

ANNEXES

1. Etude géotechnique
2. Récépissé des forages
- 3 – Suivi du Layon à St Lambert du Lattay- Banque Hydro
4. Programme de mise en eau et recommandation pour un barrage hors classe
5. Autorisation de création de la réserve par le GFA des Tonneries
6. Décision de l'AE
7. Capacités techniques de l'entreprise de terrassement
8. Attestation de la banque

ANNEXE 1

Maître d'Ouvrage :
SCA ROUGE GORGE DU THOUET
Taizé
79 100 THOUARS

ÉTUDE DE FAISABILITÉ GÉOTECHNIQUE
Projet de création d'une retenue d'eau destinée à l'irrigation

Lieu-dit "Les Tonneries"
Commune de LE BREUIL SOUS ARGENTON (79)



12, Boulevard de la Vie
Belleville-sur-Vie
85170 BELLEVIGNY
Tél. : 02 51 24 40 25 - Fax : 02 51 24 40 29
e-mail : contact@sicaa.fr

1 - INTRODUCTION

→ Type d'étude

A la demande et pour le compte de la SCA ROUGE GORGE, Maître d'Ouvrage, nous avons réalisé une étude de faisabilité géotechnique sur le site projeté pour recevoir un plan d'eau destiné à l'irrigation à LE BREUIL SOUS ARGENTON (79).

→ Description du projet

Le projet consiste à créer une retenue pour un volume total visé de 127 000 m³ (V). Pour cela, l'Avant-Projet Définitif pose une surface en eau de 22 520 m². La digue possèdera un volume total de 53 150 m³ (hors ancrage nécessitant 5775 m³). La cote NGF en crête de digue est fixée à 135,00 m, soit une hauteur maximale de digue de 6,05 m (H). Le paramètre H^2/\sqrt{V} est donc égal à 13,04. Les cotes en fond de projet seront comprises entre 126,33 et 125,40 m NGF.

→ Objectifs de l'étude

Notre intervention a pour but :

- de caractériser la nature et la structure du sol et du sous-sol au droit du projet de réserve ;
- de préciser les caractéristiques physiques des différents faciès mis en évidence ;
- de définir si les matériaux en place peuvent être réutilisés en remblai pour la constitution du projet, et sous quelles conditions ces matériaux doivent être mis en œuvre ;
- de vérifier si les matériaux en place sont suffisamment étanches pour assurer l'étanchéité des digues et du fond du plan d'eau et dans le cas contraire, indiquer le mode d'étanchéité à adopter ;
- de déterminer la géométrie de la digue et son niveau de fondation et les éventuelles cotes du projet à respecter, afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage dans le temps.

Dans ce cadre, notre étude se limite à une mission de type G1 PGC (norme AFNOR – NF P-94 500).

→ Méthode d'investigation

Afin de mener à bien notre mission, nous avons réalisé les investigations suivantes :

- 10 sondages à la pelle mécanique au droit du projet ;
- 10 mesures de la teneur en eau naturelle ;
- 3 analyses granulométriques par tamisage et par sédimentométrie ;
- 2 essais Proctor Normal.

→ Documents en notre possession

Les documents en notre possession pour la réalisation de notre étude sont les suivants :

- pour la réalisation de nos investigations :
 - ✓ plan de situation et extrait cadastrale ;
 - ✓ esquisse de l'ouvrage au 1/500 (phase APS) ;
- Pour la réalisation de notre rapport :
 - ✓ plan de l'ouvrage au format numérique (phase APD) ;

→ Remarques complémentaires

Notre bureau d'études devra être tenu informé de toute modification apportée à la suite de cette étude géotechnique.

Si les prescriptions du présent rapport ne sont pas respectées dans leur totalité, la responsabilité de notre bureau d'études ne pourra être engagée.

2 - CONTEXTE GENERAL

2.1 - CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

→ Localisation géographique

Le site étudié est localisé sur la commune de LE BREUIL SOUS ARGENTON (79), au lieu-dit « les Tonneries », à environ 4000 m au nord-ouest du centre-bourg (église prise comme repère – cf. planche 1).

→ Occupation du sol

La zone d'étude, d'une superficie de l'ordre de 2,5 ha, est enregistrée sous les références cadastrales n°23, 60 et 62 – section AB. La surface concernée par le projet correspond principalement à la parcelle n°60, ainsi qu'à la majeure partie nord-ouest de la parcelle 62 et à la partie nord-est de la parcelle n°23. La parcelle n°60 correspond à une parcelle agricole en friche le jour de notre intervention. La parcelle n°62 correspond à une zone boisée et enherbée. Enfin, la parcelle n°23 est un verger et s'étend au sud-est de la zone d'étude sur plusieurs dizaines de mètres. La zone d'étude est limitée :

- au nord-ouest, par une voie communale ;
- au nord-est et au sud-est, par un chemin d'exploitation puis par une parcelle boisée accueillant un plan d'eau ;
- au sud, par une haie arborée puis par la RD181 ;
- au sud-ouest, par la parcelle dédiée à l'exploitation maraîchère.

→ Topographie et géomorphologie

D'après le relevé topographique en notre possession, l'altitude de la zone d'étude varie entre 129 et 132 m NGF. Au droit du projet, les pentes, orientées nord-est pour la partie nord de l'emprise du projet à sud-est pour la partie sud, possèdent une intensité moyenne de l'ordre de 1,5 %.

D'après la carte IGN 1524 E « ARGENTON LES VALLEES », le projet domine un talweg d'axe est/ouest, où s'inscrivent d'autres plans d'eau (d'agrément).

2.2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE

D'après la carte géologique au 1/50 000 – feuille « VIHIERES », le sous-sol de la zone concernée par le projet se caractérise par le complexe volcano-plutonique de Cholet-Thouars, caractérisé par des dacites et rhyolites aphanitiques sombres, vitreuses, plus ou moins litées, et par des tufs rhyolitiques (isaltérites).

