permis de calculer, pour chaque mois où des données pluviométriques étaient disponibles :**

un volume d'eau infiltré par les terrains du golf,

un volume de ruissellement, sur le sol des sous-bassins versants qui alimentent les retenues d'eau.

1.3. Estimation des besoins

L'estimation des besoins a été faite en partant des hypothèses suivantes, issues de retour d'expérience sur les golfs dans la Caraïbe:

Les besoins absolus en eau (c'est-à-dire sans tenir compte de la pluviométrie ni de l'évapotranspiration) sont, par type de surface :

- Sur les fairways : 4 mm / jour,
- Sur les tees : 6 mm / jour,
- Sur les greens : 7 mm / jour.

Ces hypothèses ne tiennent pas compte de la capacité de certaines espèces à supporter une carence en eau sur des périodes plus ou moins longues. L'estimation des besoins est donc sécuritaire et ces besoins pourront être minorés par le service en charge de l'entretien si certaines parties des parcours peuvent supporter ces carences en eau.

Les superficies en m² de chacun de ces types de surface de gazon sont fournies au tableau ci-après.

Tableau 1 : Superficies des surfaces à arroser, par typologie

	surface en m ²
Tee	9 005
Fairway	151 770
Green	8 541
total	169 316

Ces données permettent de calculer, pour un mois donné, le besoin absolu en eau, en m³ par mois. En déduisant de ces valeurs, les volumes d'eau de pluie infiltrés calculés selon la méthodologie présentée au paragraphe précédent, on obtient ainsi les besoins en arrosage en m³ / mois.

Besoin en arrosage = Besoin absolu - volume d'eau infiltré grâce à la pluviométrie, en déduisant l'évapotranspiration et en tenant compte de la saturation en eau des sols.

Ce calcul a été fait sur 10 années pour lesquelles les données pluviométriques étaient disponibles, avec une qualité suffisante, de façon à pouvoir faire une analyse fréquentielle. Les valeurs moyennes sont présentées au tableau et sur la figure ci-après. On peut y constater que, logiquement, les besoins sont plus importants au carême qu'en hivernage, avec un maximum au mois de mars et un minimum au mois d'octobre.

Tableau 2 : Besoins moyens en arrosage

	Volume en m ³
Janvier	19 085
Février	19 394
Mars	21 493
Avril	19 008
Mai	13 415
Juin	15 695
Juillet	14 504
Août	13 775
Septembre	15 112
Octobre	3 018
Novembre	11 114
Décembre	18 257

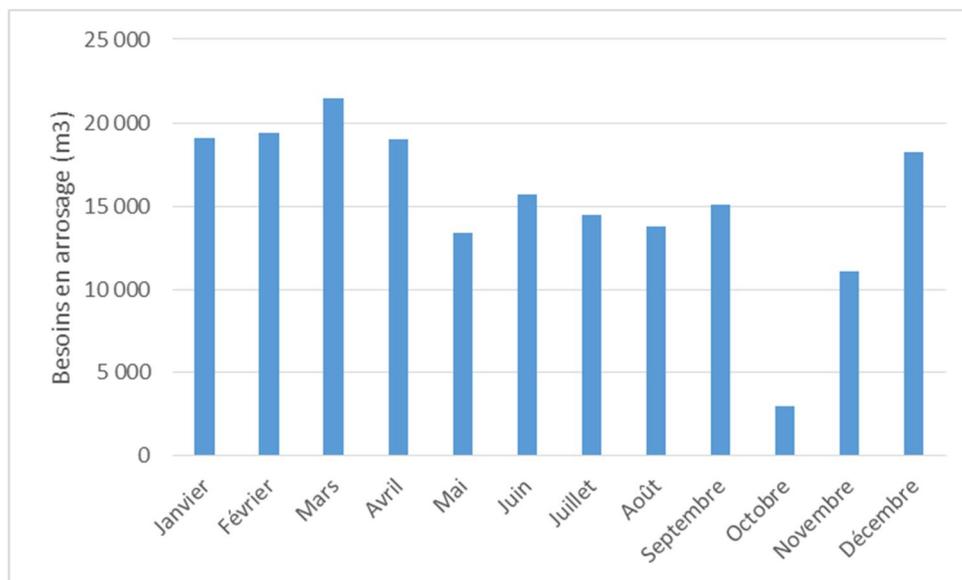
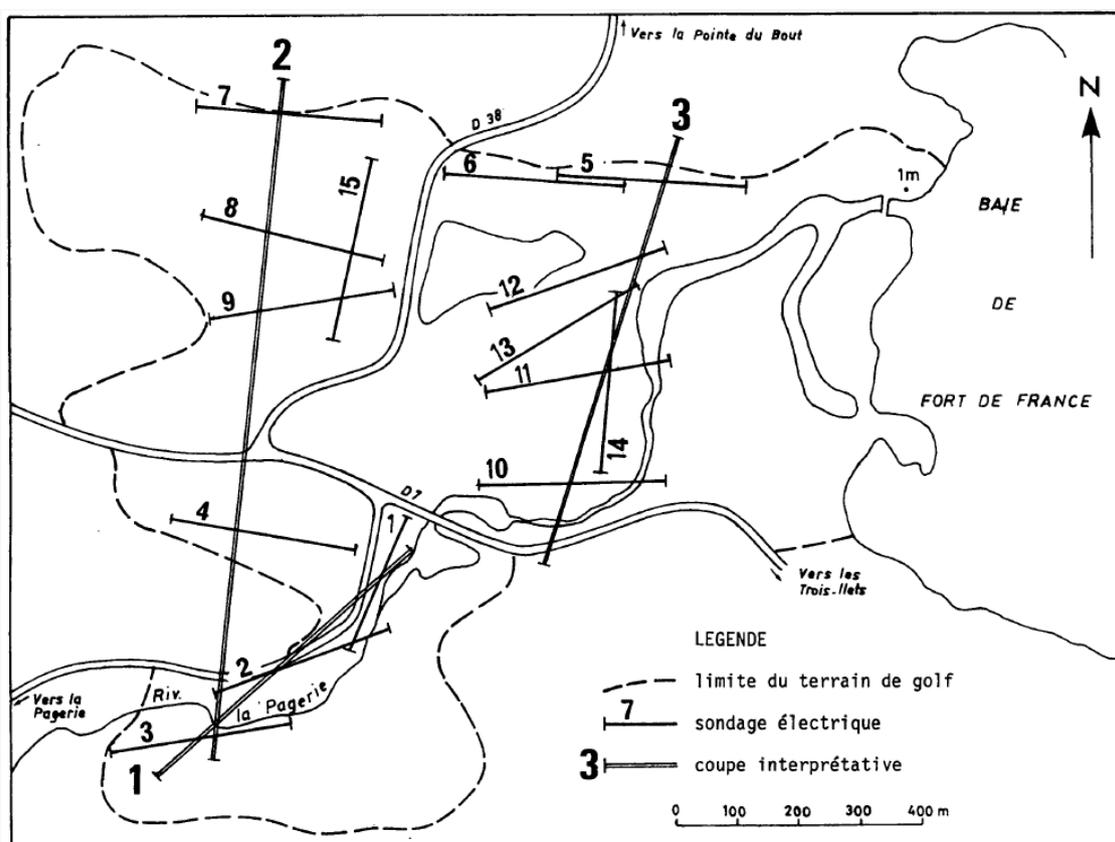


