

Journée technique CFBR – CFMS – SPTF FNTP du 16 mai 2019

23 Avenue Condorcet, Villeurbanne **INDURA**
Auvergne-Rhône-Alpes

Utilisation des sols résiduels tropicaux dans la construction du barrage de Moreau



Patrick SOULAT, SUEZ Consulting (SAFEGE)

Journée organisée par :



CONCEPTION ET CONSTRUCTION des ouvrages en sols fins



Sommaire

- ❑ Caractéristiques du barrage
- ❑ Contexte géologique et géotechnique
- ❑ Caractéristiques des lapillis
- ❑ Avancement du chantier
- ❑ Mise en œuvre des remblais
- ❑ Conclusion

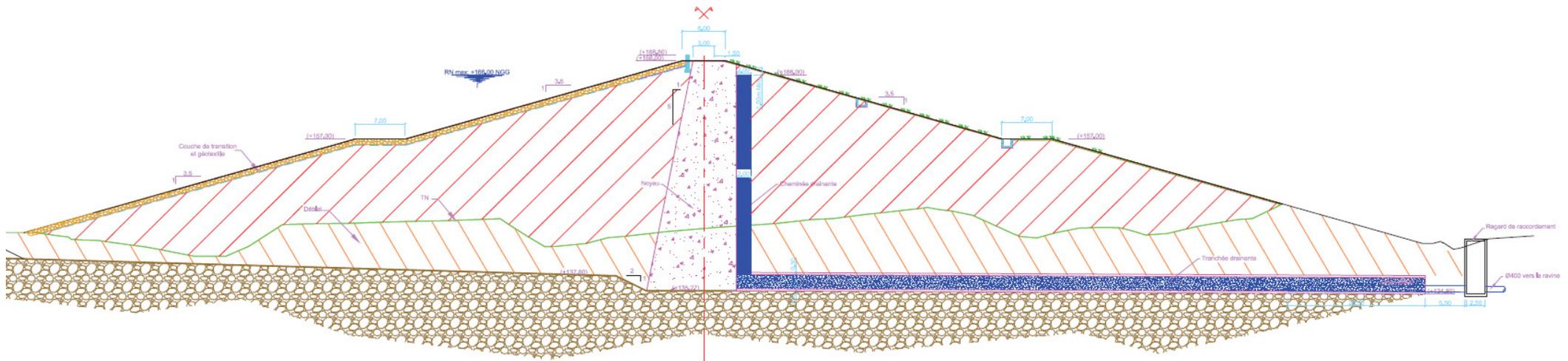
Principales caractéristiques

Usage : irrigation

Caractéristiques principales de l'ouvrage

Type de barrage	Barrage remblai homogène
Terrain de fondation	Dépôts volcaniques anciens argilisés
Hauteur max au-dessus du terrain naturel sur l'axe	27,00 m
Longueur en crête	255 m
Largeur en crête	6,0 m
Fruits du parement amont	3,5/1 avec risberme à 157 m NGG
Fruits du parement aval	3,5/1 avec risberme à 157 m NGG
Altitude de la crête du barrage	168,00 m NGG / muret 168,80 m NGG
Altitude de la crête du déversoir (RN)	166,00 m NGG
Altitude de la PHE	167,00 m NGG
Aire de la retenue au niveau normal	9,80 ha
Capacité de la retenue	990 000 m ³

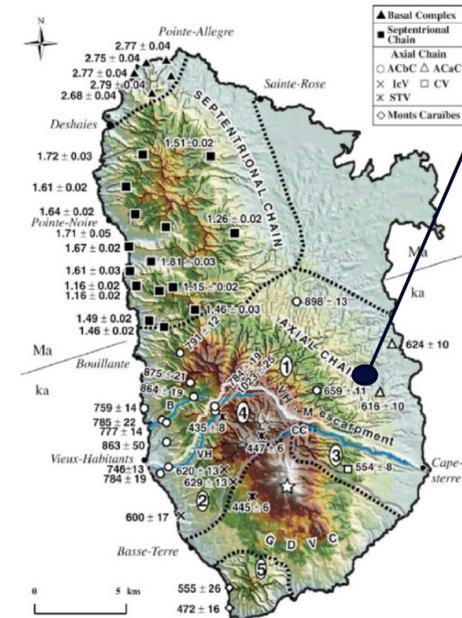
Coupe type



Géologie

Formations volcaniques de la Chaîne Axiale :

La formation la plus courante sur le site est composée de lapillis, formations argileuses rencontrés depuis le lit de la ravine Zombi jusqu'au sommet des deux rives (avec une coulée d'andésite localisée). Les couches constituent des dépôts d'âges différents.



