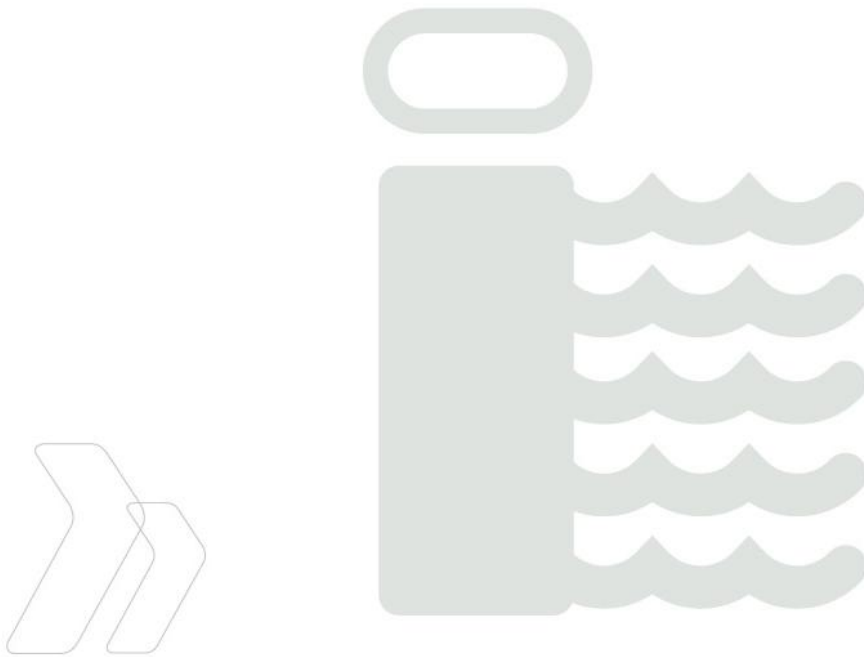


Infrastructures  
Aménagements  
hydrauliques



GESTION DES SEDIMENTS DE L'ESTUAIRE DE LA  
RANCE – SITE DU PETIT CHATELIER

Note d'avis sur la stabilité de l'ouvrage ICPE de  
traitement des sédiments

Rapport

+

IDRA ENVIRONNEMENT

Rapport n° : RA14-056  
Révision n° : A  
Date : 25/03/2014

Votre contact :  
Antoinette TARDIEU  
tardieu@isl.fr

ISL Ingénierie - Angers  
25 -27 rue Lenepveu  
49100 Angers - FRANCE  
Tél. : +33 2 41 36 01 77  
Fax : +33 2 41 36 10 55

[www.isl.fr](http://www.isl.fr)

**ISL**  
Ingénierie



# Visa

0	25/03/2014	1 <sup>ère</sup> émission	A. Supper	A. Tardieu	M. Salembier
<b>Rév.</b>	<b>Date</b>	<b>Objet</b>	<b>Auteur</b>	<b>Chef de projet</b>	<b>Superviseur</b>



## **Sommaire**

<b>1</b>	<b>Préambule</b>	<b>1</b>
1.1	Localisation	1
1.2	Présentation du projet	1
<b>2</b>	<b>Dimensionnement des ouvrages</b>	<b>3</b>
2.1	Dimensionnement géotechnique	3
2.1.1	Principe	3
2.1.2	Nature géotechnique du remblai et de la fondation	3
2.1.3	Géométrie	4
2.1.4	Situations de projet	6
2.1.5	Caractéristiques des matériaux	6
2.1.6	Calculs de stabilité	7
2.2	Dimensionnement hydraulique	12
2.2.1	Principe de recherche de la revanche admissible	12
2.2.2	Méthode d'estimation des hauteurs de précipitations	13
2.2.3	Analyse hydrologique	13
2.2.4	Définition de la hauteur de précipitations de dimensionnement	14
2.2.5	Calcul de la revanche par rapport aux vagues	14
2.2.6	Prise en compte du tassement	15
2.2.7	Choix de la revanche	15
<b>3</b>	<b>Adaptations du projet et prescriptions</b>	<b>16</b>
3.1	Adaptation du projet	16
3.1.1	Pentes de talus et largeur en crête	16
3.1.2	Revanche	16
3.2	Prescriptions des travaux	16
3.3	Moyens de contrôle	17
3.4	Prescriptions pour l'entretien futur	17
<b>4</b>	<b>Synthèse</b>	<b>19</b>

## **Table des figures**

Figure 1-1 : localisation du projet _____	1
Figure 1-2 : vue en plan des ouvrages _____	2
Figure 1-3 : profil dimensionnant _____	2
Figure 2-1 : extrait carte géologique au 1/50 000ème (source : infoterre) _____	3
Figure 2-2 : caractérisation visuelle des matériaux _____	4
Figure 2-3 : essai d'eau _____	4
Figure 2-4 : localisation et géométrie type AA _____	5
Figure 2-5 : emprise réservé à la coupe AA et la coupe BB _____	5
Figure 2-5 : localisation et géométrie type BB, CC et DD _____	5
Figure 2-7 : modèle - géométrie 1 - coupe type AA _____	8
Figure 2-8 : modèle géométrie 3 – coupe type BB, CC et DD _____	8
Figure 2-8 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation normale d'exploitation- Géométrie 1 – FS = 1,281 (talus aval) _____	9
Figure 2-9 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation normale d'exploitation Géométrie 2 – FS = 1,513 (talus aval) _____	9
Figure 2-10 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation normale d'exploitation Géométrie 3 – FS = 1,632 (talus aval) _____	9
Figure 2-8 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation transitoire- Géométrie 1 – FS = 1,238 (talus amont) _____	10
Figure 2-9 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation transitoire- Géométrie 2 – FS = 1.238 (talus amont) _____	10
Figure 2-10 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation transitoire Géométrie 3 – FS = 1.238 (talus amont) _____	10
Figure 2-11 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation exceptionnelle Géométrie 1 – FS = 1,076 (talus aval) _____	11
Figure 2-12 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation exceptionnelle Géométrie 2 – FS = 1,427 (talus aval) _____	11
Figure 2-13 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation exceptionnelle Géométrie 3 – FS = 1,632 (talus aval) _____	11

**Table des tableaux**

Tableau 2-1 : description des situations_____	6
Tableau 2-2 : coefficients partiels et facteurs de sécurité pour les situations de projet considérées_____	7
Tableau 2-3 : principales caractéristiques géométriques du modèle – Géométries_____	8
Tableau 2-4 : synthèse des résultats de la modélisation Slope pour le talus aval et amont _	12
Tableau 2-5 : estimation des débits de crues_____	14
Tableau 2-6 : synthèse des débits de crues_____	14
Tableau 2-7 : synthèse de la revanche par rapport aux vagues _____	14
Tableau 2-8 : synthèse des caractéristiques _____	15

# 1 PREAMBULE

L'association Cœur Emeraude a le projet de réaliser une installation classée (ICPE) de stockage mono-déchets, sur une parcelle de la commune de Saint-Samson-sur-Rance au lieu-dit du Petit Châtelier dans le département des Côtes d'Armor (22). Ce site recevra exclusivement des déchets issus du dragage de sédiments de l'estuaire de la Rance considérés comme non dangereux et qui présentent un niveau de sécurité environnementale adapté aux déblais de dragage.