Nos observations mettent généralement en évidence cette formation sous la forme d'une rhyolite altérée, se débitant en cailloutis ou blocs jusqu'à décimétriques dans une matrice argilo-sableuse à sableuse. Elle est ponctuellement recouverte par une rhyolite très altérée se débitant en cailloutis et graviers dans une matrice argileuse. Ces faciès sont recouverts par une arène rhyolitique peu évoluée, sablo-argileuse à argilo-sableuse, voire limono-sableuse, à gravillons et cailloutis en proportion variable selon les sondages, ou directement par une arène rhyolitique, majoritairement argileuse à rares cailloutis et graviers, pouvant devenir sableuse avec la profondeur. Ces faciès d'altération du socle sont ponctuellement scellés par des colluvions gravillonneuses, ou montrant des cailloutis, dans une matrice argileuse plus ou moins sableuse.

2.3 - CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Du point de vue hydrologique, aucun cours d'eau ne s'écoule à proximité immédiate du projet. La rivière « l'Ouère » s'écoule à environ 1900 m au sud-ouest du projet. Sa cote fil d'eau au droit du projet est de l'ordre de 90 m NGF.

Du point de vue hydrogéologique, la formation géologique mise en évidence constitue un niveau aquifère dont la production est fonction de son degré d'altération et de fracturation. De plus, les colluvions au toit des faciès d'altération du socle peu perméables peuvent se retrouver saturés en eau. Cependant, aucune circulation aquifère n'a été mise en évidence.

2.4 - EXPOSITION AUX RISQUES NATURELS

D'après la Banque de Données du Sous-Sol (brgm.fr), 2 risques naturels référencés au niveau de la zone d'étude sont :

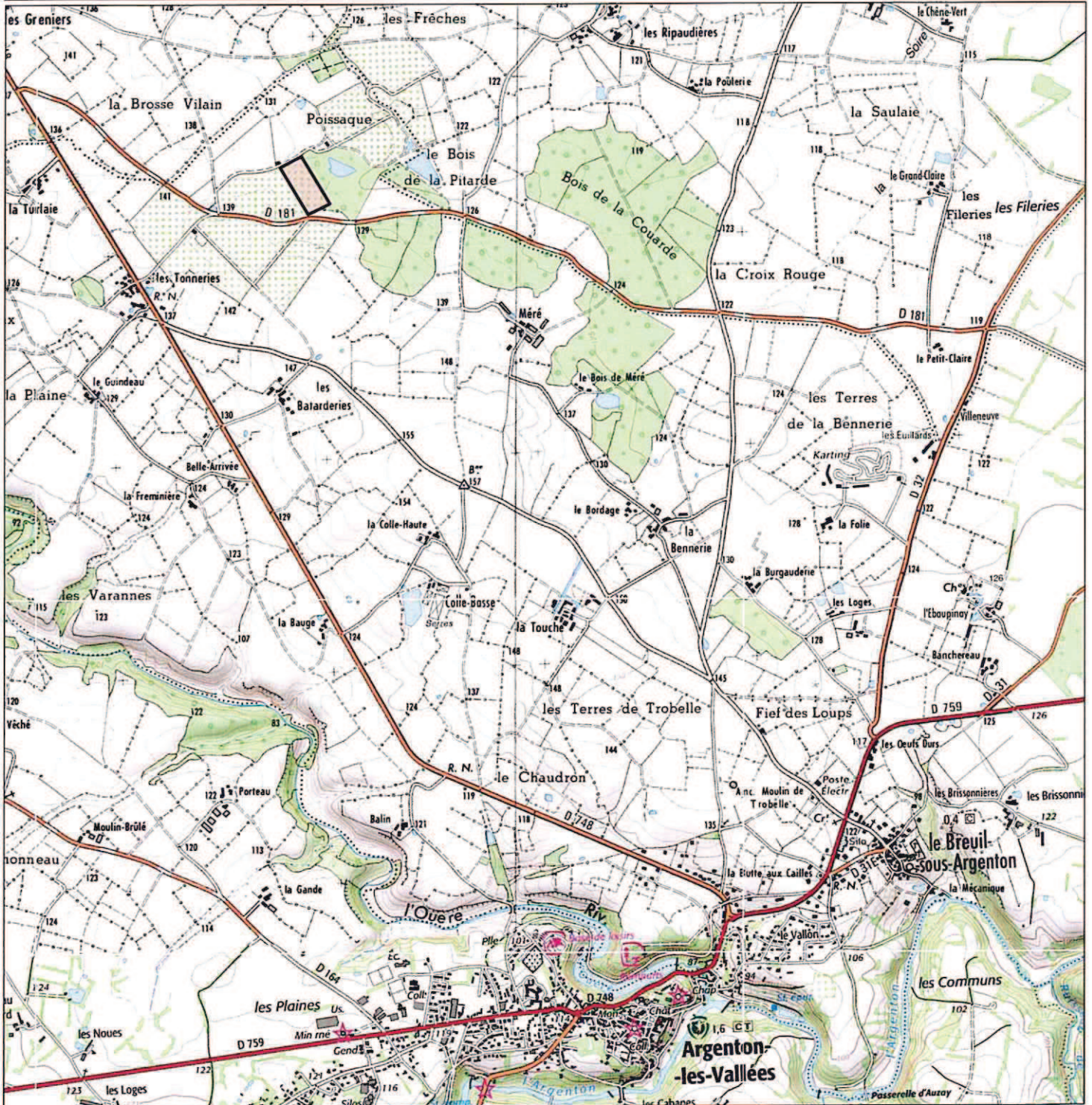
- l'aléa « retrait-gonflement » des argiles ; celui-ci est **moyen** sur une échelle à 4 unités (à priori nul, faible, moyen et fort).
- le risque « remontée de nappes » dans le socle ; celui-ci varie de **très fort à nappe sub-affleurante vers les sud-est du projet** sur une échelle à 6 unités (très faible, faible, moyen, fort, très fort et nappe sub-affleurante).