Figure 7 : Besoins moyens en arrosage

1.4. Estimation des ressources

1.4.1. Ressources souterraines

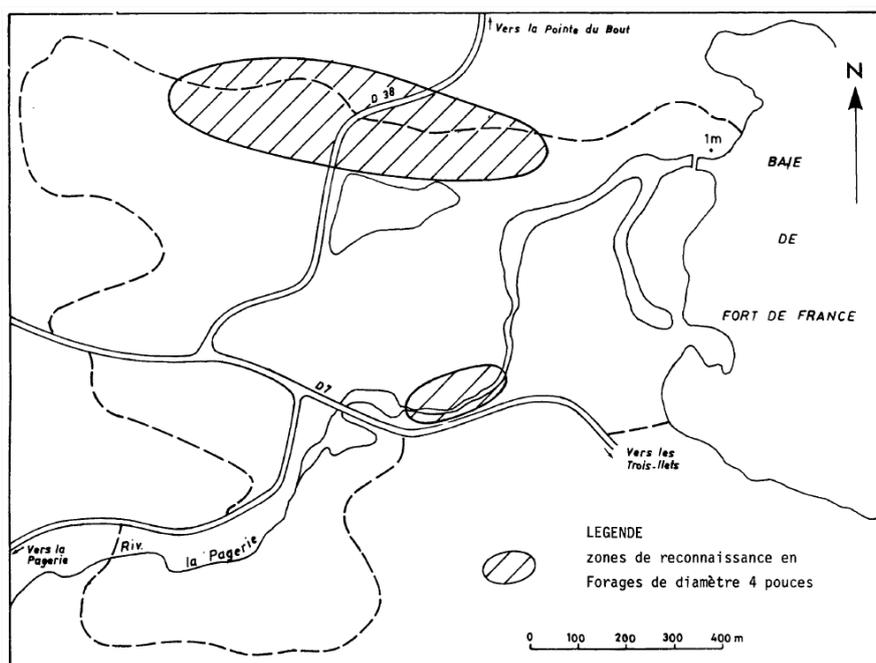
En 1988, le BRGM a effectué pour le Conseil Général, une campagne de recherche d'eau souterraine sur le terrain du Golf, pour l'arrosage. Le rapport d'étude : « prospection géophysique pour la recherche d'eau souterraine au golf des Trois Ilets » (BRGM, 1988) indique que 15 sondages électriques ont été réalisés (localisation en figure ci-après).



L'interprétation des résultats des sondages électriques, fournie par le rapport, est la suivante :

« Le terrain est situé sur une ancienne mangrove et borde la baie de Fort-de-France. Le sous-sol est donc influencé par des venues d'eau salée ou saumâtre. Au centre du terrain, une cuvette topographique et géologique est en certains endroits saturée d'eau salée. Seuls les terrains situés en bordure du golf sont susceptibles de retenir de l'eau non polluée par des venues saumâtres et de recueillir les écoulements souterrains issus des infiltrations d'eau en amont du golf. Deux zones ont été proposées pour l'implantation de forages de reconnaissance (localisées sur la figure ci-après), pour reconnaître la quantité et la qualité de l'eau disponible (essais de 8h). [5] »

Ces reconnaissances n'ont vraisemblablement jamais été faites.



Dans le rapport « cartographie de la potentialité des terrains de la commune des Trois Ilets à renfermer de l'eau souterraine . proposition d'orientations pour la protection des zones potentielles » (BRGM, 1991), le golf est cartographié (cf figure en Annexe 1) comme « formation n'ayant aucune potentialité à renfermer des eaux souterraines exploitables » en raison de leur faible perméabilité liée à :

- La nature lithologique du terrain,
- La présence trop rapprochée de la mer et du caractère limité de l'alimentation en eau douce par la mont.

Enfin, dans le rapport « sélection de 20 sites favorables à la recherche d'eau souterraine dans le centre et le sud de la Martinique » (BRGM, 2010), la rivière de la Pagerie ne fait pas partie des 36 sites présélectionnés.

Ainsi, selon l'état actuel des données bibliographiques, la possibilité d'une alimentation souterraine peut être écartée, jusqu'à ce que des investigations plus poussées aient été réalisées.

1.4.2. Alimentation de retenues d'eau par la pluviométrie

SCE a déterminé, lors d'études préalables pour la réhabilitation du golf, qu'il était envisageable de réaliser 6 nouvelles retenues d'eau, aux emplacements présentés en vert sur la figure ci-après et aux caractéristiques suivantes :

Tableau 3 : Caractéristiques des bassins pouvant servir à l'arrosage

Nom	statut	superficie en m ²	Profondeur moyenne en m	Volume en m ³	
BP1	projet	900	1.6	840	
BP2	projet	1 700	1	1 750	
BP3	projet	2 265	1.1	2 700	
BP4	projet	2 100	2	3 930	
BP5	projet	6 150	1.5	8 900	
BP6	projet	5 000	1.5	4 200	
BEXA	existant	7 017	1.7	13 814	après curage
BFLO	existant	4 266	1.3	3 645	après curage
Volume total				44 590	



Figure 10 : Localisation des bassins pouvant être utilisés pour l'arrosage

Le tang situé à l'ouest du terrain de golf ne peut pas être utilisé pour l'irrigation car l'eau y est saumâtre. Le bassin situé au Nord de la Départementale 7 ne peut pas être utilisé car son ouvrage de fermeture est hors d'usage et il n'est pas prévu de le remplacer.

Pour déterminer les volumes d'eau pouvant alimenter ces retenues d'eau en utilisant uniquement la pluviométrie, la première étape a consisté à délimiter les sous bassins versants de l'apport des retenues. Ces sous bassins versants sont présentés en figure ci-après.