Le bureau d'étude IDRA Environnement a missionné ISL Ingénierie pour en phase étude :

- Le dimensionnement géotechnique et hydraulique des digues de rétention ;
- Les prescriptions techniques pour les travaux ;
- Les adaptations du projet et les prescriptions de réalisation en phase de construction.

## 1.1 LOCALISATION

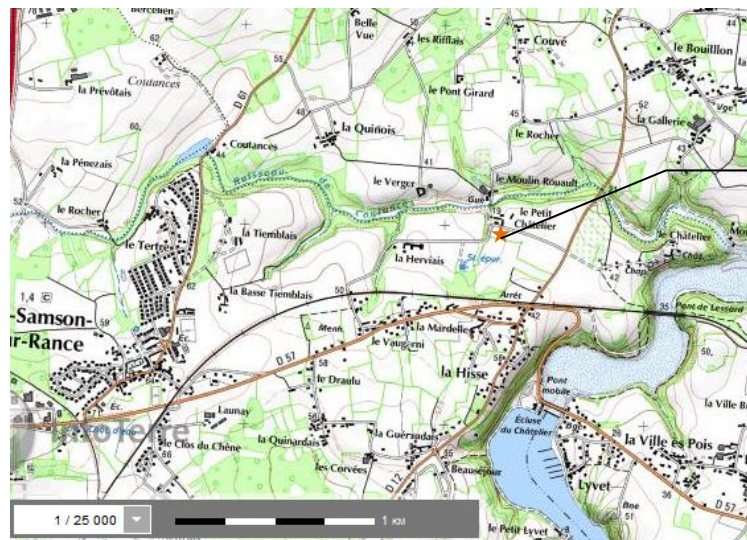


Figure 1-1 : localisation du projet

## 1.2 PRESENTATION DU PROJET

Le projet d'installation comprend six lagunes de stockage des sédiments selon la vue en plan masse ci-après .

La longueur projetée des lagunes est la suivante :

- Bassin de clarification : 45 m (entièrement imperméabilisée) ;
- Lagune 1 : 180 m ;
- Lagune 2 : 70 m ;
- Lagune 3 : 290 m ;
- Lagune 4 : 210 m ;
- Lagune 5 : 145 m.



Les remblais seront montés avec les matériaux issus du site. Les digues périphériques sont recouvertes d'un complexe d'étanchéité composé d'une membrane PVC d'1 mm (spécification non définie à ce stade de l'étude).

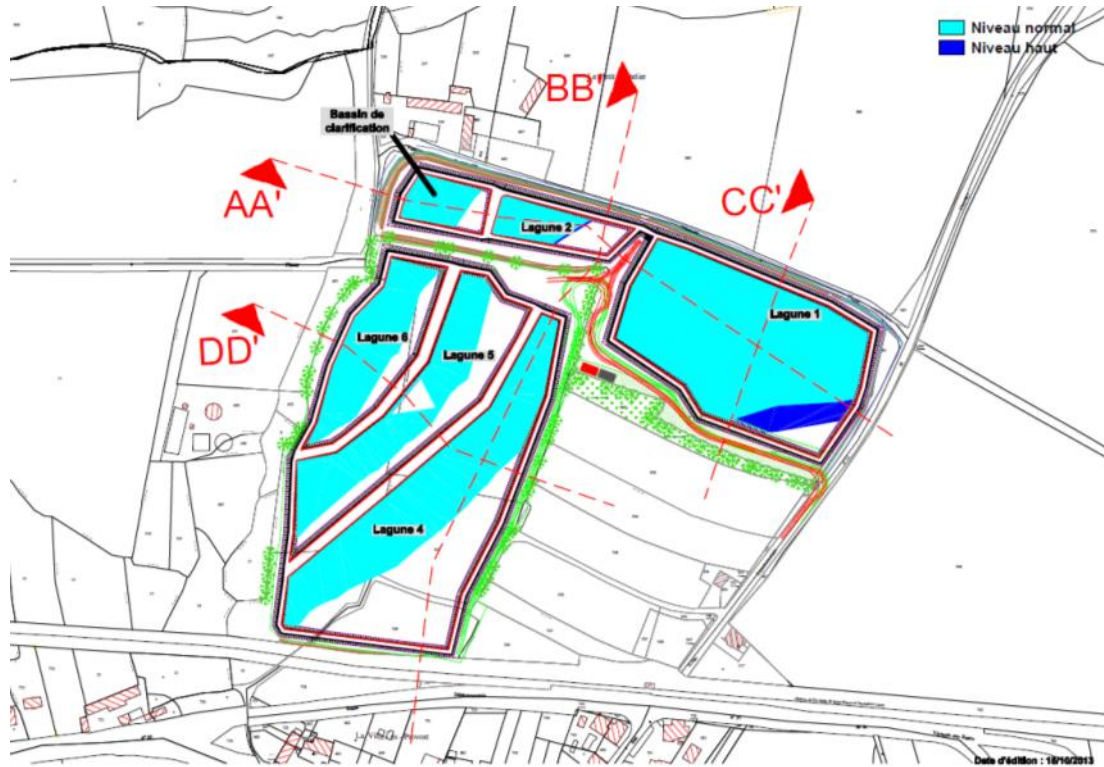


Figure 1-2 : vue en plan des ouvrages

Le profil dimensionnant correspond à la coupe AA, qui est la zone de plus grande hauteur de l'ouvrage. En pied, il y a une route communale de largeur environ 4 m ainsi que le lieu-dit du Petit Châtelier.

La hauteur de digue est d'au maximum 3 m par rapport au pied du terrain naturel aval (coupe AA) et d'1 m sur la topographie la plus haute du terrain (coupe CC et DD).

La hauteur d'eau maximale est de 2 m par rapport au fond des lagunes qui seraient décaissées de 0,75 m par rapport au terrain naturel.

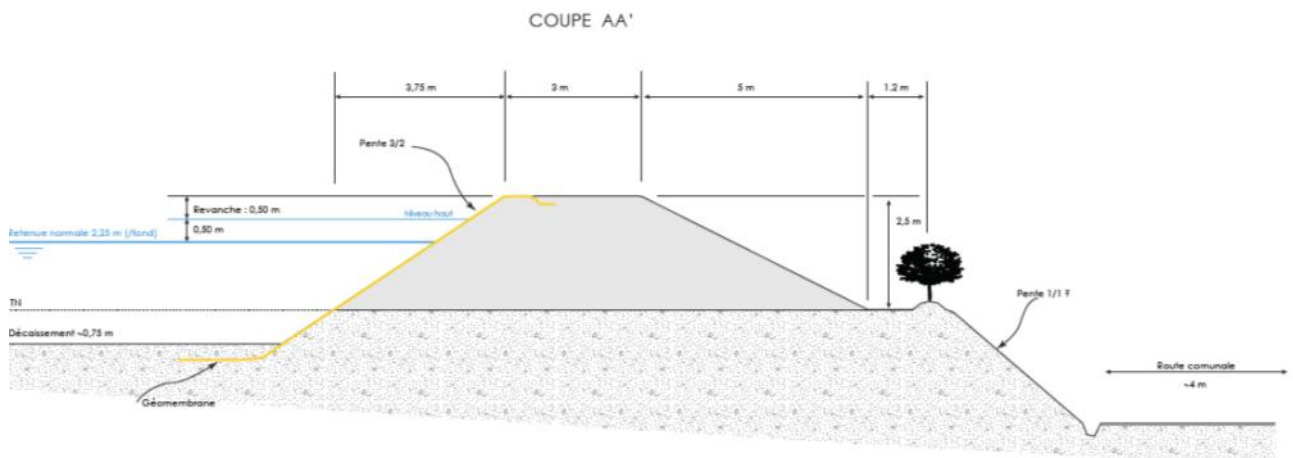


Figure 1-3 : profil dimensionnant

## 2 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

### 2.1 DIMENSIONNEMENT GEOTECHNIQUE

#### 2.1.1 PRINCIPE

La note de calcul vise à fournir une étude de la stabilité de l'ouvrage.