Projet de création d'une retenue d'eau destinée à l'irrigation

**Echelle :
1/25 000**

Étude de faisabilité géotechnique
Localisation de la zone d'étude



Légende :

 Localisation de la zone étudiée

D'après la carte IGN 1524 E "ARGENTON LES VALLEES"

3 - LES INVESTIGATIONS

3.1 - SONDAGES A LA PELLE MECANIQUE (ANNEXE 1)

Le 10/11/2015, afin de déterminer la nature et la structure du sous-sol au droit de la surface concernée par le projet, et d'aborder le contexte hydrogéologique, nous avons réalisé 10 sondages à la pelle mécanique (P1 à P10). Ces sondages ont été poursuivis jusqu'à une profondeur comprise entre 2,30 (P4 et P6) et 6,00 m (P10), soit entre les cotes NGF 128,78 (P1) et 123,01 m (P10).

La localisation de ces sondages fait l'objet de la planche 2 ci-après. Les coupes de ces sondages figurent en annexe 2. Nous y avons mentionné les cotes NGF de chaque niveau pédologique et géologique.

Ils permettent de faire les remarques développées ci-dessous.

- Du point de vue géologique, les faciès caractérisés sont de haut en bas :
 - ✓ **la terre végétale**, limono-argileuse, parfois sableuse, à rares cailloutis et racines ; son épaisseur varie entre 0,20 (P9) et 0,50 m (P2, P3, P6, P8 et P10) ;
 - ✓ **les colluvions**, gravillonneuses ou montrant des cailloutis dans une matrice argileuse plus ou moins sableuse ; ce faciès, présent uniquement en P6, P8 et P9, apparaît immédiatement sous la terre végétale, soit entre les cotes NGF 130,66 (P9) et 129,06 m (P6) ; son épaisseur varie entre 0,20 (P6 et P8) et 0,80 m (P9) ;
 - ✓ **l'arène rhyolitique**, majoritairement argileuse à rares cailloutis et graviers, pouvant devenir sableuse avec la profondeur (P2, P7 et P9), et qui, ponctuellement (P10), présente des passées gravillonneuses dans une matrice argilo-sableuse ; ce faciès, absent du sondage P5, apparaît immédiatement sous la terre végétale ou les colluvions, soit entre les cotes NGF 131,03 (P1) et 128,51 m (P10) ; il est caractérisé jusqu'au fond du sondage P9 ; ailleurs, son épaisseur varie entre 0,75 (P3) et 3,40 m (P2) ;
 - ✓ **l'arène rhyolitique peu évoluée**, sablo-argileuse à argilo-sableuse, voire limono-sableuse, à gravillons et cailloutis en proportion variable selon les sondages, voire ponctuellement (P10) à passées argilo-sableuses à rares concrétions ferro-manganiques ; ce faciès, présent uniquement dans les sondages P1, P5, P8 et P10, apparaît immédiatement sous la terre végétale en P5, et entre 1,20 (P1) et 2,70 m de profondeur (P10), soit entre les cotes NGF 131,61 (P5) et 126,31 m (P10) ; il est caractérisé jusqu'au fond du sondage P5 ; ailleurs, son épaisseur varie entre 1,20 (P1) et 3,20 m (P10) ;
 - ✓ **la rhyolite très altérée**, se débitant en cailloutis et graviers dans une matrice argileuse ; ce faciès, présent uniquement dans les sondages P3 et P4, apparaît entre 1,15 (P4) et 1,25 m de profondeur (P3), soit entre les cotes NGF 129,44 (P3) et 128,81 m (P4) ; son épaisseur varie entre 0,25 (P4) et 0,45 m (P3) ;
 - ✓ **la rhyolite altérée**, se débitant en cailloutis ou blocs jusqu'à décimétriques dans une matrice argilo-sableuse à sableuse ; ce faciès, non atteint dans les sondages P5 et P9, apparaît entre 1,40 (P4) et 5,90 m de profondeur (P10), soit entre les cotes NGF 129,11 (P7) et 123,11 m (P10), et est caractérisé jusqu'au fond des sondages en opposant une forte résistance à la pelle mécanique.
- Du point de vue hydrogéologique, aucune circulation aquifère n'a été constatée lors de nos investigations. Cependant, le caractère hydromorphe de certaines passées gravillonneuses au sein de l'arène rhyolitique témoigne de leur engorgement en eau en période humide, en aval de la zone sondée
- Les parois des sondages sont restées stables lors de nos investigations.

- Du point de vue géotechnique, en regard de la surface sondée, la nature du sous-sol est homogène mais sa structure est hétérogène avec notamment une extension latérale discontinue des colluvions, de l'arène rhyolitique plus ou moins évoluée et de la rhyolite très altérée, ainsi qu'une forte variation d'épaisseur des faciès d'arène rhyolitique plus ou moins évoluée.

3.2 - ESSAIS DE LABORATOIRE

Nous avons effectué une série d'analyses et d'essais de laboratoire sur les différents faciès caractéristiques de la zone sondée. Ces échantillons possèdent les caractéristiques suivantes :