Projet du barrage Moreau

Géologie

Matériaux	γ_d t/m ³	W %	WL %	IP	pF 3,0	Proctor		Caractéristiques mécaniques moyennes		Faciès
						W _{opm}	γ_{opm}	C en bar	ϕ en °	
Andosols (Allophanes)	0,3 à 0,8	70 à 225	75 à 300	10 à 100	67 à 192	76,2	0,84	$C' \approx 0$ $C_{uu} \approx 1,3$	$\phi \approx 36^\circ$ $\phi_{uu} \approx 25^\circ$	Aspect limoneux, raide à mou, très humide, glissant, jaune à ocre à léger. Caractéristiques dans les régions à pluie >2m/ an et sur poncé. Test N a F très positif
Sols à Halloysite (parfois allophanes en petite quantité)	environ 1,0 à 1,1	10 à 70	40 à 98	15 à 40	30 à 50	40,0	1,4	très variable, selon le degré de saturation C_{uu} de 0,5 à 1,2 ϕ_{uu} de 0,0 à 35		Argile très plastique, consis- tance moyenne, humide, brun- jaune à brun-rouille, puissance 1 à 3 m Test N a F faible à nul
Autres altérites (kaolinite, mont- morillonite, par- fois halloysite en petite quanti- té).	environ 1,0 à 1,2	30 à 50	68 à 119	20 à 40	40 à 60	29 à 33	1,3	essai uu $\left\{ \begin{array}{l} C \approx 0,5 \\ \phi \approx 30 \end{array} \right.$ essai cd $\left\{ \begin{array}{l} C = 0,1 \\ \phi = 28 \end{array} \right.$		Argile plastique, raide, humi- de, rouge à rouge brun à bario- lée en profondeur (transition avec l'horizon C), puissance : plusieurs mètres. En Martinique : sur roche mère lavique. Parfois recouvert (1 à 10 m) par des cendres pé- léennes plus ou moins altérées ou des sols à halloysite domi- nant Test N a F faible à nul

Propriétés physiques et géotechniques des argiles dans les Antilles françaises – Atlan et Feller (1984)

Géologie

L'**allophane** est composée d'une importante fraction d'eau structurelle qui s'évapore à 105°C mais pas à 50°C.

L'**halloysite** appartient à la famille des **kaolinites**
La **kaolinite et l'halloysite** sont des argiles relativement ordinaires qui proviennent, dans la plupart des cas, de l'altération hydrothermale de dépôts volcaniques.
=> ce sont des matériaux très fréquents dans les pays tropicaux volcaniques dont la Guadeloupe fait partie.