La méthodologie suivante est développée :

- Modélisation du remblai en se basant sur des valeurs prudentes de caractéristiques géotechniques du sol en place :
  - Selon la coupe AA avec le talus routier existant;
  - Selon les coupes BB, CC et DD avec un terrain naturel en pied de niveau ;
- Dimensionnement des travaux de façon à assurer la stabilité du projet. Le coefficient de sécurité recherché est de 1,5.

#### 2.1.2 NATURE GEOTECHNIQUE DU REMBLAI ET DE LA FONDATION

##### Etat de la connaissance

Les éléments de ce chapitre sont extraits des reconnaissances effectuées par le bureau d'études Idra. Il a été réalisé :

- Des sondages à la tarière à la main ;
- Des essais d'eau par remplissage d'un sondage réalisé à la main.

##### Substratum

Le matériau constituant les merlons des lagunes sera issu du site. D'après la carte géologique au 1/50 000<sup>ème</sup> les lagunes seront montées sur une formation composée d'arènes granitiques issues de l'altération anciennes des granitoïdes du massif mancellien.

L'épaisseur de l'horizon peut atteindre une dizaine de mètres.

Il convient pour assurer l'étanchéité des lagunes de ne pas recouper cet horizon. Le projet est conçu dans ce sens avec un décapage sur une épaisseur de 0,75 m de la terre végétale et de la terre arable. La terre est réutilisée pour monter les remblais de la lagune.

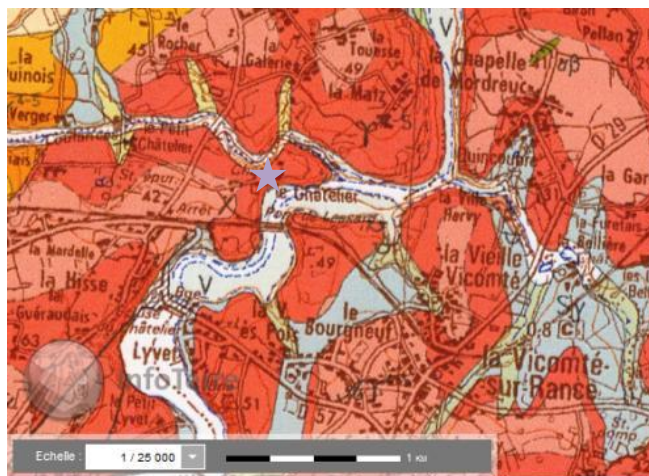


Figure 2-1 : extrait carte géologique au 1/50 000ème (source : infoterre)

## Remblai

Les matériaux reconnus dans l'épaisseur de décapage, soit 0,75 m sont dans les sondages visuellement sableux ou au moins limoneux et assez imperméables.



**Figure 2-2 : caractérisation visuelle des matériaux**

Il est effectué un essai d'eau qui montre le caractère plutôt imperméable de la terre végétale et de la couche arable avec les étapes suivantes :

- Remplissage du trou au temps  $t = 9\text{h}56$  ;
- Mesure du niveau d'eau au temps  $t$  restant = 13 h 40.



**Figure 2-3 : essai d'eau**

### 2.1.3 GEOMETRIE

Les calculs sont réalisés selon deux coupes type représentatives du projet :

- Coupe AA (selon la vue en plan) :
  - Bassin de clarification : 45 m (entièrement imperméabilisée) ;

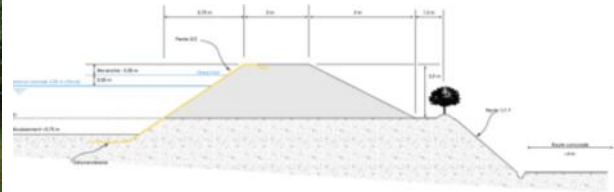


Figure 2-4 : localisation et géométrie type AA

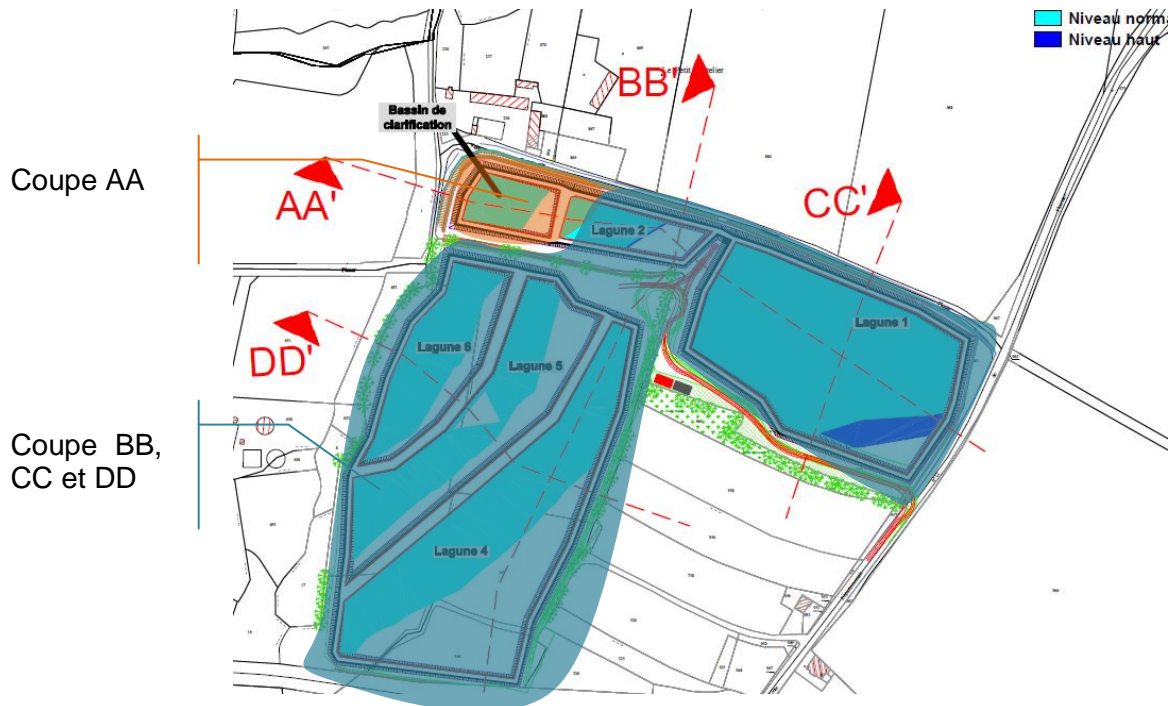


Figure 2-5 : emprise réservé à la coupe AA et la coupe BB

- Coupe BB, CC et DD (selon vue en plan) :
  - Lagune 1 : 180 m ;
  - Lagune 2 : 70 m ;
  - Lagune 3 : 290 m ;
  - Lagune 4 : 210 m ;
  - Lagune 5 : 145 m.