N°Ech.	Sondage	Profondeur du prélèvement	Caractérisation terrain
P1-1	P1	1,20 à 2,40 m	<u>Arène rhyolitique peu évoluée</u> : sables argileux à rares cailloutis sains et pulvérulents, de couleur jaune/orangé
P2-1	TP2	1,90 à 3,90 m	<u>Arène rhyolitique</u> : argile sableuse à rares cailloutis et graviers, de couleur jaune/orangé
P3-1	P3	0,50 à 1,25 m	<u>Arène rhyolitique</u> : argile à rares cailloutis et graviers, de couleur jaune/orangé
P4-1	P4	1,15 à 1,40 m	<u>Rhyolite très altérée</u> : graviers dans une matrice argileuse, de couleur jaune
P5-1	P5	0,30 à 1,20 m	<u>Arène rhyolitique peu évoluée</u> : argile sableuse à nombreux graviers et rares cailloutis pulvérulents à sains, de couleur jaune/orangé
P6-1	P6	0,70 à 1,70 m	<u>Arène rhyolitique</u> : argile compacte, de couleur gris/vert
P7-1	P7	1,30 à 2,30 m	<u>Arène rhyolitique</u> : argile sableuse à rares graviers et cailloutis, de couleur orangée à brun clair
P8-1	P8	2,20 à 3,80 m	<u>Arène rhyolitique peu évoluée</u> : limons sableux à graviers et cailloutis pulvérulents, de couleur gris/vert
P9-1	P9	Dès 1,60 m	<u>Arène rhyolitique</u> : argile limono-sableuse, de couleur gris/jaune/orangé
P10-1	P10	2,70 à 4,80 m	<u>Arène rhyolitique peu évoluée</u> : limons sableux, de couleur gris foncé, à passées argilo-sableuses, à rares concrétions ferromanganiques, de couleur gris/vert/orangé

Ces essais sont des mesures de la teneur en eau naturelle, des analyses granulométriques par tamisage et par sédimentométrie, des déterminations de la Valeur au Bleu du Sol et des essais Proctor Normal. Ils ont pour but d'apprécier les conditions sous lesquelles les matériaux *in-situ* peuvent être réutilisés en remblai, selon leur état hydrique et d'approcher leur degré d'étanchéité.

3.2.1 - Classifications GTR (normes NF P 94-068 et NF P 94-057 - Annexe 2)

Des analyses granulométriques par tamisage et sédimentométrie, ainsi que des Valeurs au Bleu du Sol ont été réalisés sur l'arène rhyolitique (P2-1 dans sa fraction la plus sableuse, P6-1 dans sa fraction la plus argileuse et P9-1 dans sa fraction intermédiaire limono-sableuse).

Les résultats, reportés en annexe 2, sont résumés dans le tableau ci-dessous :

N°Ech.	Passant à 2 µm (%)	Passant à 80 µm (%)	Passant à 2 mm (%)	D max (mm)	VBS	Classification GTR	Répartition modale des minéraux (%)		
							Argiles	Limons	Sables
P2-1	19,4	73,1	99,3	7	4,44	A ₂	19,4	49,9	30,7
P6-1	46,1	88,6	96,5	22	10,84	A ₄	46,1	41,2	12,7
P9-1	28,0	85,7	95,7	12	3,83	A ₂	28,0	55,0	17,0

L'arène rhyolitique dans sa fraction la plus sableuse (P2-1) et dans sa fraction intermédiaire limono-sableuse (P9-1) correspondent à un sol fin de classe A₂. Le D_{max} est inférieur à 50 mm et le tamisat à 80 µm est supérieur à 35 %, la VBS est comprise entre 2,50 et 6. Le caractère moyen des sols de cette sous-classe fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement si sa teneur en eau n'est pas trop élevée.

L'arène rhyolitique dans sa fraction la plus argileuse (P6-1) correspond à un sol fin de classe A₄. Le D_{max} est inférieur à 50 mm et le tamisat à 80 µm est supérieur à 35 %, la VBS est supérieure à 8. Ces sols sont très cohérents et presque imperméables, s'ils changent de teneur en eau, c'est extrêmement lentement et avec d'importants retraits ou gonflements. Leur emploi en remblai ou en couche de forme n'est normalement pas envisagé mais il peut éventuellement être décidé à l'appui d'une étude spécifique s'appuyant notamment sur des essais en vraie grandeur.

Considérant le pourcentage de passant à 2 µm de ce faciès d'arène rhyolitique, compris entre 19,4 et 46,1 %, sa perméabilité pourra varier entre 10⁻⁷ et 10⁻⁸ m/s.

3.2.2 - Essais Proctor Normal (norme NF P 94-093 - annexe 3)

Nous avons effectué un essai Proctor Normal sur l'arène rhyolitique dans sa fraction la plus sableuse (P2-1) et un essai Proctor Normal sur l'arène rhyolitique dans sa fraction la plus argileuse (P6-1), afin de déterminer ses conditions optimales de compactage et de pouvoir définir leur état hydrique.

Les résultats de ces essais, détaillés en annexe 3, sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

N° Ech	Coordonnées de l'OPN		95 % de l'OPN.	
	Masse volumique sèche (ρ _d , t/m ³)	Teneur en eau (W, %)	Masse volumique sèche (ρ _d , t/m ³)	Teneur en eau (intervalle de tolérance en %)
P2-1	1,48	19,0	1,41	6,0 ≤ W ≤ 26,4
P6-1	1,44	20,6	1,37	11,2 ≤ W ≤ 28,0

À l'Optimum Proctor, la masse volumique sèche de l'arène rhyolitique dans sa fraction la plus sableuse est de **1,48 t/m³** pour une teneur en eau de **19,0 %**. Pour obtenir une masse volumique au moins égale à 95 % de l'Optimum Proctor (**1,41 t/m³**), la teneur en eau de ces matériaux au compactage devrait être comprise entre **6,0 et 26,4 %**.

À l'Optimum Proctor, la masse volumique sèche de l'arène rhyolitique dans sa fraction la plus argileuse est de **1,44 t/m³** pour une teneur en eau de **20,6 %**. Pour obtenir une masse volumique au moins égale à 95 % de l'Optimum Proctor (**1,37 t/m³**), la teneur en eau de ces matériaux au compactage devrait être comprise entre **11,2 et 28,0 %**.

3.2.3 - Mesures de teneur en eau naturelle (norme NF P 94-050)

Nous avons mesuré la teneur en eau des échantillons prélevés. Les valeurs obtenues sont reportées dans le tableau ci-dessous :

N° Ech	P1-1	P2-1	P3-1	P4-1	P5-1	P6-1	P7-1	P8-1	P9-1	P10-1
Teneur en eau (W, %)	13,5	25,9	34,0	12,4	8,7	23,3	20,0	16,1	32,3	37,4

Les échantillons ont été prélevés mi-novembre 2015.