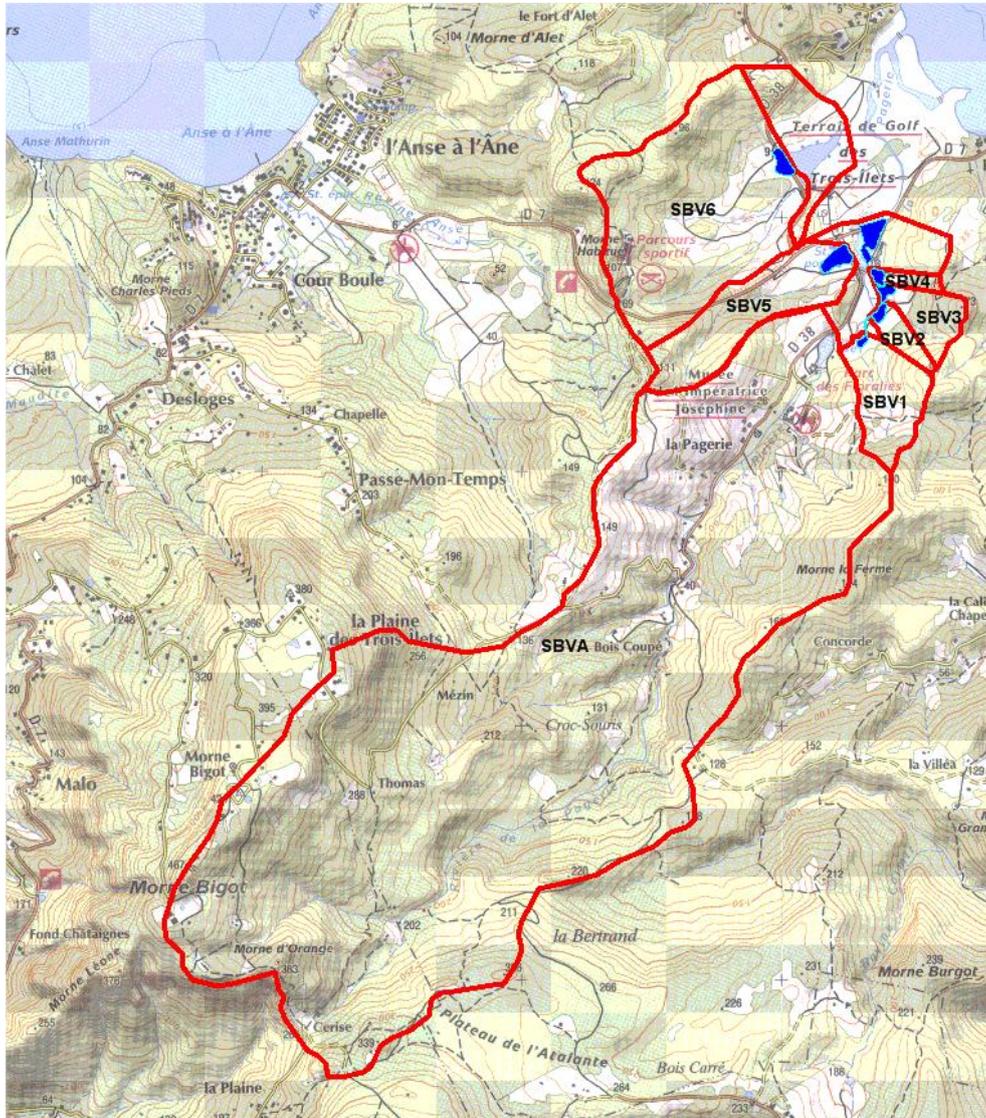


Figure 11 : Délimitation des sous bassins versants d'apport des retenues d'eau

Les superficies de ces sous-bassins sont les suivantes :

Tableau 4 : Superficies des sous bassins d'apport des retenues d'eau

sous bassin versant	Retenue d'eau	superficie en km ²
SBV1	BP1	0.11
SBV2	BP2	0.03
SBV3	BP3	0.05
SBV4	BP4	0.02
SBV5	BP5	0.18
SBV6	BP6	0.53

La méthodologie de détermination des volumes de ruissellement, basée sur un bilan hydrique, a été présentée au paragraphe 1.2 ci-avant. Cette méthode a été appliquée, avec un pas de temps journalier, sur une période de 10 ans . période pour laquelle les données pluviométriques sont disponibles.

Pour estimer les volumes stockables chaque mois dans les bassins, les volumes d'eau évaporés ont été soustraits aux volumes de ruissellement. Ces volumes ont été estimés à partir des données d'évaporation sur bac de classe A à Sainte-Anne, fournies par le rapport de l'IRSTOM : carte des ressources en eau superficielles de la Martinique (1975). Les valeurs pour les bassins s'obtiennent en appliquant aux données du bac, un coefficient correcteur, trouvé dans la littérature à 0.81 (en Floride) :

	Evaporation en mm/j	
	Bac	corrigé
Janvier	5.7	4.6
Février	5.8	4.7
Mars	6.8	5.5
Avril	7.2	5.8
Mai	7	5.7
Juin	6.6	5.3
Juillet	6.8	5.5
Août	6.5	5.3
Septembre	6.1	4.9
Octobre	5.7	4.6
Novembre	5.7	4.6
Décembre	5.3	4.3

Enfin, les volumes d'eau disponibles ainsi calculés ont été bornés par la capacité physique des bassins :

Volume stockable = Volume de ruissellement - Volume évaporé à la surface du plan d'eau, avec : Volume stockable ≤ Capacité du bassin

Les volumes moyens mensuels ainsi calculés pour les bassins BP1, BP2, BP3, BP4, BP5 et BP6 sont présentés au tableau ci-après.

Tableau 5 : Volumes moyens stockables dans les bassins, avec une alimentation uniquement par la pluviométrie (évaporation déduite), en m³

	BP1	BP2	BP3	BP4	BP5	BP6	Total
Janvier	214	104	277	19	1 026	2 100	3 740
Février	174	0	12	0	95	941	1 222
Mars	68	23	62	0	230	502	885
Avril	275	36	128	0	525	1 928	2 892
Mai	279	435	819	202	2 762	2 072	6 569
Juin	278	243	571	69	2 040	2 565	5 766
Juillet	378	297	722	43	2 626	3 683	7 750
Août	402	359	790	111	2 788	3 490	7 941
Septembre	414	217	560	49	2 055	3 895	7 188
Octobre	420	920	1 699	519	5 778	4 083	13 418
Novembre	420	508	1 116	183	3 921	4 058	10 207
Décembre	274	146	366	40	1 335	2 579	4 741

1.4.3. Estimation des ressources en eau superficielle : rivière de la Pagerie

Les calculs qui suivent sont basés sur les données hydrologiques de la station Puyferrat sur la rivière Massel au Marin. Cette station a été définie comme référence par la DEAL, service police de l'eau, pour ce projet. En effet, il n'existe pas de station hydrométrique sur la rivière de la Pagerie, ni sur aucun des cours d'eau de la commune des Trois Ilets.