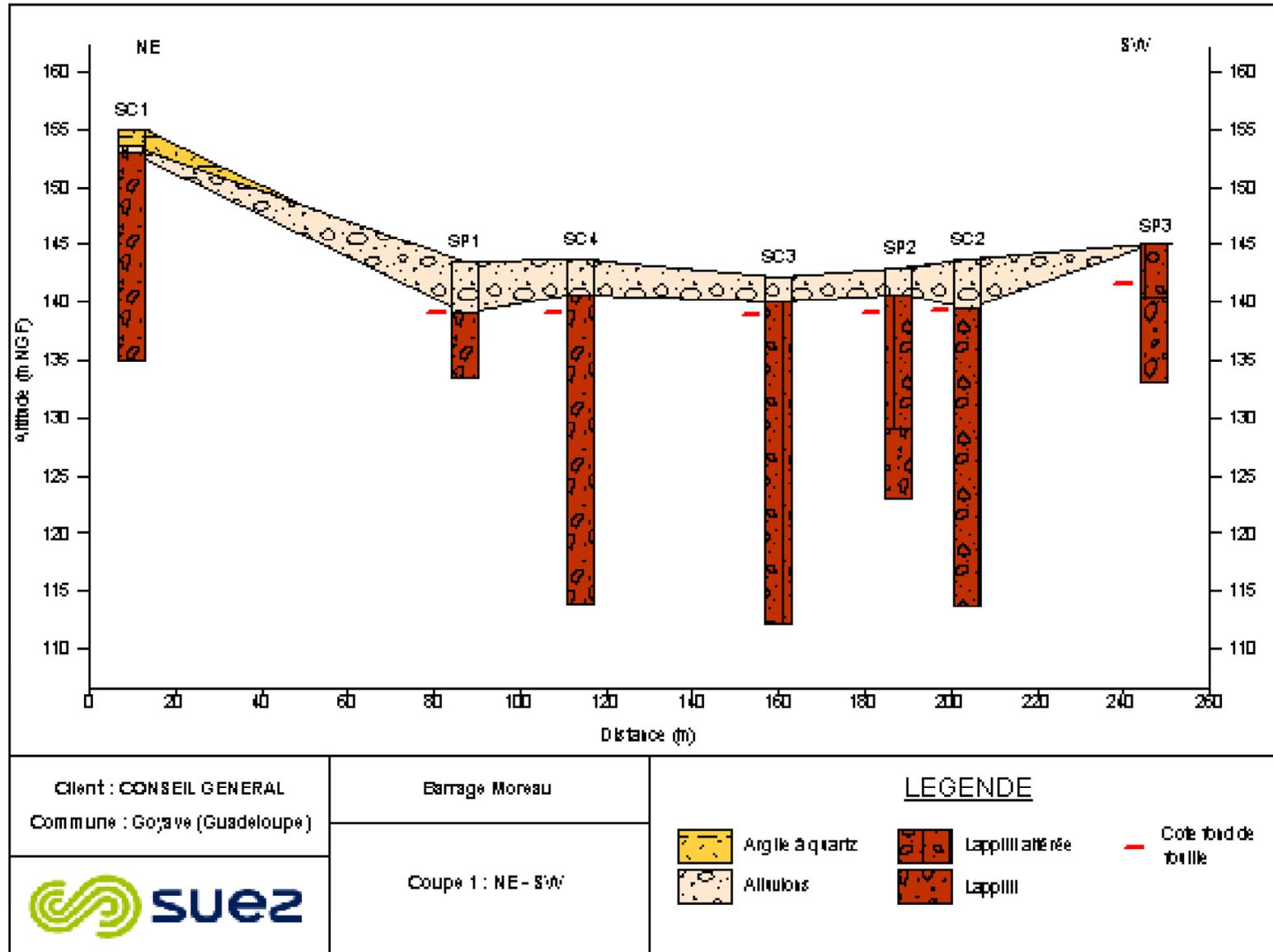
Géotechnique

La fondation du barrage :

- ❑ des alluvions superficielles identifiées en fond de vallée,
- ❑ **une épaisseur de quelques mètres de roche volcanique très altérée (lapillis) et saturée en eau, du fait de la présence de la nappe phréatique en fond de vallée,**
- ❑ **Sous cette couche de roche très altérée, la roche tendre plus compacte.**

D'un point de vue géologique, la structure de la roche est composée de plis, de joints, de veines qui augmentent localement la perméabilité généralement faible. Ces veines sont les chemins privilégiés des écoulements.

Géotechnique



Adaptations techniques

Limite assez nette (sondages à la pelle + profils sismiques) entre la roche très altérée et le substratum altéré apte à assoir le barrage.

- ❑ purge des matériaux de fond de vallée (lapillis très altérés) sur une épaisseur allant jusqu'à 6 mètres.
- ❑ filtre drain de contact sous la recharge aval (perméabilité faible, mais possibilité de circulations d'eau dans les plis et veines)

Lapillis

3% de teneur en eau, entre l'étuvage à 50°C et 105°C

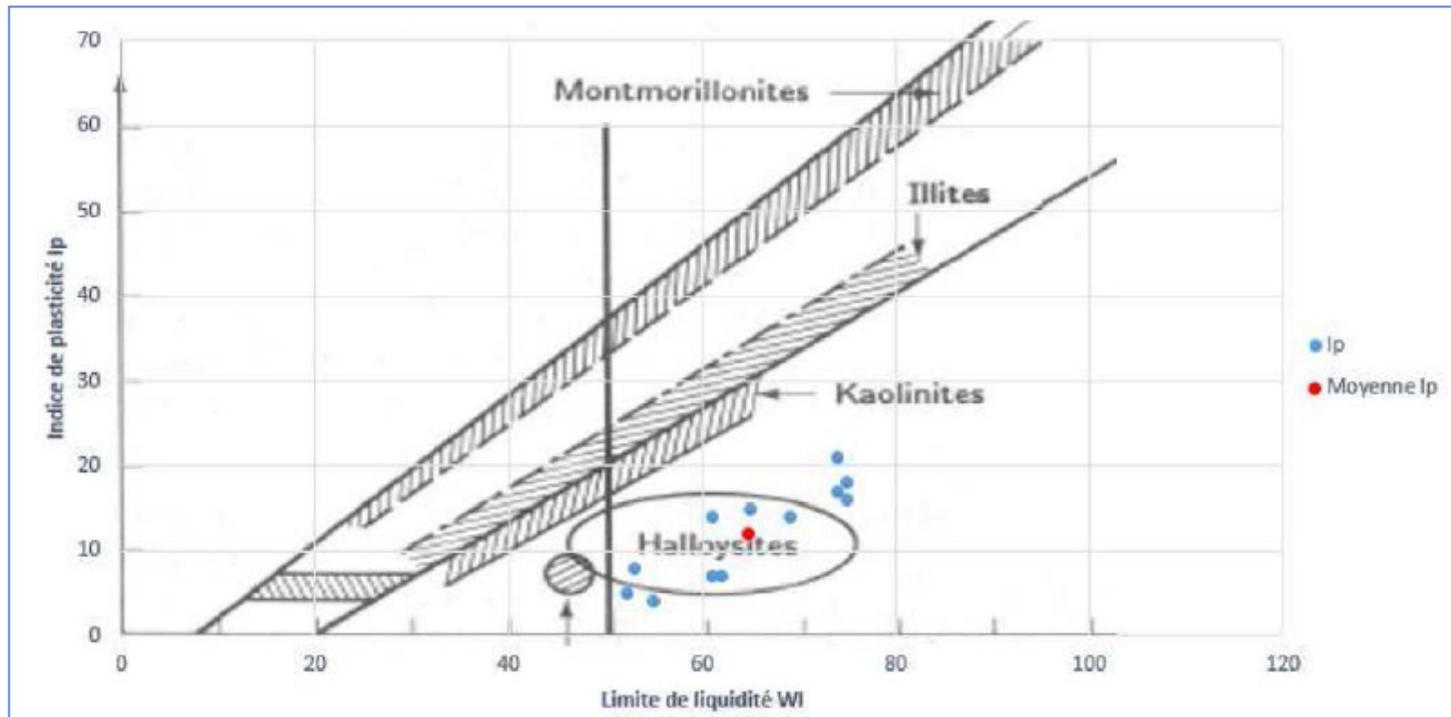
+ analyses chimiques => halloysite et non allophane