Dans l'arène rhyolitique, les teneurs en eau sont élevées, comprises entre 20,0 et 34,0 % (états hydriques m à th – considérant l'arène rhyolitique dans sa fraction la plus sableuse), avec une tendance à augmenter d'amont en aval et vers le sud du projet.

Dans l'arène rhyolitique peu évoluée, les teneurs en eau sont faibles à moyennes, ponctuellement élevées, généralement comprises entre 8,7 et 16,1 % et pouvant atteindre 37,4 % (P10, en aval et au sud du projet).

Dans la rhyolite très altérée, les teneurs en eau sont moyennes, de l'ordre de 12,4 %.



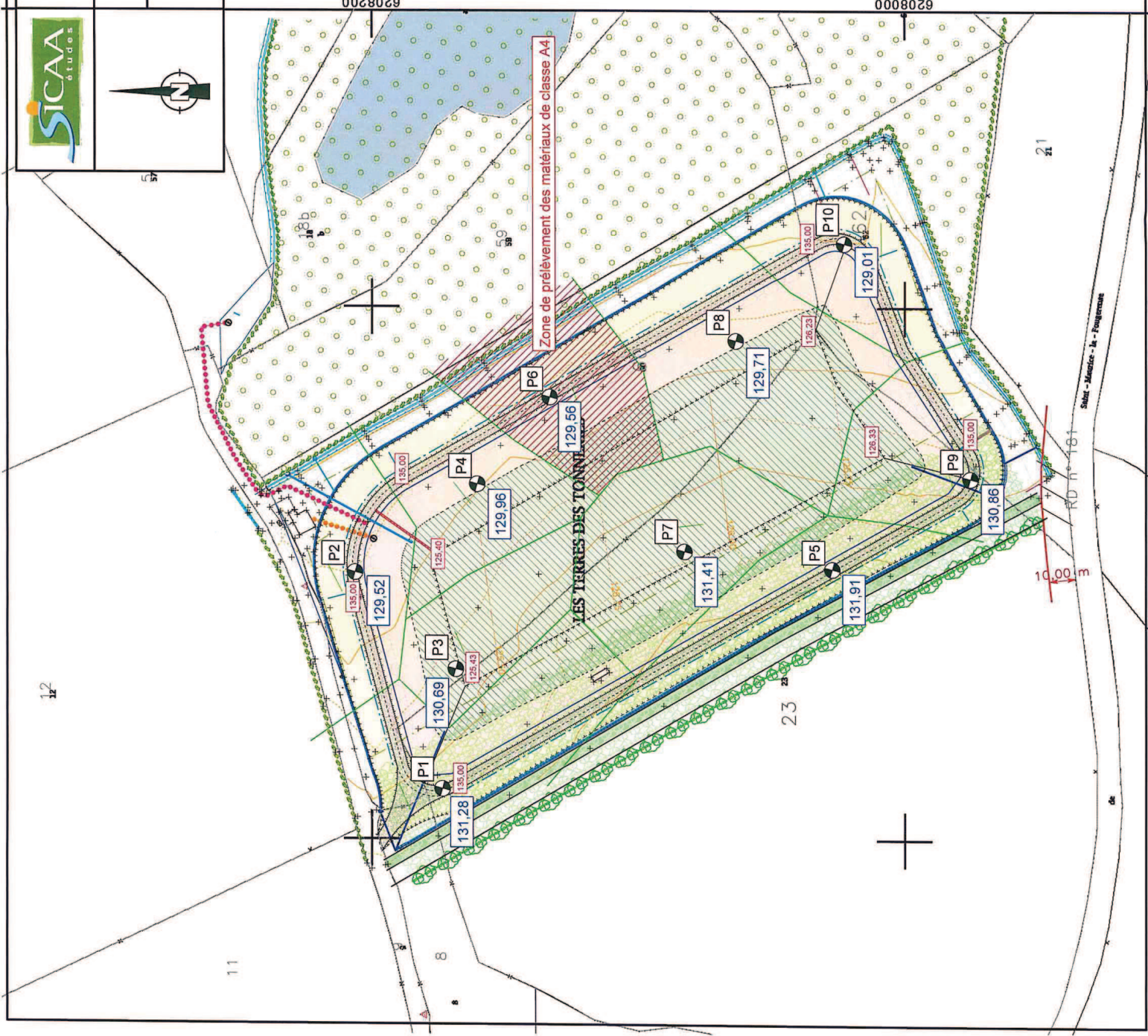
PLANCHE 2

SCA ROUGE GORGE
LE BREUIL SOUS ARGENTON (79)

Echelle :
1/1500

Projet de création d'une retenue de substitution
à destination d'irrigation

Étude de faisabilité géotechnique
Plan d'implantation des sondages à la pelle mécanique



Caractéristiques PROJET :

- Pente externe : 2Hz/1V
- Pente interne : 3Hz/1V
- Largeur crête : 4,00 m
- Longueur digue : 665 m
- Hauteur revanche : 0,85 m
- Cote crête : 135,00
- Niveau d'eau : 134,15
- Volume total (V) : 127 000 m3
- Volume brut digue matériaux : 53 150 m3
- Volume décapage terre végétale : 13 535 m3
- Volume de l'arase : 31 580 m3
- Volume de l'écran argileux : 7 890 m3
- Surface d'emprise de la digue : 18 320 m2
- Surface d'emprise du projet : 33 745 m2
- Surface en eau : 22 520 m2
- Dénivelé crête/terrain naturel à l'aplomb (H) : 6,05 m
- H2 x racine(V) = 13,04 -> Hors classe -> Crue de référence Q500

Légende :

- : Sondage à la pelle mécanique
- : cote NGF du terrain naturel (en m)

D'après le plan du projet phase APD au 1/1000

4 - GEOTECHNIQUE

4.1 - SYNTHÈSE DES RESULTATS

Nos investigations et nos observations géologiques sur les sites et leurs alentours ont permis de relever les points développés ci-dessous.