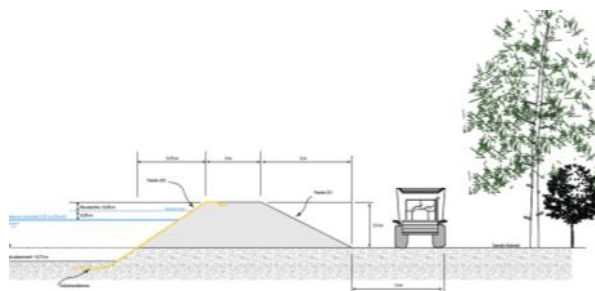


Figure 2-6 : localisation et géométrie type BB, CC et DD

## 2.1.4 SITUATIONS DE PROJET

Les situations de projet sont considérées conformément aux recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai, auxquels peuvent être assimilées les lagunes depuis la phase de réalisation des remblais (période de travaux) jusqu'à la phase de repli du site après remplissage des lagunes et assèchement des sédiments (période d'exploitation).

La stabilité de l'ouvrage est vérifiée pour les 3 types de situations de projet qui sont classées selon l'intervalle de temps pendant lequel les distributions de toutes les données peuvent être considérées comme constantes, à savoir situations durables, situations transitoires ou rares et situations accidentelles.

Les cas de charge retenus sont les suivants :

- **Situation normale d'exploitation** : vérification de la stabilité du talus aval à retenue pleine (période d'exploitation et de remplissage des lagunes)
- **Situation transitoire** : vérification de la stabilité du talus amont à retenue vide correspondant à la période de travaux. A long terme, les lagunes resteront toujours remplies. La situation « retenue vide » correspond donc à une situation transitoire;
- **Situation accidentelle** : Vérification de la stabilité du talus aval pour une crue extrême (période d'exploitation).

Les situations de projet étudiées sont décrites dans le tableau suivant :

Catégorie de situation	Situation	Talus concerné	Niveau
Situation normale d'exploitation	Retenue pleine	Talus aval	2,0 m
Situation transitoire	Retenue vide	Talus amont	-0,75 m
Situation accidentelle	Fuite au travers de la membrane	Talus aval	2,0 m

Tableau 2-1 : description des situations

## 2.1.5 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

### Cohésions, angles de frottement et poids volumiques

Sans essais de caractérisation des matériaux il est pris comme caractéristiques les valeurs prudentes suivantes pour le remblai, soit :

- $c' = 1 \text{ kPa}$
- $\varphi' = 30^\circ$
- $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$

### Coefficients partiels de sécurité

Le tableau suivant présente les situations considérées et les coefficients partiels appliqués.

Situation	Normale d'exploitation	Situation transitoire	Situation accidentelle
Coefficient partiel sur $\tan \varphi$ et $c = \gamma_r$	1,25	1,1	1,0
Coefficient partiel $\gamma_m$ sur le poids volumique	1,00	1,0	1,0
Coefficient de modèle $\gamma_d$	1,20	1,2	1,1
Facteur de sécurité recherché $FS = \gamma_d \cdot \gamma_r$	1,50	1,32	1,1

**Tableau 2-2 : coefficients partiels et facteurs de sécurité pour les situations de projet considérées**

Nota : Nous avons fait le choix de ne pas appliquer de coefficients de sécurité partiels sur les matériaux mais de rechercher un coefficient de sécurité global (incluant les coefficients partiels et le coefficient de modèle). Le coefficient global reste similaire à l'approche par coefficients partiels. Ce choix est guidé par le fait que nous ne disposons pas de valeurs mesurées des caractéristiques intrinsèques du matériau et que celles-ci sont des valeurs prudentes estimées par expérience.

## 2.1.6 CALCULS DE STABILITE

### 2.1.6.1 Présentation du logiciel

Le logiciel de modélisation employé est SLOPE développé par Geo-Studio.

Ce logiciel permet de faire des calculs de stabilité des pentes. Il utilise l'équilibre limite général : l'équilibre des forces et l'équilibre des moments.

La loi de comportement du matériau de remblai utilisée est la loi de Mohr Coulomb.

Le logiciel utilise plusieurs méthodes pour calculer le facteur de sécurité. Une analyse par la méthode de Bishop a été choisie.

### 2.1.6.2 Définition de la géométrie et choix des coupes de calcul

L'analyse a été menée sur deux profils différents afin de représenter au mieux les caractéristiques de l'ouvrage.

#### Géométries coupe AA

La première géométrie correspond à l'état projeté initial de la digue au niveau du lieu dit du Petit Chatelier. Ce profil correspond à la digue de la lagune 6 dite de clarification.

La deuxième géométrie étudiée est l'élargissement de la risberme entre le haut du talus de la route et le pied du talus de la lagune de clarification.

#### Géométrie coupe BB, CC et DD

La troisième géométrie correspond à l'état projeté initial de la digue des lagunes 1 à 5.