Le module de la Pagerie est fourni par la DEAL sur son site internet.

Les données de pluie correspondantes à la station du Marin ont été acquises auprès de Météo France

Ainsi, une relation pluie-débit a été déduite de ces deux séries de données. Cette relation a ensuite été transposée à la rivière de la Pagerie, en tenant compte du ratio des superficies des bassins versant : 2.2 km² pour la Massel contre 3.6 km² pour la Pagerie.

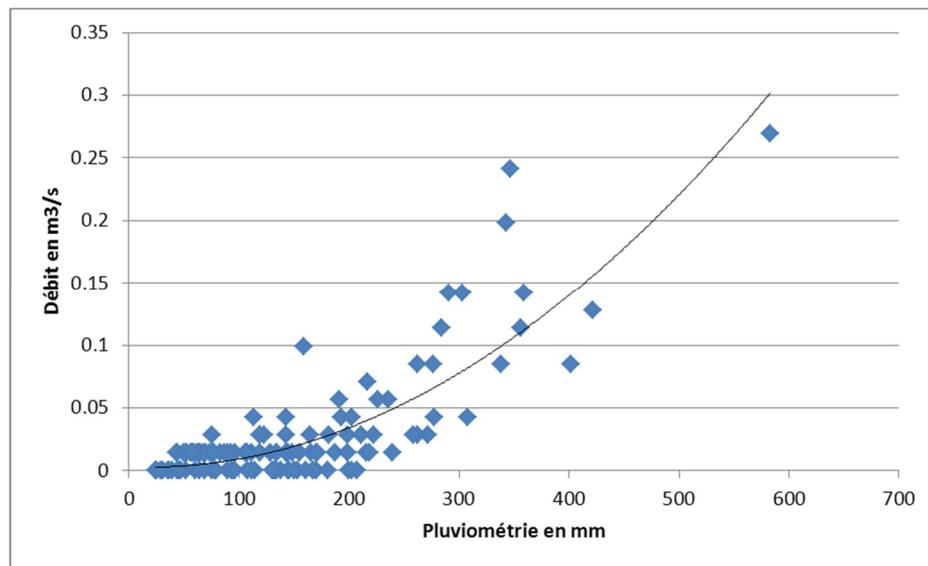


Figure 12 : Données (pluies, débits) de la rivière Massel à Puyferrat

Les données de pluie mensuelles de la station de la Pagerie ont été appliquées à la relation pluies-débits résultante, pour obtenir des valeurs de débit mensuelles sur la période 1997 . 2016, présentées sur la figure ci-après.

Pour en déduire les volumes prélevables il faut tenir compte du débit réservé, qui doit être maintenu pour assurer le bon fonctionnement des écosystèmes. Le SDAGE 2016-2021 fixe le débit réservé à 20% du module du cours d'eau. Le module pour la rivière de la Pagerie est de 38 l/s, ce qui correspond donc à un débit réservé de 8 l/s.

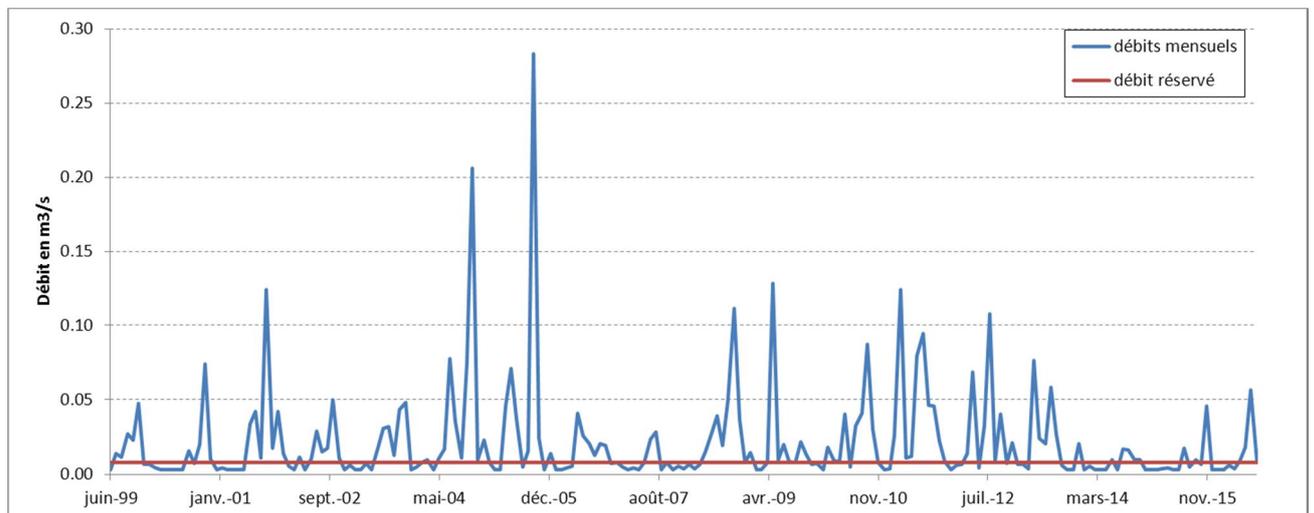


Figure 13 : Débits mensuels et débit réservé estimés pour la rivière de la Pagerie

Le débit réservé a été soustrait aux valeurs de débits mensuels. Le tableau ci-après présente les occurrences de débit mensuel inférieur au débit réservé. Ceci permet d'observer la fréquence à laquelle les débits mensuels sont inférieurs au débit réservé.

COLLECTIVITE TERRITORIALE DE MARTINIQUE
ETUDE HYDRAULIQUE POUR LE DIMENSIONNEMENT DE RETENUES D'EAU POUR
L'ARROSAGE DU GOLF DEPARTEMENTAL

Tableau 6 : Débits mensuels – débit réservé (m³/s)

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Janvier	<0		<0	<0	<0		<0	<0				<0		<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
Février	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0		<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
Mars	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0		<0	<0	<0	<0	<0			<0	<0	<0	<0	<0
Avril	<0	<0	<0	<0	<0		<0	<0	<0	<0	<0	<0						<0	<0	<0
Mai	<0		<0	<0	<0	<0	<0			<0	<0							<0	<0	<0
Juin	<0		<0	<0	<0											<0			<0	
Juillet				<0										<0				<0		
Août		<0							<0										<0	
Septembre		<0		<0							<0						<0			<0
Octobre		<0															<0		<0	<0
Novembre		<0									<0					<0	<0			<0
Décembre	<0	<0	<0			<0	<0		<0	<0	<0		<0					<0	<0	<0