- L'épaisseur cumulée de terre végétale est comprise entre 0,20 et 0,50 m.
- Du point de vue géologique, le sous-sol se caractérise par une rhyolite altérée, se débitant en cailloutis ou blocs jusqu'à décimétriques dans une matrice argilo-sableuse à sableuse. Ce faciès a été atteint entre 1,40 et 5,90 m de profondeur (cotes NGF : 129,11 et 123,11 m). Il est parfois recouvert par une rhyolite très altérée, se débitant en cailloutis et graviers dans une matrice argileuse atteinte entre 1,15 et 1,25 m de profondeur (cotes NGF : 129,44 et 128,81 m). Plus généralement, il est recouvert par une arène rhyolitique peu évoluée sablo-argileuse à argilo-sableuse, voire limono-sableuse, à gravillons et cailloutis en proportion variable selon les sondages, voire ponctuellement à passées argilo-sableuses à rares concrétions ferromanganiques, atteinte entre 0,30 et 2,70 m de profondeur (cotes NGF : 131,61 et 126,31 m), ou directement par une arène rhyolitique majoritairement argileuse à rares cailloutis et graviers, pouvant devenir sableuse avec la profondeur et qui présente ponctuellement des passées gravillonneuses dans une matrice argilo-sableuse, selon une épaisseur comprise entre 0,75 et 3,40 m. Ces faciès d'altération du socle sont parfois recouverts par des colluvions gravillonneuses, ou montrant des cailloutis, dans une matrice argileuse plus ou moins sableuse, selon une épaisseur comprise entre 0,20 et 0,80 m.
- Les matériaux mis en évidence sur le site sondé sont classés selon le GTR comme des sols fins de classe A₂ (arène rhyolitique dans sa fraction la plus sableuse et dans sa fraction intermédiaire limono-sableuse) et A₄ (arène rhyolitique dans sa fraction la plus argileuse). Leur fraction à 2 µm peut permettre de considérer la perméabilité de ce faciès comprise entre 10⁻⁷ et 10⁻⁸ m/s. Les teneurs en eau relevées au sein de l'arène rhyolitique (dans sa fraction la plus sableuse) montrent que son état hydrique variait entre m et th le jour de nos investigations.
- Du point de vue hydrogéologique, aucune circulation aquifère n'a été constatée lors de nos investigations. Cependant, le caractère hydromorphe de certaines passées gravillonneuses au sein de l'arène rhyolitique témoigne de leur engorgement en eau en période humide, en aval de la zone sondée. Cette constatation est confortée par les teneurs en eau relativement élevées des faciès mis en évidence en aval et au sud de la zone sondée.
- Les parois des sondages sont restées stables lors de nos investigations.
- Du point de vue géotechnique, en regard de la surface sondée, la nature du sous-sol est homogène mais sa structure est hétérogène.

4.2 - FAISABILITE DE L'OUVRAGE

Nos observations nous conduisent à émettre un **avis géotechnique favorable** à la réalisation du projet. Compte tenu des résultats de nos investigations, l'arène rhyolitique peut assurer l'étanchéité naturelle de l'ouvrage. Le tableau ci-dessous indique les épaisseurs de matériaux étanches par sondage afin d'estimer leur volume disponible.

Sondages	Epaisseur totale matériaux étanches
P1	0,95 m
P2	3,40 m
P3	0,75 m
P4	0,80 m
P5	0 m
P6	1,00 m
P7	1,90 m
P8	1,50 m
P9	3,5 m
P10	2,20 m

En guise d'approche, considérant une épaisseur moyenne de matériaux étanches pouvant être extraits de 1,60 m sur la surface d'emprise de l'ouvrage projeté, soit une zone d'environ 25 000 m², nous obtenons un volume de matériaux étanches potentiellement utilisable de 40 000 m³. Il pourra être nécessaire d'augmenter la surface de prélèvement afin d'atteindre ce volume de matériaux étanches nécessaires (jusqu'à 1000 m² selon cette approche).

En effet, le volume total de matériaux étanche nécessaire au projet est de 41 245 m³ (volume de la digue interne : 20 940 m³ ; volume du noyau : 6640 m³ ; volume d'ancrage : 5775 m³ ; volume de plastron argileux : 7890 m³).

Compte tenu du contexte hydrogéologique, de la nature et de la structure du sous-sol, ainsi que des cotes du projet, l'étanchéité de l'ouvrage sera réalisée naturellement en réalisant un **plastron argileux étanche d'une épaisseur minimale de 0,50 m au fond de l'ouvrage** afin d'isoler la masse d'eau retenue de son environnement.

Compte tenu de la difficulté de mise en œuvre des matériaux de classe A₄ (même lors de la réalisation d'essais en vraie grandeur sur planches d'essais), ainsi que de leur quasi-étanchéité, ces derniers seront **exclusivement** réservés à la constitution du plastron argileux (cf. planche 2 – zone de prélèvement de matériaux A₄).

De plus, les points développés dans les paragraphes suivants devront impérativement être respectés.

4.3 - CONDITIONS DE MISE EN PLACE DE LA DIGUE (CF. PLANCHE 3)

La terre végétale sera décapée sur l'ensemble du projet, au droit de la digue et sur l'ensemble de la surface d'emprunt des matériaux étanches.

La fondation des remblais constituant la digue sera le plus homogène possible, constituée par la rhyolite altérée, afin de limiter la création de tassements différentiels importants. L'ancrage dans l'arène rhyolitique plus ou moins évoluée est prohibé.

Cependant, du fait des hauteurs importantes de déblais, notamment au droit de la moitié nord du projet, des circulations d'eau souterraines seront possibles. Leur canalisation vers un exutoire (amené éventuellement à un pompage) permettra de mettre en œuvre les remblais dans des conditions optimales.