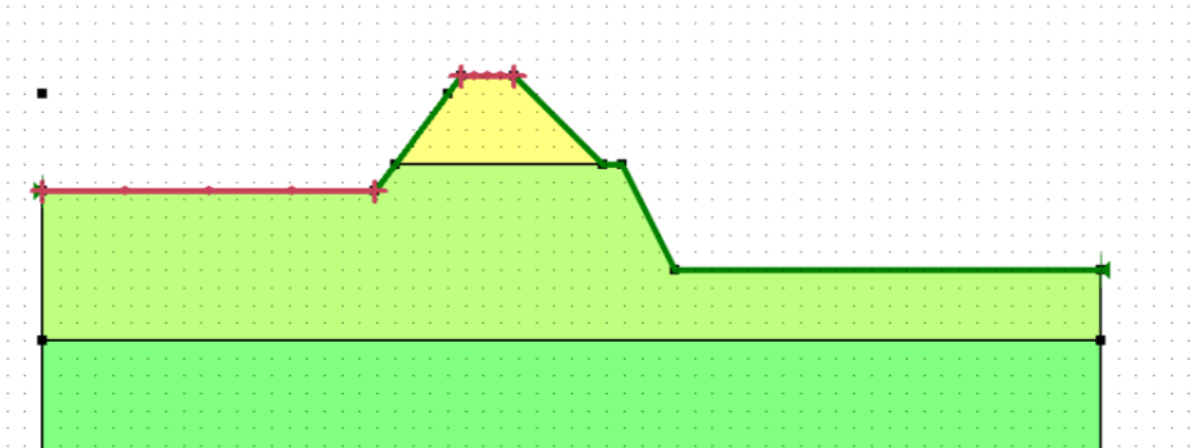


Figure 2-7 : modèle - géométrie 1 - coupe type AA

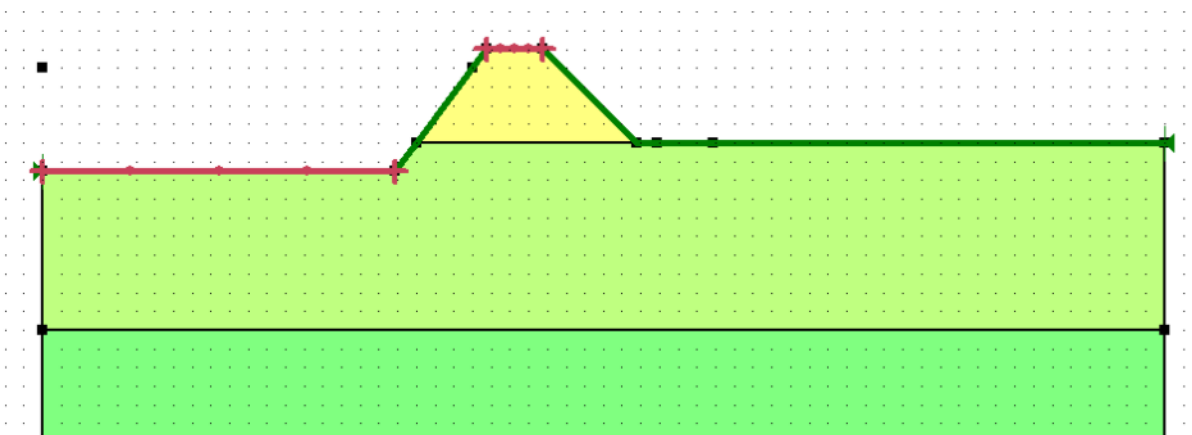


Figure 2-8 : modèle géométrie 3 – coupe type BB, CC et DD

Les géométries de profil modélisé pour mener les calculs sont détaillées dans le tableau suivant.

	Géométrie 1 2 et 3
Fruit du parement amont	1,5H/1V
Fruit du parement aval	2H/1V
Cote de la crête	2,5 m par rapport au TN
Largeur en crête	3 m
Cote du pied de talus amont	-0,75 m
Cote du pied de talus aval	0 m

Tableau 2-3 : principales caractéristiques géométriques du modèle – Géométries

### 2.1.6.3 Résultats de Calcul

Les figures suivantes présentent le coefficient de sécurité le plus faible ainsi que le cercle de glissement correspondant.

### Situation normale d'exploitation

- Géométrie 1

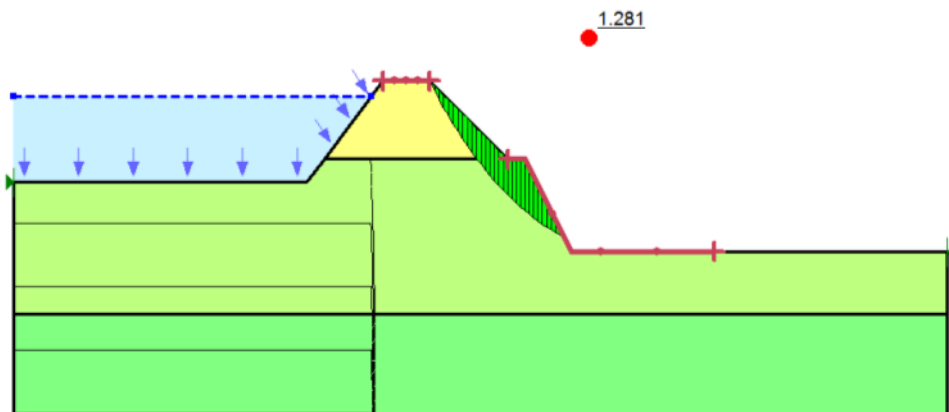


Figure 2-9 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation normale d'exploitation-  
Géométrie 1 – FS = 1,281 (talus aval)

- Géométrie 2

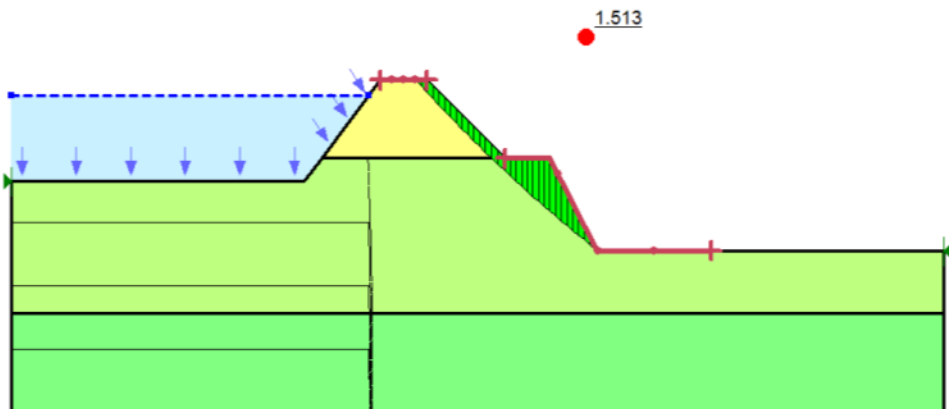


Figure 2-10 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation normale d'exploitation  
Géométrie 2 – FS = 1,513 (talus aval)

- Géométrie 3

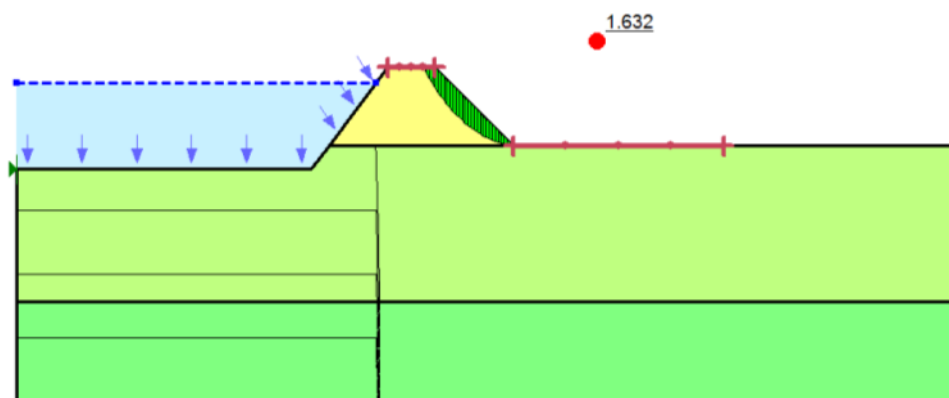


Figure 2-11 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation normale d'exploitation  
Géométrie 3 – FS = 1,632 (talus aval)



### Situation transitoire

- Géométrie 1

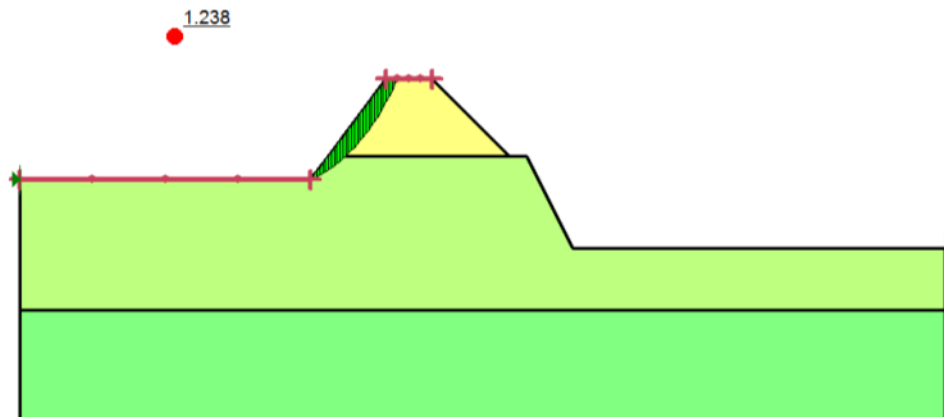


Figure 2-12 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation transitoire- Géométrie 1 –  
FS = 1,238 (talus amont)