La kaolinite et l'halloysite sont de bons matériaux pour la construction d'un barrage :

- ❑ argiles peu actives = peu sensibles au retrait et gonflement en présence d'eau,
- ❑ moins plastiques que les allophanes
- ❑ surface spécifique très élevée et une densité sèche faible
- ❑ résistance au cisaillement (talus verticaux stables)

Les lapillis = en fondation du barrage + matériau de remblai

Caractéristiques des lapillis



Abaque de plasticité de Casagrande

- ❑ Indice de plasticité de 10 en moyenne, avec une majorité de valeurs inférieures à 20.
- ❑ Limite de liquidité moyenne est de 64 % (relativement peu plastique).

Lapillis

- ❑ Masses volumiques saturées **$\gamma_{\text{sat}} \text{ moyen} = 1,68 \text{ t/m}^3$**
- ❑ Masse volumique sèche moyenne mesurée à l'OPN est de **$\gamma_{\text{d-OPN}} \text{ moyen} = 1,09 \text{ t/m}^3$** .
Le matériau est saturé ou proche de la saturation à l'état naturel.
- ❑ Teneurs en eau naturelles : hétérogènes, elles varient de 46 à 57% avec **$W_{\text{nat}} \text{ moyen} = 51\%$** .
- ❑ Teneur en éléments **$< 80\mu\text{m} = 77,3\%$** en moyenne
- ❑ Porosité moyenne **$n = 0,63$** .
- ❑ Indice des vides moyen **$e = 1,73$** .
Le volume de vides de ce matériau est donc supérieur au volume de solide.

Avancement du chantier

- ❑ Les remblais ont débuté en octobre 2016.
 - ❑ A fin 2018, 300 000 m³ de remblai mis en oeuvre, soit une hauteur d'environ de 10 m,
 - ❑ Cadence : environ 700 m³/jour,
 - ❑ Les travaux ont été fortement perturbés par les intempéries (environ 120 jours d'intempéries depuis le début du chantier).
-
- ❑ *Volume total de remblai : 580 000 m³,*
 - ❑ *Hauteur totale du barrage : 27 m*

Mars 2019



Mise en oeuvre

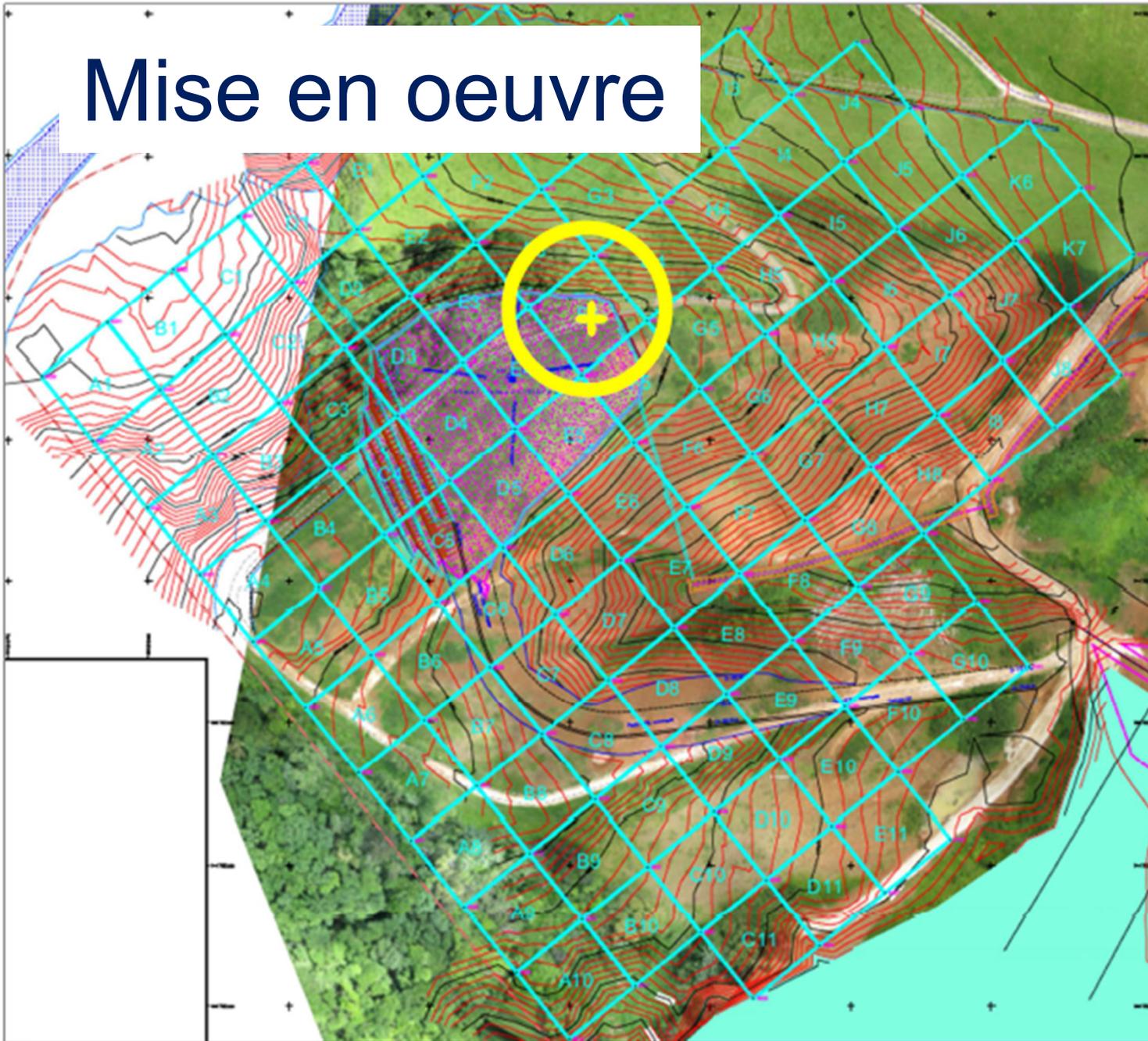
Critères d'acceptation des matériaux de remblais à l'extraction et après compactage :