En moyenne 43% du temps, les débits mensuels sont inférieurs au débit réservé. Ce pourcentage a, naturellement, une forte variation saisonnière, comme on peut le constater sur le tableau ci-après. **De décembre à mai les débits ne dépassent pas le débit réservé 69 % du temps. En particulier aux mois de février et mars, les débits réservés ne sont pas assurés plus de 80 % du temps.**

Tableau 7 : Fréquence auxquelles le débit réservé n'est pas atteint

	% de débits mensuels < débit réservé
Janvier	67%
Février	94%
Mars	83%
Avril	68%
Mai	47%
Juin	30%
Juillet	15%
Août	11%
Septembre	17%
Octobre	11%
Novembre	17%
Décembre	56%

En moyenne, les volumes prélevables sont les suivants :

Tableau 8 : Volumes prélevables en moyenne sur la rivière de la Pagerie

	Volume en m ³
Janvier	5 210
Février	0
Mars	4 583
Avril	26 811
Mai	35 526
Juin	28 452
Juillet	67 430
Août	57 280
Septembre	27 929
Octobre	128 274
Novembre	73 724
Décembre	9 997

1.5. Bilan

1.5.1. Bilan sans prélèvements

Sans prélèvements, c'est-à-dire avec une alimentation uniquement par la pluviométrie, les volumes stockables en moyenne dans les bassins sont présentés au tableau ci-après. Ces volumes sont comparés avec les besoins en arrosage, sans prise en compte des volumes restants d'un mois à l'autre.

Tableau 9 : bilans besoins-ressources mensuels moyens, sans prélèvements et sans prise en compte des mois précédents

	Volume stockable en m3	Besoins en arrosage en m3	Bilan
Janvier	4 176	18 761	-14 585
Février	1 224	19 359	-18 135
Mars	863	21 493	-20 630
Avril	3 213	18 720	-15 507
Mai	8 425	13 839	-5 414
Juin	6 640	13 839	-7 199
Juillet	8 615	13 633	-5 018
Août	8 661	13 641	-4 980
Septembre	8 032	14 610	-6 579
Octobre	17 116	6 599	10 517
Novembre	10 947	11 146	-198
Décembre	4 917	18 226	-13 309
Total annuel	82 830	183 866	-101 036
		Déficit total en %:	-55%

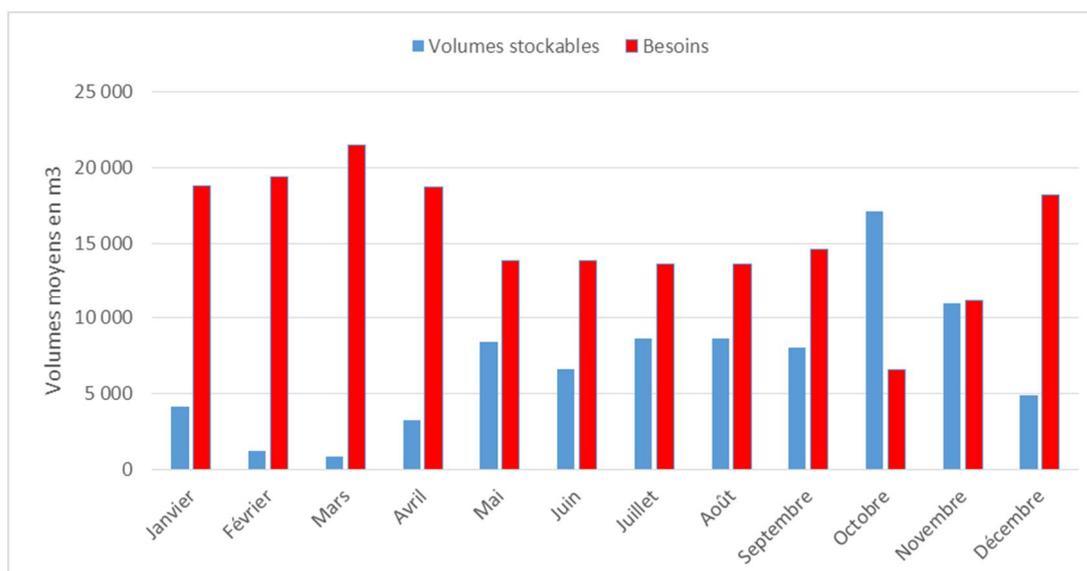


Figure 14 : bilans besoins-ressources mensuels moyens, sans prélèvements et sans prise en compte des mois précédents

On peut constater que **en moyenne les besoins en arrosage ne peuvent pas être comblés par des retenues d'eau alimentées uniquement pas la pluviométrie**, hormis pour le mois d'octobre et sans préjuger des volumes disponibles d'un mois sur l'autre. Malgré ce point d'incertitude, on peut estimer que le déficit cumulé sur l'année est de -55%. Des prélèvements sur la rivière de la Pagerie sont donc nécessaires.

1.5.2. Bilan avec prélèvements

Une simulation a été réalisée pour estimer les volumes à prélever, selon un processus itératif, avec un pas de temps mensuel, sur une période de 10 ans, avec le principe suivant :

A chaque pas de temps t, le besoin en arrosage est comparé au volume disponible grâce à la pluviométrie.

Si le besoin est inférieur au volume disponible, alors il n'y a pas de prélèvements et le volume restant est réutilisé le mois suivant.

Si le besoin est supérieur au volume disponible, alors, si le débit mensuel de la rivière de la Pagerie est supérieur au débit réservé (cf Tableau 6 ci-avant), un prélèvement est réalisé, dans la limite du volume prélevable du mois. Si le débit réservé n'est pas atteint, alors il n'y a pas de prélèvement et il existe un besoin résiduel.

Le volume après arrosage est calculé. Il est nul s'il y a eu un prélèvement ou s'il existe un besoin résiduel.

Au pas de temps t+1, volume avant arrosage (t+1) = volume après arrosage (t) + besoin (t+1) + volume disponible (t+1)

L'algorithme est schématisé sur la figure ci-après :

Cette méthode ne tient pas compte de la capacité de certaines espèces à supporter un déficit hydrique, ce qui aurait pour effet de diminuer les besoins en arrosage. Par ailleurs, les besoins non satisfaits ne sont pas reportés d'une année sur l'autre.