- Géométrie 2

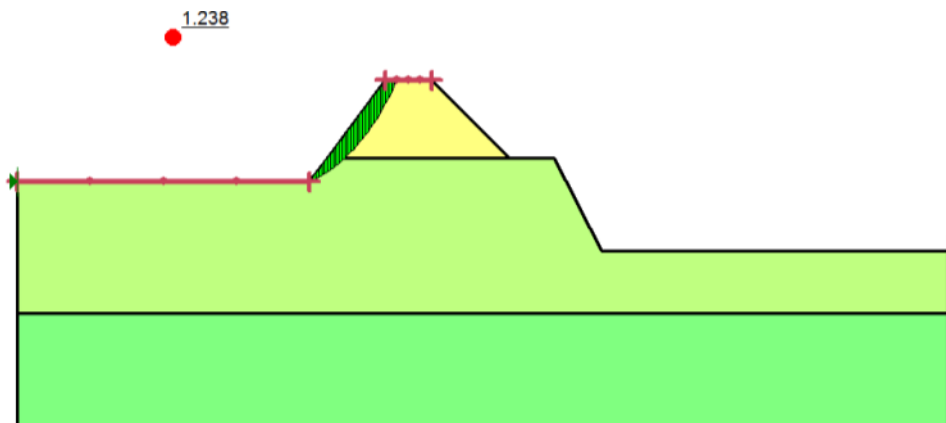


Figure 2-13 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation transitoire- Géométrie 2 –  
FS = 1,238 (talus amont)

- Géométrie 3

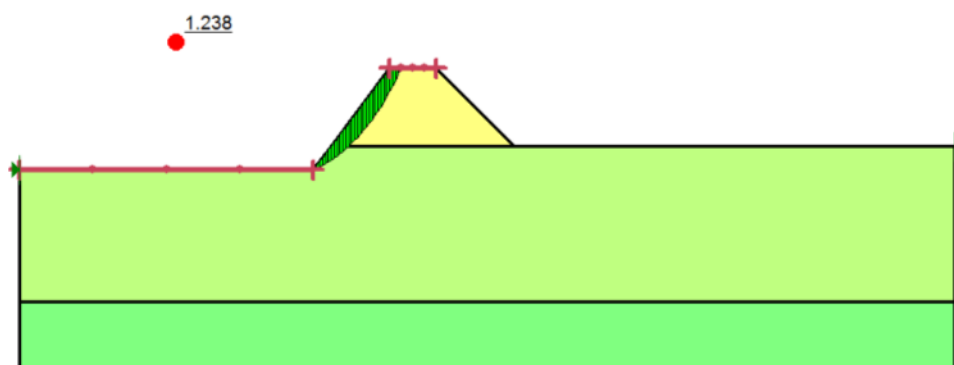
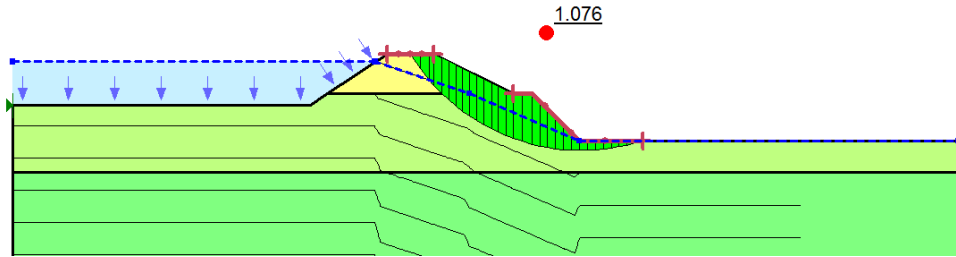


Figure 2-14 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation transitoire  
Géométrie 3 – FS = 1,238 (talus amont)

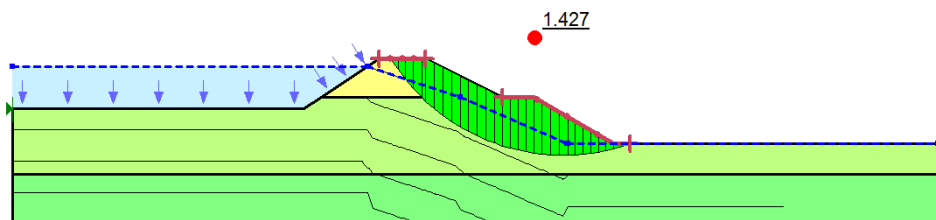
### Situation exceptionnelle

- Géométrie 1



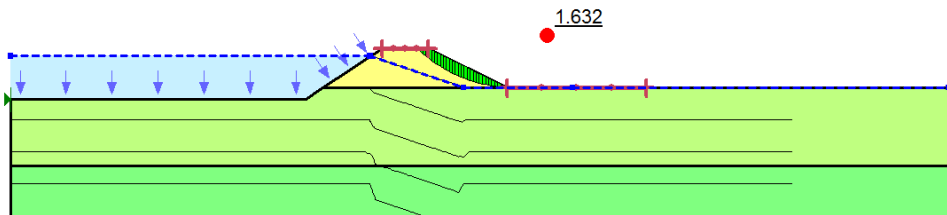
**Figure 2-15 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation exceptionnelle  
Géométrie 1 – FS = 1,076 (talus aval)**

- Géométrie 2



**Figure 2-16 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation exceptionnelle  
Géométrie 2 – FS = 1,427 (talus aval)**

- Géométrie 3



**Figure 2-17 : cercle de glissement et facteur de sécurité en situation exceptionnelle  
Géométrie 3 – FS = 1,632 (talus aval)**

### Conclusion

Pour le talus amont, il est constaté que l'ensemble des facteurs de sécurité est inférieur à la valeur limite de 1,32 tout en restant supérieur à 1. Le talus est stable en situation normale mais la stabilité peut être remise en cause lors d'évènement pluvieux orageux par ravinement du parement par exemple. Cela peut toutefois être acceptable dans la mesure où les lagunes ont vocation à rester pleines. Cette situation peut donc être considérée comme transitoire. Une pente à 2H/1V permet d'assurer la stabilité du talus avec un coefficient de sécurité de 1,632 (FS > 1,32).

- Il convient d'adoucir la pente des talus de hauteur moyenne 3 m à 2H/1V. Un fruit de 1,7H/1V est toutefois satisfaisant ;
- Le fruit des talus de hauteur inférieure à 3 m peut-être conservé à 1,5H/1V. Il convient pour limiter le ravinement du talus amont qu'une bonne coordination en travaux soit effectuée entre les équipes de terrassiers et de poseur de la géomembrane, ce qui permet de minimiser le temps d'exposition de ces surfaces.