- ❑ Granulométrie :
 - 100% < à 10 mm ;
 - 0 à 30 % > à 5 mm ;
 - 50% < à 80 μm .
- ❑ Masse volumique sèche mesurée :
 - $\rho_d > 95\% \rho_{dOPN}$
 - moyenne > 97% ρ_{dOPN} .
- ❑ Densité : $d > 1$ pour chacun des essais réalisés.

Mise en oeuvre

- Teneur en eau des matériaux d'emprunt (initiale) :
entre $W_{opn} - 2\%$ et $W_{opn} + 2\%$.
- Teneur en eau des remblais (revue) :
entre $W_{opn} - 2\% < w < W_{opn} + 6\%$
Soit $w < W_{opn} + 10\%$ sur zone d'emprunt
(si séchage/aération avant mise en œuvre)
- Perméabilité en place :
 - $K = 5 \times 10^{-8}$ m/s pour la recharge amont-noyau et
 - $K = 7,5 \times 10^{-8}$ m/s pour la recharge aval.

Mise en oeuvre



Identification des matériaux de la ZE5 (30 m x 30 m)

Contrôle W% des matériaux de la Zone en fin de journée pour anticiper sur la mise en oeuvre du lendemain.

contrôle à chaque fin de couche de 30 cm le remblai à l'aide du gamma densimètre (1 essai Troxler / 100m³)