Compte tenu de la nature des matériaux en surface et du contexte hydrogéologique, il est conseillé de réaliser les travaux en période réputée sèche (été et fin d'automne).

Les terrassements jusqu'aux cotes de l'APD s'effectueront à l'aide de pelles hydrauliques puissantes. L'utilisation de godets « rocher » deviendra nécessaire dès le toit de la rhyolite plus ou moins altérée atteint. Compte tenu des hauteurs de remblais envisagées par l'APD, l'utilisation du Brise Roche Hydraulique pourra être nécessaire au droit de la moitié nord de l'emprise du projet selon une hauteur pouvant atteindre 2 m.

Les paragraphes suivants indiquent les points à respecter et à mettre en place afin d'assurer le bon rôle de cet ouvrage et sa pérennité dans le temps.

4.3.1 – Conditions de mises en œuvre des remblais (d'après « Réalisation des remblais et des couches de forme » - Ed. SETRA – LCPC)

Les conditions de mise en œuvre ci-dessous concernent l'arène rhyolitique dans sa fraction la plus sableuse et dans sa fraction intermédiaire limono-sableuse (matériaux de classe A₂), et dans sa fraction la plus argileuse (matériaux de classe A₄). Pour les autres faciès non analysés au cours de la présente étude, il conviendra d'effectuer des analyses et essais complémentaires pour permettre leur classification GTR qui définira leurs conditions précises de mise en remblai.

Les teneurs en eau des matériaux devront être vérifiées au moment du démarrage du chantier et régulièrement pendant les travaux, afin de vérifier leur validité avec des compactages optimaux. Des dispositions pourront être nécessaires pour ramener les matériaux à une teneur en eau compatible avec un compactage optimal (aération ou arrosage). Au moment de notre intervention, les teneurs en eau de l'arène rhyolitique (état hydrique m à th) **étaient généralement incompatibles avec un compactage optimal**, notamment en partie aval et au sud du projet (nécessité de mise en dépôt sur de faibles épaisseurs inférieures à 0,50 m éventuellement associée à un drainage).

Les sols de classe A₄ sont à la fois très difficile à travailler et leur utilisation comporte de grands risques de retrait gonflement et de stabilité. L'emploi de ces sols en remblai ne peut être envisagé qu'à l'appui d'une étude spécifique ayant défini les conditions d'état et de compactage à leur appliquer (réalisation de planches d'essai).

Pour ces raisons, leur utilisation en parement interne est prohibée et sera réservée à la réalisation du plastron argileux en fond d'ouvrage où leur sensibilité au phénomène de retrait gonflement sera réduite (maintient en eau constant du fond de la réserve) et où leur quasi-étanchéité garantira la bonne marche de l'ouvrage.

- Conditions de mise en œuvre des matériaux de classe A₂ (considérant l'arène rhyolitique dans sa fraction la plus sableuse) :

→ A_{2h} (20,9% ≤ W_n ≤ 24,7 %) :

- ✓ ces matériaux seront mis en œuvre en l'état uniquement en condition d'évaporation importante ; dans ce cas, le compactage sera faible ; sinon, l'extraction se fera en couches minces ; puis une réduction de la teneur en eau par aération sera nécessaire avant la mise en œuvre en couches minces (20 à 30 cm) associée à un compactage moyen.

→ A_{2m} (17,1 % ≤ W_n ≤ 20,9%) :

- ✓ leur mise en place sous une pluie faible nécessite une extraction frontale et un compactage moyen ;
- ✓ sans pluie ni évaporation importante, le compactage sera moyen ;
- ✓ si l'évaporation est importante alors on pourra au choix effectuer une extraction frontale et un compactage moyen, ou un arrosage superficiel pour le maintien de l'état et un compactage moyen ; un emploi en l'état nécessitera un compactage intense.

→ **A_{2s} (13,3 % ≤ W_n ≤ 17,1 %) :**

- ✓ leur mise en place sous une pluie faible nécessite une extraction en couche, un réglage en couches minces et un compactage moyen ;
- ✓ sans pluie ni évaporation importante, le compactage sera intense pour un emploi en l'état ; une humidification pour un changement d'état et un réglage en couches minces autorisera un compactage moyen ;
- ✓ si l'évaporation est importante alors on pourra au choix effectuer :
 - un arrosage superficiel pour maintien en l'état et un compactage intense,
 - une extraction frontale, un arrosage superficiel et un compactage intense,
 - une humidification pour changement, un réglage en couches minces et un compactage intense.

Remarques :

- *Lorsqu'aucune modalité de réglage n'est préconisée, l'épaisseur maximale des couches élémentaires est définie par l'épaisseur de compactage possible sur le matériau avec le compacteur utilisé.*
- *La taille des éléments grossiers ne devra pas excéder 30 à 50 cm selon les conditions de réglage.*
- *Le compactage des matériaux devra au moins respecter 95 % de l'OPN. La régularité de ces contrôles, validés par un géotechnicien, respectera au moins 1 essai tous les 2 000 m³ avec un minimum de 3 essais. Dans les matériaux grossiers (rhyolite plus ou moins altérée), on préférera la réalisation d'essai à la plaque. Le compactage sera conforme aux données ci-après :*

$$EV2 > 50 \text{ MPa et } EV2/EV1 < 2$$

- *Pour répondre à ces qualités de compactage, le compacteur type vibrant « pied de mouton » semble le plus adéquat. Cependant, la vérification par la réalisation de planches d'essai est impérative.*
- *Le plan d'assurance qualité de l'entreprise devra spécifier clairement le type de compacteur qu'elle envisage d'utiliser et les moyens qu'elle mettra en œuvre pour s'assurer du bon compactage des matériaux.*