Pour le talus aval de la lagune 6 (clarification) le facteur de sécurité n'est pas respecté pour la géométrie 1 en situation normale et en situation dégradée. En effet le remblai est considéré sûr avec sa hauteur et sa pente actuelle projeté mais l'implantation de l'ouvrage à proximité de la ligne de crête d'un talus routier le rend non sûr. La solution est de réduire la pente moyenne à l'aide d'une risberme. Il convient de mettre en œuvre une sur-largeur d'au moins 3 m entre le pied de la lagune et le haut du talus routier selon le profil de la géométrie 2.

Pour le talus aval des lagunes 1 à 5, il peut être considéré stable suivant le profil de la géométrie 3.

La situation exceptionnelle de crue n'est pas présentée dans l'étude. Le calcul avec la situation exceptionnelle montre une très légère amélioration, qui est en fait uniquement due aux coefficients partiels sur les matériaux et au coefficient de modèle global, étant donné que la ligne d'eau n'influence pas la stabilité (pas d'eau dans le remblai).

L'ensemble des résultats est synthétisé dans le tableau ci-dessous :

	Situation normale	Situation transitoire	Situation exceptionnelle
<b>Facteur de sécurité recherché</b>	1,5	1,32	1,1
<b>1 - état projeté 1 pour la lagune 1</b>	1,281 (talus aval)	1,238 (talus amont)	1,076 (talus aval)
<b>2 – état projeté 2 pour la lagune 1</b>	1,513 (talus aval)	1,238 (talus amont)	1,427 (talus aval)
<b>3 – état projeté pour les lagunes 2 à 5</b>	1.632 (talus aval)	1,238 (talus amont)	1,632 (talus aval)

**Tableau 2-4 : synthèse des résultats de la modélisation Slope pour le talus aval et amont**

## 2.2 DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

### 2.2.1 PRINCIPE DE RECHERCHE DE LA REVANCHE ADMISSIBLE

L'étude des débits est exigée pendant la durée de l'opération d'exploitation des lagunes jusqu'à la réinsertion dans l'environnement. En effet, la nature hautement érosive des matériaux de remblais utilisés pour les lagunes entraînerait probablement une rupture en cas de déversement sur la crête.

Les apports proviennent de la précipitation directe sur la surface de la retenue des lagunes.

La revanche admissible entre le niveau normal de remplissage des lagunes et le niveau de la crête du remblai est recherchée en prenant en compte pendant la période d'exploitation des lagunes :

- La hauteur de pluie maximale qui peut être stockée dans les lagunes ;
- Le tassement du remblai des lagunes ;
- L'effet du vent et des vagues sur les lagunes au début de la période d'exploitation.

La revanche est recherchée par analogie aux méthodes utilisées pour calculer la revanche sur les barrages, auquel peut être assimilé la lagune pendant la période d'exploitation. Les lagunes seraient ainsi assimilées à un ouvrage de classe D.

Les périodes de retour de référence d'un évènement pluvieux pour le dimensionnement des barrages de classe D en remblai sont :

- Crue de projet : période de retour 300 ans ;
- Situation exceptionnelle : période de retour 1 000 ans ou probabilité  $1.10^{-3}$ .

L'analyse des pluies maximales journalières a conduit à considérer deux saisons distinctes en termes de risque :

- La période hivernale au cours de laquelle les pluies longues mais d'intensité modérée, sont à l'origine des crues les plus fréquentes ;
- La période estivale au cours de laquelle les crues sont provoquées par des averses orageuses exceptionnelles.

Les particularités à prendre en compte sont :

- Ce type d'ouvrage est alimenté uniquement par la pluie tombant sur la surface de la retenue.
- Le remplissage initial des retenues aura lieu une seule fois (lors des travaux). Le débit entrant est ensuite considéré nul.

## 2.2.2 METHODE D'ESTIMATION DES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS

L'intensité de pluie est calculée à partir des coefficients de Montana, par la formule :

$$Ip = a.t^{-b}$$

Avec :

- a et b, coefficient de Montana, à la station de Pleurtuit (aéroport de Dinard) ;
- t durée de référence en min.

Cette méthode permet d'obtenir les hauteurs de précipitations jusqu'à une période de retour de 100 ans.

Les données au période de retour 300 et 1 000 ans sont ensuite estimées par ajustement à une loi logarithmique.

## 2.2.3 ANALYSE HYDROLOGIQUE

Le tableau suivant donne les valeurs de lame d'eau en hauteur tombée, pour une pluie de durée 2 h et 24 h.

Période de retour	Coefficient de Montana		Pluie de durée 2 h	Coefficient de Montana		Pluie de durée 24 h
	a	b	Hauteur (mm)	a	b	Hauteur (mm)
5 ans	2,53	0,479	30,6	6,32	0,726	46,3
10 ans	2,93	0,474	36,4	7,62	0,732	53,5
20 ans	3,21	0,461	42,3	8,89	0,738	59,8
30 ans	3,39	0,457	45,7	9,63	0,740	63,8
50 ans	3,69	0,458	49,4	10,48	0,742	68,4
100 ans	3,97	0,451	55,0	11,71	0,745	74,8
300 ans	-	-	64,1	-	-	85,4
1 000 ans	-	-	73,9	-	-	96,8

Tableau 2-5 : estimation des débits de crues

## 2.2.4 DEFINITION DE LA HAUTEUR DE PRECIPITATIONS DE DIMENSIONNEMENT

Les hauteurs de référence sont :

- Projet : T= 300 ans, hauteur de pluie de 6,5 à 8,5 cm.  
Situation exceptionnelle : T 1000 ans, hauteur de pluie de 7,4 à 9,7 cm.

Les hauteurs d'eau dans la retenue sont donc :

	Été (pluie de 2 h)	Hiver (pluie de 24 h)
	Lame d'eau équivalente stockée sur la retenue (m)	
<b>Projet</b>	0,06	0,08
<b>Sécurité</b>	0,07	0,10

Tableau 2-6 : synthèse des débits de crues

Pour cet ouvrage, la pluie d'hiver peut être stockée totalement dans la retenue. Elle est équivalente à une lame d'eau de 10 cm.

## 2.2.5 CALCUL DE LA REVANCHE PAR RAPPORT AUX VAGUES

Nota : la vérification des vagues est effectuée en conformité avec les règles de l'art. Toutefois, il convient de préciser que le matériau de remplissage des lagunes (hors le bassin de clarification de dimension plus réduite) est un sédiment dragué (mélange eau+vase). La formation de vague sur ce type de matériau reste très peu probable.

La revanche est calculée par rapport aux vagues pour 2 cas types :

- PHE + vent 50 ans ;
- RN + vent 1 000 ans ;

La revanche calculée par la formule de Gaillard pour un fetch de 190 m est de 40 à 50 cm au dessus du niveau statique considéré (PHE ou RN).

Formule de Gaillard	Revanche	Cas 1	Cas 2
		PHE + vent 50 ans	RN + vent 1000 ans
		0.40	0.48

Tableau 2-7 : synthèse de la revanche par rapport aux vagues

## 2.2.6 PRISE EN COMPTE DU TASSEMENT

Il faut tenir compte des possibles tassements des fondations et du remblai. Pour le remblai seul, le tassement après construction peut être estimé à 1 % de sa hauteur soit environ 3 cm.

Compte tenu de la hauteur de l'ouvrage, on considèrera une revanche supplémentaire de 3 cm en cas d'éventuel tassement dans le temps.