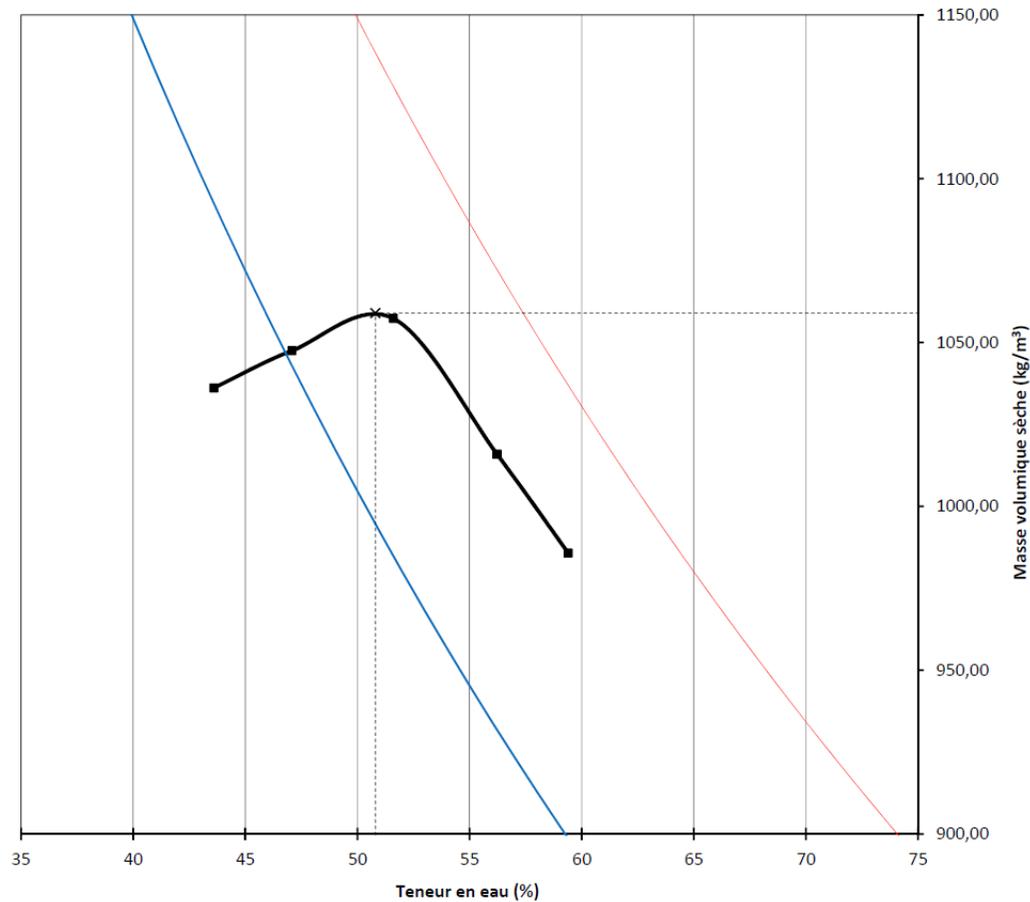
Mise en oeuvre

La procédure de compactage adoptée, suite à la réalisation des planches d'essais, est la suivante :

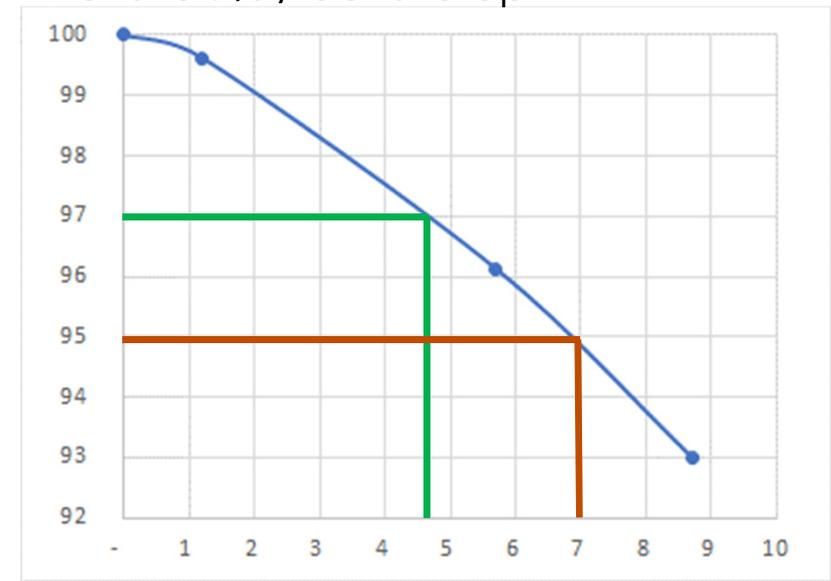
- ❑ Compactage par couches de 30 cm d'épaisseur,
- ❑ en 5 passes de compacteur V4 ou 4 passes au V5 à pieds dameurs.