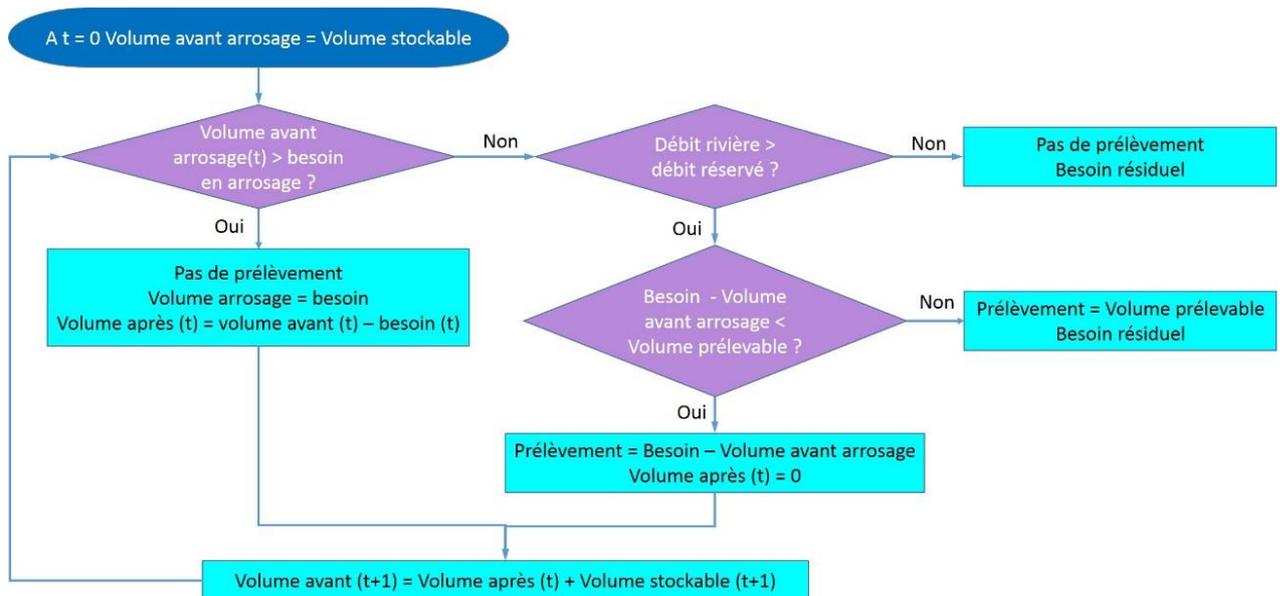


Figure 15 : Principe du calcul pour estimation des volumes à prélever

Pour combler partiellement ou entièrement les besoins résiduels, il a été ajouté à ce principe de base, des volumes de stockage, le ou les mois précédant le déficit. Ces volumes de stockage

ajoutent, le cas échéant, aux prélèvements pour l'arrosage, avec la condition sur le débit réservé (aucun prélèvement si ce débit n'est pas assuré) et avec les plafonds des volumes prélevables sur la rivière et du volume total des bassins.

Le tableau ci-après présente les résultats d'application de cette méthode avec les données sur 10 ans, pour le scénario N°1, c'est-à-dire pour un arrosage de toutes les surfaces du golf toute l'année. Il indique les volumes à prélever pour l'arrosage du mois ou pour faire du stockage en vue de pallier aux manques du ou des mois suivant(s). Les mois où les besoins ne sont pas satisfaits sont surlignés.

Ce tableau montre notamment que :

Aux mois de février, mars et avril les besoins ne sont quasiment jamais satisfaits ;

Au mois de janvier et mai un manque subsiste plus d'une année sur deux.

Ainsi, si on doit arroser toutes les surfaces du golf (green, départs et fairway) toute l'année : les besoins ne peuvent pas être satisfaits au carême, puisque les prélèvements sur la rivière ne sont pas possibles durant cette période.

Tableau 10 : Résultats de simulation sur 10 ans: prélèvements à réaliser (arrosage et stockage), en m³ en tenant compte des débits réservés – Scénario N°1

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2000											0	7 383
2001	0	0	0	0	0	0	0	8 870	8 452	0	0	11 769
2002	17 212	0	0	10 078	0	6 129	10 398	13 132	14 349	14 087	8 100	0
2003	0	0	0	0	0	11 500	8 848	0	12 334	0	4 945	0
2005	31 702	0	0	0	0	0	9 017	0	10 522	0	6 816	0
2006	27 140	0	0	0	0	0	0	6 427	12 725	19 584	26 593	0
2008	0	0	0	0	6 284	7 076	11 197	10 391	0	0	0	0
2009	17 863	0	0	0	0	0	32 606	0	0	24 484	13 905	0
2012	0	0	0	12 226	0	0	7 701	0	0	0	0	36 672
2015	0	0	0	0	0	0	26 155	0	5 221	0	0	0

1.6. Préconisations

1.6.1. En phase travaux

Les travaux de semis du futur gazon du golf vont se effectuer en deux phases qui impliquent des besoins en arrosage différents de la phase d'exploitation. On estime que les besoins en eau permettant de garantir une bonne levée des semis sont supérieurs de 40% à la situation normale :

Phase 1: augmentation des besoins de 40% sur les terrains qui auront fait l'objet de semis (pendant 6 semaines) et pas d'arrosage sur l'autre moitié ;

Phase 2 : besoins normaux sur la première moitié et augmentation des besoins de 40% sur l'autre moitié suite aux semis (pendant 6 semaines).

Des simulations ont été réalisées en faisant varier le mois de l'année où les travaux commencent, de façon à estimer, en moyenne, l'accroissement éventuel des besoins et les volumes supplémentaires à prélever. Les résultats sont fournis pour les phases 1 et 2 dans les tableaux ci-après.

Tableau 11 : Estimation des impacts de la phase 1, en fonction du mois choisi pour le début des travaux

	Impact sur les besoins résiduels par rapport à la phase exploitation	Impact sur les prélèvements annuels par rapport à la phase exploitation
début des travaux en janvier	+ 3 392	-69 050
début des travaux en février	+ 3 730	-74 260
début des travaux en mars	-6 448	-72 388
début des travaux en avril	-16 047	-70 758
début des travaux en mai	-16 047	-71 734
début des travaux en juin	-16 047	-70 249
début des travaux en juillet	-16 047	-70 570
début des travaux en août	-16 047	-68 672
début des travaux en septembre	-16 046	-67 439
début des travaux en octobre	-16 047	-67 860
début des travaux en novembre	-16 047	-52 426
début des travaux en décembre	-2 576	-59 053

Comme on peut le constater sur le tableau ci-avant, les mois de janvier et février sont à éviter car ils engendrent des besoins résiduels supplémentaires (non satisfaits). Il n'y a pas d'impact négatif si les travaux débutent entre mars et décembre. Les impacts positifs les plus importants (diminution des besoins et des volumes à prélever) sont obtenus entre avril et novembre.