## 2.2.7 CHOIX DE LA REVANCHE

Les caractéristiques suivantes sont retenues :

Recherche de la revanche	Lame d'eau	Revanche vis-à-vis des vagues	Tassement	Revanche totale
RN	-	0,48	0,03	0,51
PHE	0,08	0,40	0,03	0,51
Exceptionnel	0,10	-	0,03	0,13

Tableau 2-8 : synthèse des caractéristiques

La revanche vis-à-vis des vagues à la cote de retenue normale est le paramètre dimensionnant bien qu'étant le moins caractéristique. Les paramètres tassement et crues donnent de très faibles hauteurs mais sont les paramètres les plus importants

**Il nous semble donc judicieux, compte tenu des particularités de l'ouvrage de retenir une revanche de 50 cm avec la cote de crête.**

## 3 ADAPTATIONS DU PROJET ET PRESCRIPTIONS

### 3.1 ADAPTATION DU PROJET

#### 3.1.1 PENTES DE TALUS ET LARGEUR EN CRETE

Les pentes de talus prévues au projet sont de 1,5H/1V pour les talus intérieurs et 2H/1V extérieurs. La pente de talus intérieur doit être adoucie à 2H/1V pour la talus de hauteur 3 m si les conditions météorologiques du chantier lors de la mise en œuvre se dégrade.

Ce fruit respecte les règles de l'art. Le talus intérieur est plus raide mais la pente est acceptable dans le sens où le remplissage de la lagune apporte une certaine stabilité au parement amont au fur et à mesure du remplissage (la situation défavorable est la situation en travaux avec lagune vide pour le talus amont).

La largeur en crête est de 3 m. Cela permet d'assurer un bon compactage du remblai et de faire circuler un engin d'entretien.

#### 3.1.2 REVANCHE

La pluie de période de retour millénaire peut être entièrement stockée dans les lagunes.

Dans ce cas un ouvrage supplémentaire d'évacuation des crues n'est pas indispensable.

Il convient de conserver une revanche de 50 cm.

### 3.2 PRESCRIPTIONS DES TRAVAUX

Les prescriptions portent sur :

- La préparation du terrain de fondation :

Deux sondages à la pelle sont réalisés pour vérifier la profondeur du substratum. Le terrain naturel est décapé de la terre végétale et essouché. Aucuns vides attribuables à la putréfaction de certains matériaux et où des déformations ne peuvent être tolérés en-dessous des parties du remblai des lagunes. La profondeur ne pourra pas être plus importante afin d'éviter de recouper toute hétérogénéité de l'arène granitique et compromettre l'étanchéité des lagunes.

- La mise en œuvre du matériau de remblai :

Les matériaux pour l'utilisation en remblai sont les matériaux du site.

Le matériau mis en œuvre est exempt de débris végétaux ou divers et blocs supérieurs à 100 mm.

Le matériau sera mis en œuvre par couche horizontale compactée. La qualité de compactage recherchée est à 98,5 % de l'Optimum Proctor (objectif q3). La méthode de compactage (épaisseur des couches et nombre de passes) sera définie selon la nature et l'état d'humidité et conformément aux recommandations du GTR92 en fonction de l'engin de compactage utilisé.

Les prescriptions minimales suivantes seront respectées :

- Couche d'épaisseur maximum 40 cm ;
- Compactage par 5 passes (aller/retour) minimum ;
- Utilisation d'un compacteur avec rouleau à pied de mouton.

Le matériau sera mis en œuvre par la méthode du remblai excédentaire ; le profil fini étant obtenu par terrassement de la frange superficielle extérieure.

Les parements de la digue finie seront recouverts de terre végétale récupérée sur site.

- La mise en œuvre d'une membrane :

Le dispositif d'étanchéité par géomembrane est sensible au poinçonnement et aux chocs pouvant provoquer des déchirures. L'étanchéité dans le long terme est garantie par :

- La qualité des soudures des lés : il convient de dérouler les feuilles dans le sens de la pente avec un recouvrement d'au moins 10 cm. Un contrôle de chaque joint devra être effectué ;
- L'ancrage de tête de talus : la membrane est ancrée en tête dans une tranchée creusée et remblayée de terre compactée ;
- L'ancrage de pied de talus : la membrane est ancrée dans une tranchée remplie d'argile ou la membrane est pincée ;
- La préparation du support : il convient que le sol support soit expurgé de tout élément dur et anguleux. Un géotextile non adhérent à la membrane peut compenser l'agressivité du support naturel. Il importe que le géotextile ne soit pas solidaire à la membrane pour éviter qu'une éventuelle déchirure de la membrane ne soit transmise au même emplacement au géotextile.

### 3.3 MOYENS DE CONTROLE

Les moyens de contrôle sont définis afin de vérifier la qualité du travail réalisé. Ils sont à la charge de l'Entreprise et comprennent à minima :

- Essai sur le matériau d'emprunt : (à réaliser préalablement aux travaux)
  - Une analyse granulométrique, avec définition de la classe GTR ;
  - Une mesure de la teneur en eau naturelle ;
  - Une mesure des limites Atterberg ;
  - Un essai Proctor normal ;

Objectif : valider le choix du matériau et définir la méthode de compactage.

- Essai sur le remblai mis en place :
  - Deux campagnes d'essais pendant la réalisation avec chacune huit points d'essais au gammadensimètre ;

Objectif : vérifier le compactage du remblai.

### 3.4 PRESCRIPTIONS POUR L'ENTRETIEN FUTUR

Les prescriptions sont les suivantes :

- Prévoir un chemin de circulation de 4 m de large en pied de chaque digue,
- Prévoir une circulation possible en crête (rampe d'accès, largeur permettant la circulation d'engins d'entretien),
- La surface et les pieds de talus seront maintenus enherbés (proscrire les arbustes et buissons).
- Toutes les conduites de décantation doivent être d'accès facile aux fins d'inspection ;



- Des inspections régulières de l'état des talus des lagunes constituent une partie essentielle du programme de surveillance. Lors des inspections une attention particulière doit être portée sur :
  - La présence de fissures parallèles ou transversales à la ligne de crête des talus ou sur le talus proprement dit ;
  - Tout affaissement de la ligne de crête des talus ;
  - L'émergence de débit de percolation au pied d'un talus. Ceci serait révélé par l'humidité de la surface, par une concentration locale de végétation ou par une érosion régressive de la surface du talus.
- L'apparition de l'un de ces signes avertisseurs est une indication très marquée de l'instabilité du talus et requiert de ce fait des mesures correctives.

## 4 SYNTHÈSE

Les adaptations nécessaires du projet vis-à-vis des règles de l'art sont les suivantes :

- Revanche entre le niveau maximale de remplissage et la crête des lagunes :
  - Revanche admissible de 50 cm ;
  
- Géométrie de l'ouvrage :
  - Bassin de clarification : il convient de décaler le pied du talus de 3 m par rapport au haut de talus de la route et d'adoucir le fruit du talus intérieur à 2H/1V ou au moins 1,7H/1V ;
  - Lagune 1 à 5 : pour les talus de hauteur moyenne m 3 il convient d'adoucir la pente du talus à 2H/1V ou au moins 1,7H/1V.
  
- Surveillance de l'ouvrage en période normale :
  - Une visite par mois ;
- Surveillance de l'ouvrage en période dégradée :
  - Une visite après un évènement pluvieux ( $H > 50$  mm en 24h).