Mise en œuvre : exemple

Courbe Proctor



Densité : % / densité opn

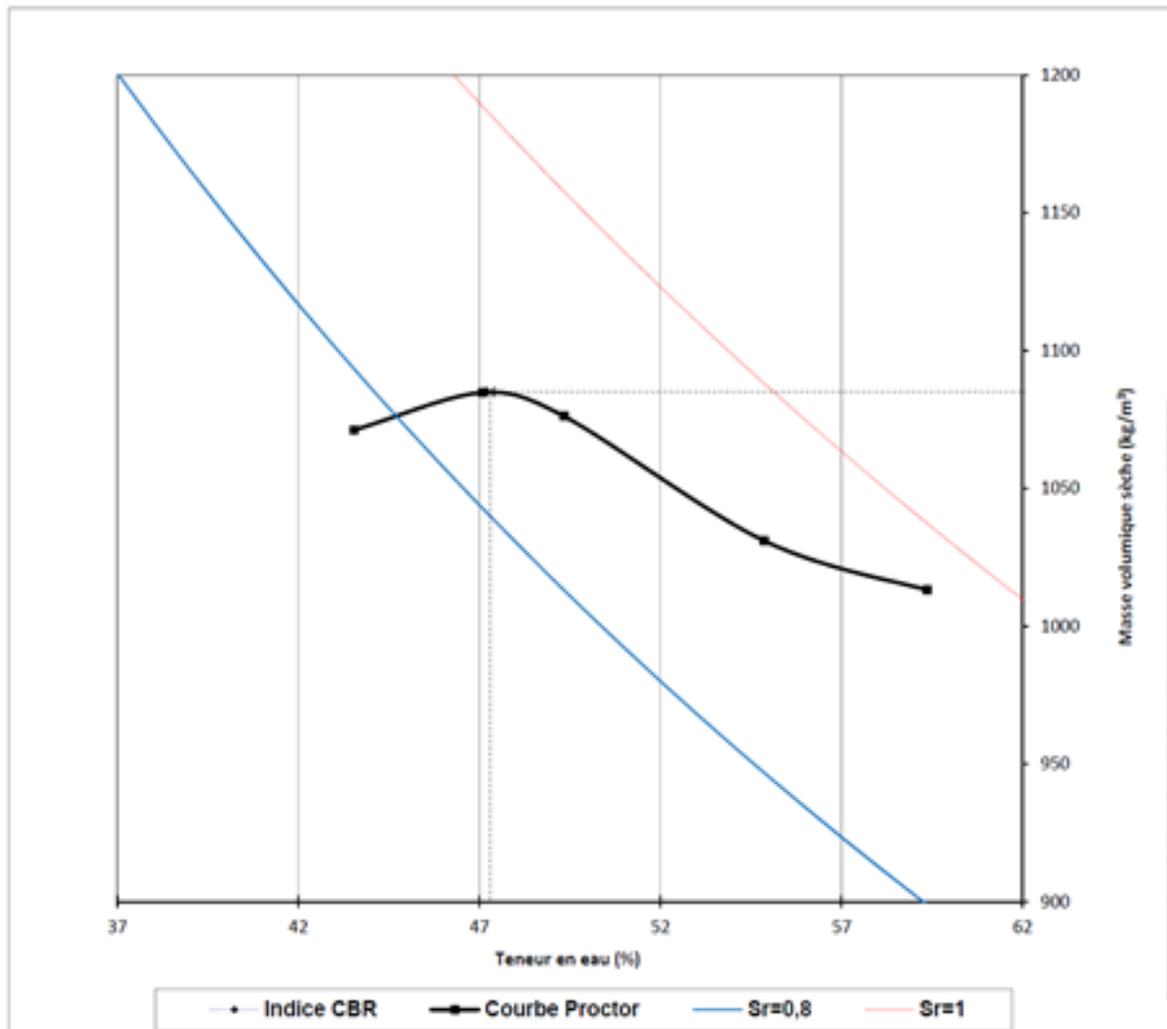


W : % au-dessus de W opn

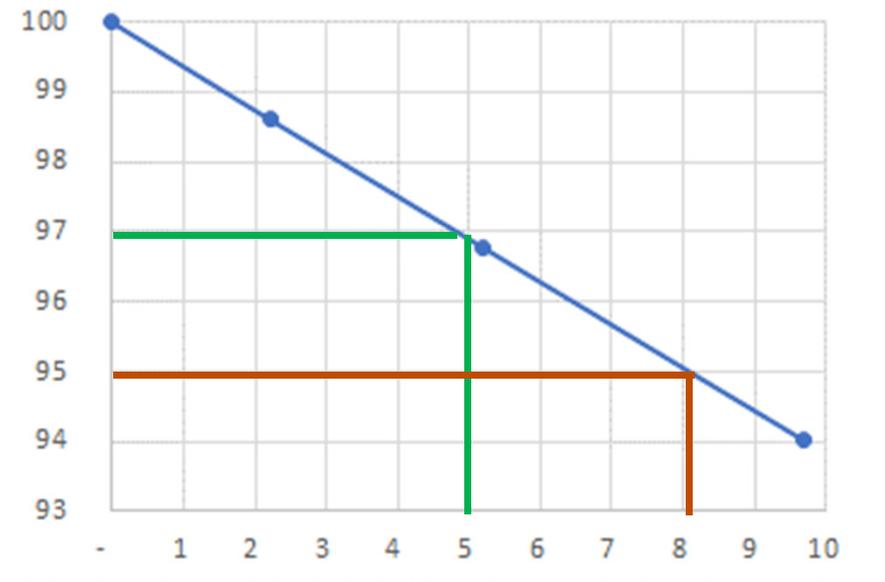
Mise en œuvre : exemple

Exemple de courbe Proctor

$\gamma_{OPN} =$	1085 kg/m ³
$W_{OPN} =$	47.3 %



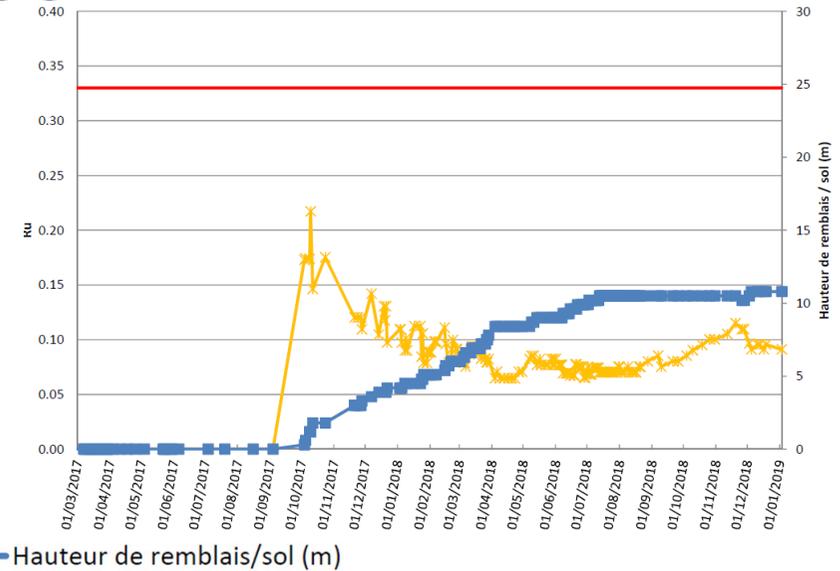
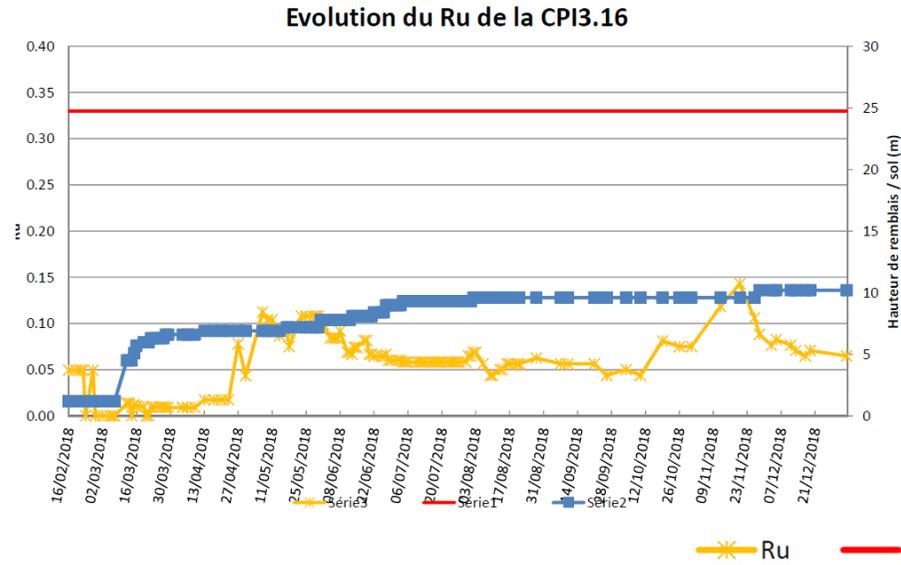
Densité : % / densité opn



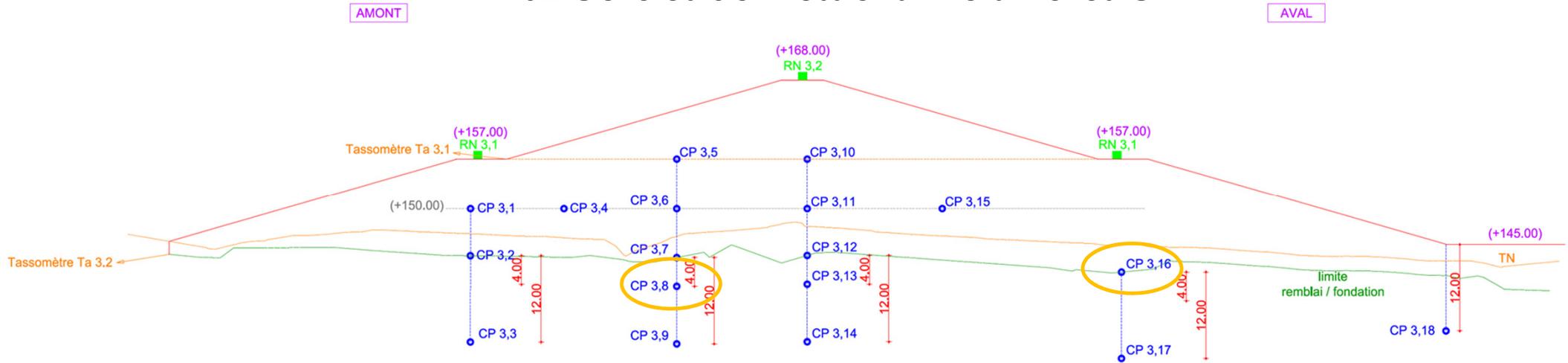
W : % au-dessus de W opn

Auscultation et surveillance

Evolution du Ru de la CPI3.8



62 Cellules de Pressions Interstitielles CPI



Auscultation et surveillance

- ❑ Tassements : 6.5 cm au maximum mesuré à ce jour au droit du dalot;
- ❑ Perméabilité du remblai : $1,2 \cdot 10^{-8}$ m/s en moyenne.

Conclusion

Le retour d'expérience sur le comportement des matériaux résiduels de Guadeloupe acquis lors des premières phases de remblais sur Moreau permet de constater que :

- Les lapillis (halloysites) sont des bons matériaux pour la réalisation d'un barrage,
- Mise en remblai possible avec des teneurs en eau élevées ($W_{opn} +6\%$ ou $W_{opn} +10\%$ avant extraction si séchage/aération), en respectant les objectifs de densité,
- Bon comportement du remblai : $R_u < R_{ucritique}$, faibles tassements.

Merci de votre attention...