Tableau 12 : Estimation des impacts de la phase 2, en fonction du mois choisi pour le début des travaux

	Impact sur les besoins résiduels par rapport à la phase exploitation	Impact sur les prélèvements annuels par rapport à la phase exploitation
début des travaux en janvier	33 199	-27 511
début des travaux en février	24 156	-18 136
début des travaux en mars	4 299	1 872
début des travaux en avril	0	5 128
début des travaux en mai	0	4 152
début des travaux en juin	0	4 131
début des travaux en juillet	0	4 091
début des travaux en août	0	4 189
début des travaux en septembre	0	3 582
début des travaux en octobre	0	2 434
début des travaux en novembre	3 381	11 188
début des travaux en décembre	36 344	-20 504

Comme on peut le constater sur le tableau ci-avant, les mois à éviter pour le début des travaux de la phase 2 sont les mois de janvier, février, novembre et décembre car ils engendrent un accroissement des besoins résiduels c'est-à-dire des besoins qui ne peuvent pas être satisfaits. Si les travaux débutent entre avril et octobre, il n'y a pas d'impact sur les besoins résiduels mais une augmentation des prélèvements à réaliser pour satisfaire les besoins. Le mois d'octobre est celui qui est le plus favorable pour commencer les travaux de phase 2 car c'est le mois où le volume de prélèvement supplémentaire est le plus bas : + 2 434 m³ en moyenne.

Dans le même temps, c'est aussi la période d'hivernage avec des risques élevés de fortes pluies liées à des dépressions tropicales. Or, un épisode pluvieux soutenu en phase de semis entraînerait la perte totale du semis et la nécessité de racheter des semences.

Il n'y a donc pas de période idéale pour l'engazonnement du golf et il sera nécessaire durant ces deux phases, d'envisager des ressources supplémentaires exceptionnelles.

1.6.2. En phase d'exploitation

Deux scénarios ont été testés, en appliquant la méthode décrite au paragraphe précédent (pas de prélèvements les mois où le débit réservé n'est pas respecté c'est-à-dire pas de prélèvements au carême) et **en redéfinissant les besoins de la façon suivante** :

Scénario N°2 :

arrosage des fairways 1 jour sur 2 toute l'année

arrosage des greens et des départs tous les jours de l'année.

Scénario N°3 :

de janvier à mai inclus : arrosage des greens et des départs uniquement,

de juin à décembre : arrosage des greens, départs et fairway,

Les résultats de simulation de ces deux scénarios sont présentés sur les tableaux 11 et 12 ci-après.

Par rapport au scénario 1 (arrosage de toutes les surfaces toute l'année), le scénario 2 permet d'améliorer la situation :

de façon significative en janvier, février et mars, où les besoins résiduels diminuent de façon importante

légèrement en avril, mai et juin.

Ce scénario est viable toute l'année sauf aux mois de avril et mai où des besoins subsistent plus d'une année sur deux, et au mois de mars où les besoins ne sont pas satisfaits une année sur trois.

Le scénario 3 (arrosage uniquement des greens et des départs aux mois de carême) est celui qui permet le mieux de satisfaire les besoins, mais il implique l'absence d'arrosage des fairways pendant une période de 5 mois chaque année.

Tableau 13 : Résultats de simulation sur 10 ans: prélèvements à réaliser (arrosage et stockage), en m³ en tenant compte des débits réservés – scénario N°2 (arrosage des fairways 1 jour sur 2)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2000											0	7 383
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	7 916	0	0	10 078	0	5 254	0	0	0	5 767	8 100	0
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7 103	0
2006	16 036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	13 755	0	0	0	0	0	0	0	0	6 683	13 905	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17 749
2015	0	0	0	0	0	0	16 969	0	5 868	0	0	0

Mois où les besoins ne sont pas satisfaits, soit parce qu'il n'a pas été prévu de prélèvement (débits < débit réservé), soit parce que les besoins sont supérieurs aux capacités de prélèvements

Tableau 14 : Résultats de simulation sur 10 ans: prélèvements à réaliser (arrosage et stockage), en m³ en tenant compte des débits réservés – scénario N°3 (de janvier à mai : arrosage des greens et départs uniquement)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2000											0	7 383
2001	0	0	0	0	0	0	0	8 870	8 452	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	12 052	16 755	8 100	0
2003	0	0	0	0	0	7 443	8 848	0	12 334	0	4 945	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	8 605	0	6 815	0
2006	8 028	0	0	0	0	0	0	6 427	12 725	9 021	7 945	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	5 467	32 720	0	0	37 292	13 905	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28 745
2015	0	0	0	0	0	0	26 155	0	5 221	0	0	0

2. Dimensionnement des ouvrages

2.1. Ouvrages de surverse

Les retenues d'eau ne sont pas conçues pour une fonction de crête des crues, mais uniquement pour le stockage de l'eau pour l'irrigation du golf (on estime que les bassins seront en moyenne remplis à 70% de leur capacité). Les ouvrages de surverse ont été dimensionnés pour une crue centennale, de façon à assurer qu'il n'y ait pas de débordements, minimisant ainsi le risque d'érosion des terrains.

Les débits de crue centennale ont été estimés à l'aide de la méthode rationnelle, sur les sous-bassins versants d'appartenance des retenues d'eau, dont la délimitation est présentée en figure 11 ci-avant.

La largeur des ouvrages a été estimée à l'aide de la formule de Bazin, en régime dénoyé, qui s'écrit :

$$Q_{\text{déversé}} = C_d \times B \times \sqrt{2g} \times h^{3/2}$$

Avec :

$Q_{\text{déversé}}$: débit déversé en m^3/s ,

C_d : coefficient de débit : 0.385 pour les ouvrages à crête épaisse,

B : largeur du seuil en m,

G : accélération de la pesanteur : 9.81 m/s^2 ,

H : hauteur de la lame déversant sur le seuil, en m

La hauteur de la lame déversante ayant été fixée à 0.4 m, les résultats obtenus pour les bassins sont les suivants :

Tableau 15 : Dimensionnement des ouvrages de surverse

	Q100 en m^3/s	B en m
BP1	2.4	5.5
BP2	0.6	1.4
BP3	1.2	2.7
BP4	0.4	0.8
BP5	3.9	8.9
BP6	3.8	8.8

2.2. Ouvrages de vidange

Le dimensionnement des ouvrages de vidange a été fait avec la formule de l'orifice, qui s'écrit :

$$Q = m \times S \times \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

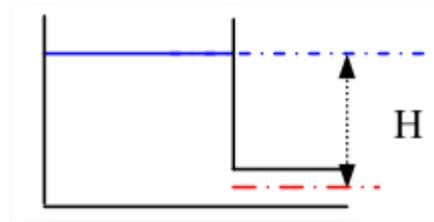
Avec :

m : coefficient dépendant de la forme de l'orifice : 0.62 pour un orifice circulaire,