4.3.2 – Etanchéité de la digue et du fond de la réserve

L'étanchement du fond de la réserve sera réalisé naturellement à l'aide d'un plastron argileux d'une épaisseur minimale de 0,50 m de matériaux étanches issus du site sous les cotes projet. **Compte tenu des résultats des essais de laboratoire réalisés sur les matériaux extraits du site, l'arène rhyolitique dans sa fraction la plus argileuse (matériaux de classe A₄) composera impérativement la majeure partie de ce plastron, et sera disposée directement au contact de l'arase de terrassement puis sera recouverte par des matériaux issus de l'arène rhyolitique dans sa fraction la plus sableuse et dans sa fraction intermédiaire limono-sableuse (matériaux de classe A₂) afin d'atteindre l'épaisseur minimale de 0,50 m.**

L'étanchéité de la digue sera réalisée naturellement avec des matériaux du site correspondant à des sols fins. **Seuls les déblais issus de l'arène rhyolitique dans sa fraction sableuse et dans sa fraction intermédiaire limono-sableuse, peuvent assurer l'étanchéité des digues.** Au contraire, les déblais issus des de l'arène rhyolitique peu évoluée, des colluvions et de la rhyolite plus ou moins altérée ne permettront pas d'assurer l'étanchéité des digues. **De plus l'utilisation de l'arène rhyolitique dans sa fraction la plus argileuse (matériaux de classe A₄) est prohibée au droit des digues.**

Ainsi, le cœur de la digue et le parement interne seront constitués par l'arène rhyolitique dans sa fraction sableuse et dans sa fraction intermédiaire limono-sableuse, tandis qu'éventuellement, pour pallier à un manque de matériaux étanches, les colluvions, l'arène rhyolitique peu évoluée et la rhyolite plus ou moins altérée seront uniquement disposés en parement externe.

4.3.3 – Structure des digues

D'après la nature des matériaux à mettre en œuvre, le mode d'étanchéité de l'ouvrage et les hauteurs de digue prédéfinies par l'APD, les pentes des talus en déblai et en remblai seront de **1/2** (2 à l'horizontal) en externe et de **1/3** (3 à l'horizontal) en interne.

D'après l'ouvrage Petits Barrages – Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi (Cemagref Editions), selon le paramètre $H2\sqrt{V}$, la largeur minimale en crête de digue sera de **3,00 m**. De même, la hauteur de la revanche sera au minimum de **0,60 m**.

4.3.4 – Ancrage de la digue

L'ancrage aura principalement pour but d'établir une jonction avec le terrain en place.

La fondation de la clé d'ancrage de la digue sera constituée principalement par la rhyolite altérée. L'ancrage dans l'arène rhyolitique plus ou moins évoluée est prohibé.

L'ancrage sera donc d'au moins 0,50 m dans la rhyolite altérée.

La mise en place en fond de tranchée d'une première couche d'épaisseur décimétrique, constituée d'arène rhyolitique dans sa fraction la plus sableuse ou dans sa fraction intermédiaire limono-sableuse (OPN + 2 ou 3 %) permettra d'assurer un bon contact.

Ainsi, en fonction des sondages réalisés au droit de la future digue, les profondeurs minimales de la clé d'ancrage (uniquement au droit de la crête) par rapport au terrain naturel et les cotes NGF maximales associées sont reportées dans le tableau suivant.

	P1	P2	P5	P6	P9	P10
Profondeur (m)	2,90	4,40	>4,90	2,20	>4,70	6,40
Cote NGF (m)	128,38	125,12	<127,01	127,36	<126,16	122,61

4.4 - DISPOSITIF DE DRAINAGE DES DIGUES (CF. PLANCHE 3)

En l'absence de drainage interne de la digue, le risque de déstabilisation de la digue est fort en cas d'infiltration d'eau dans la digue. Nous préconisons un drainage en 2 parties :

- un **drain cheminé vertical** et continu, en sable 0-5 mm, d'épaisseur 0,50 m, de la base du remblai jusqu'au niveau normal des eaux (+0,20 à 0,30 m), pour éviter tout risque de contournement, sous la crête près du parement aval ; ce drain est généralement obtenu en recréusant à la pelle le remblai toutes les 5 ou 6 couches compactées et en y déversant le sable avec soin ;
- une **évacuation vers l'aval** ; elle consiste en des collecteurs plastiques non perforés, diamètre extérieur 100 mm (type adduction d'eau), pente minimale 1/1 000, un tous les 25 m, raccordés à un collecteur perforé situé à la base du drain cheminé ; la mise en place des tuyaux doit être soigneusement effectuée pour éviter tout risque de déboîtement entre tronçons d'une part et d'écrasement d'autre part ; en outre, l'exécution d'un regard à l'extrémité aval de chaque collecteur aveugle facilite la surveillance et l'entretien ; une telle évacuation pour la digue du bassin d'agrément est impossible ; ainsi, la pente du collecteur perforé à la base du drain cheminé permettra une évacuation vers les extrémités de la digue.

4.5 - REMARQUES COMPLEMENTAIRES

4.5.1 – Protection des remblais

La mise en place d'une couche de grave sur les crêtes de digues permettra notamment d'éviter la formation d'ornières dues au passage de véhicules et la dessiccation des dernières couches argileuses.

Une couche anti-batillage d'épaisseur 0,40 m, constituée d'enrochement en 100/400, sera disposée sur les talus internes des digues et sur les talus en déblais exposés aux vents dominants afin d'éviter les phénomènes d'érosion.

Les talus externes des digues devront être protégés contre les effets de ruissellement des eaux de pluies. L'enherbement est la solution adaptée. La couche de terre végétale d'épaisseur 0,15 m environ sera mise en place à la pelle mécanique et/ou au boteur.

4.5.2 – Protection vis-à-vis de la végétation

Les remblais devront être éloignés d'au moins 5 m de tout arbre, haie ou bois, pour éviter leur dégradation par des racines. Dans le cas contraire, des dispositifs anti-racinaires seront à prévoir.