S : section de l'orifice en m²,

g : accélération de la pesanteur : 9.81 m/s²

H : charge hydraulique en m



Les calculs ont été faits à partir de la contrainte suivante : les débits de vidange des bassins doivent être supérieurs au débit de la station de pompage qui est de 200 m³/heure (0.06 m³/s). Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 16 : Dimensionnement des ouvrages de vidange

	Diamètre de l'ouvrage en m	H en m	Q en m ³ /s
BP1	0.2	0.9	0.08
BP2	0.2	0.9	0.08
BP3	0.2	1	0.09
BP4	0.2	2.05	0.12
BP5	0.2	1.4	0.10
BP6	0.2	0.9	0.08

Les durées de vidange des bassins ont été calculées, en tenant compte du fait que les bassins BP1 à 4 sont liés entre eux par un système de cascade, et que la vidange se fait d'un bassin à l'autre. On obtient au total une durée de :

2 jours et 4h pour la vidange complète des bassins 1 à 4,

25 h pour la vidange du bassin BP5,

15 h pour le bassin BP6.

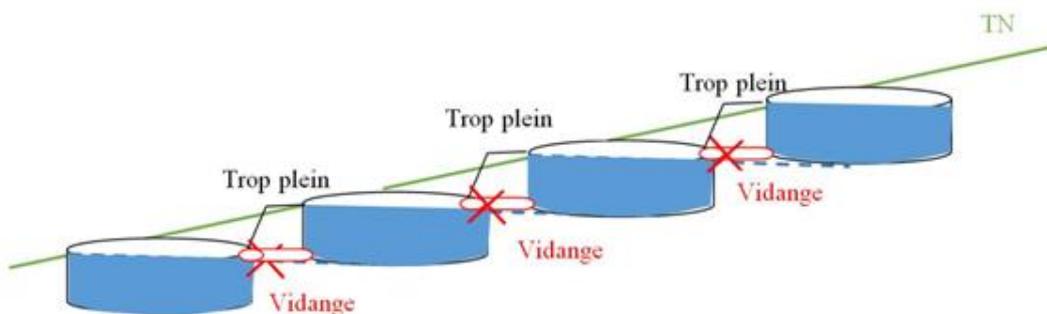


Figure 16 : schéma du système de bassins en cascade

Conclusion

L'arrosage du golf est une problématique qui existe depuis sa création dans les années 1970. Les ressources en eau souterraine étant vraisemblablement saumâtres, elles ne peuvent pas servir de base à l'arrosage du golf. Le bilan besoin-ressource qui a été fait pour cette étude a montré que la seule pluviométrie ne permet pas de remplir des bassins de stockage. Il est nécessaire d'effectuer des prélèvements en complément. Cependant, l'analyse des données disponibles (transposition à partir des données de la rivière Massel au Marin) montre que les débits mensuels estimés pour la rivière Pagerie ne dépassent pas le débit réservé, fixé par le SDAGE 2016-2021 à 20% du module, pendant le carême. Ainsi, la stratégie suivante est préconisée : limiter l'arrosage aux greens et aux départs de décembre à mai inclus et arroser toutes les surfaces le reste de l'année. Cette définition des besoins permet d'obtenir un équilibre 9 années sur 10, en ne faisant aucun prélèvement sur la rivière de la Pagerie durant le carême, et en stockant des réserves durant l'hivernage en prévision des manques dus aux sécheresses à venir.

Le scénario à retenir en phase exploitation sera probablement intermédiaire entre ces deux extrêmes :

- Tout arroser avec de forts déficits pendant 5 mois,
- Privilégier les greens et les tees pendant les mois de carême, pour supprimer ces déficits, mais avec un vrai risque pour les fairways.

Ce scénario intermédiaire devra être trouvé par les futurs gestionnaires, avec les retours d'expérience sur les capacités des différentes surfaces en supporter des limitations pour leur arrosage. Dans tous les cas, et quels que soient ces déficits, le débit réservé dans la Pagerie devra toujours être respecté. Un dispositif sécurisé de restitution de ce débit réservé sera donc installé sur le déversoir.

En phase travaux, la période à privilégier en terme d'arrosage, pour le début des travaux est :

pour la première phase (+ 40% de besoin sur la moitié du terrain et pas d'arrosage sur l'autre moitié) : entre avril et novembre,

pour la deuxième phase (besoins normaux sur la première moitié et +40% sur la deuxième moitié) : entre avril et octobre . le mois le plus favorable étant octobre.

Cependant, la période d'hivernage comporte des risques élevés de fortes pluies liées à des dépressions tropicales pouvant entraîner la perte totale du semis et la nécessité de racheter des semences. Il n'y a donc pas de période idéale pour l'engazonnement du golf et il sera nécessaire durant ces deux phases, d'envisager des ressources supplémentaires exceptionnelles.

Par ailleurs, un dossier réglementaire « loi sur l'eau » devra être constitué, pour les rubriques suivantes de la nomenclature :

- 1.2.1.0 : prélèvements dans un cours d'eau d'une capacité supérieure à 5% du débit d'étiage (QMNA5 : débit non dépassé une année sur cinq)
- 3.2.3.0 : plans d'eau permanents, d'une superficie totale (cumulée) de 2 ha

Le régime qui s'applique est celui de l'autorisation, pour la rubrique 1.2.1.0. En effet le débit d'étiage de la rivière de la Pagerie est pratiquement nul.

INDEX

Figure 1 : Localisation des bassins existants	4
Figure 2 : Pluviométrie mensuelle moyenne à la station de la Pagerie (1997 – 2016)	5
Figure 3 : Evapotranspiration mensuelle moyenne (Lamentin).....	6
Figure 4 : Modèle hydrologique en réservoirs à cascade (BRGM, 2014)	7
Figure 5 : Principe du calcul de la pluie efficace	8
Figure 6 : Principe du « réservoir intermédiaire »	9
Figure 7 : Besoins moyens en arrosage	11
Figure 8 : Localisation des sondages effectués pour la recherche d'eau souterraine par le BRGM en 1988	12
Figure 9 : Zones de reconnaissance pour la recherche d'eau douce souterraine sur le golf (BRGM, 1988)	13
Figure 10 : Localisation des bassins pouvant être utilisés pour l'arrosage	14
Figure 11 : Délimitation des sous bassins versants d'apport des retenues d'eau	15
Figure 12 : Données (pluies, débits) de la Petite Rivière Pilote à Madeleine.....	18
Figure 13 : Débits mensuels et débit réservé estimés pour la rivière de la Pagerie	18
Figure 14 : bilans besoins-ressources mensuels moyens, sans prélèvements et sans prise en compte des mois précédents	21
Figure 15 : Principe du calcul pour estimation des volumes à prélever.....	22