

# KERNUM

UNITE DE PRODUCTION D'ENERGIE D'ORIGINE  
PHOTOVOLTAIQUE AU SOL



## CONSEIL TECHNIQUE POUR L'IMPLANTATION DU PROJET

Merlon "Lande du Maine" – Usine LafargeHolcim  
Commune de Saint-Pierre-La-Cour (Mayenne)

Juillet 2019  
n°19. 136

Siège : Route de Saint-Pons – Ecoparc Phoros – 34600 BEDARIEUX  
Tél / Fax : 04 67 23 33 66 (60) – [siège.herault@mica-environnement.com](mailto:siège.herault@mica-environnement.com)  
Agence Lyon : 582, allée de la Sauvegarde – 69009 LYON  
Tél : 04 78 64 84 75 – E-mail : [agence.lyon@mica-environnement.com](mailto:agence.lyon@mica-environnement.com)

MICA Environnement NC : Bureau n°14, Immeuble Cap Horn, 2A Rue  
Lapérouse, Yahoué, Faubourg Blanchot - 98800 Nouméa  
Tél / Fax : (+687) 44 18 20 – E-mail : [contact@mica.nc](mailto:contact@mica.nc)



### SOMMAIRE

1 - OBJECTIFS.....	2
2 - BASES DE DONNEES.....	2
3 - NATURE DES MATERIAUX STOCKES.....	3
3.1 - LES GRÉS DE SAINT CLAIR.....	3
3.2 - LES SCHISTES HOULLIERS.....	3
3.3 - LES ARGILES D'ALTERATION.....	4
3.3.1 - Les argiles blanches.....	4
3.3.2 - Les argiles rouges.....	4
3.3.3 - Les argiles noires.....	5
3.4 - LES ARGELETTES.....	5
4 - PRINCIPES DE CONSTRUCTION DU MERLON.....	6
4.1 - TERRASSEMENTS.....	6
4.2 - GESTION DES EAUX SUPERFICIELLES.....	6
4.2.1 - Objectifs.....	6
4.2.2 - Gestion des eaux souterraines.....	7
4.2.3 - Gestion des eaux superficielles.....	9
4.3 - PLAN DE GESTION DES EAUX.....	13
5 - PRECONISATIONS POUR LE PROJET DE PARC SOLAIRE.....	14
5.1 - PROJET D'IMPLANTATION.....	14
5.2 - LUTTE CONTRE L'EROSION.....	17
5.3 - STABILITE DU MERLON.....	17

## 1 - OBJECTIFS

La société KERNUM étudie la faisabilité d'un parc photovoltaïque sur le merlon de la Lande du Maine appartenant à la société LAFARGE HOLCIM qui exploite la carrière de Saint-Pierre-La-Cour (53).

Ce merlon est constitué par les stériles argileux de la couverture des terrains calcaires qui sont exploités par LAFARGE HOLCIM.

La présente note fournit des recommandations techniques pour l'implantation de ce parc solaire afin de ne pas perturber la gestion des eaux de ruissellement et de ne pas compromettre la stabilité du merlon. Elle est établie au stade de l'avant-projet sommaire, sans étude de dimensionnement de la gestion des eaux ni d'étude de stabilité.

Dans le cadre du développement du projet, KERNUM devra faire réaliser des études géotechniques de dimensionnement suivant l'enchaînement des missions géotechniques selon la norme NFP 94-500 de novembre 2017 (cf annexe).

## 2 - BASES DE DONNEES

La présente note technique s'appuie sur l'avant projet d'implantation du parc solaire transmis le 19/06/19 par la société IMULSION-INNOVATION chargée par KERNUM pour la conception du projet :

- LAFARGE - Implantation PV\_ARCHIPLAN.dwg
- LAFARGE - Notice Implantation PV\_v20190411.pdf

MICA Environnement a réalisé la conception et l'assistance à Maîtrise d'Ouvrage du merlon de la Lande du Maine Sud (LDM Sud) sur lequel sera implanté le projet. Les documents relatifs à ce projet sont les suivants :

- Appel d'offre pour la construction du dépôt de la LDM Sud - Rn°11-214 – de septembre 2011
- Comptes rendus de visites de chantier entre 2008 et 2017

## 3 - NATURE DES MATERIAUX STOCKES

Les matériaux de couverture de la carrière qui ont été mis en dépôt, présentent une grande variabilité tant dans leur nature que dans leur comportement mécanique.

### 3.1 - LES GRES DE SAINT CLAIR

Ces grès, plus ou moins altérés, sont blancs quartziteux, parfois arkosiques, voire sableux. Dans cet horizon, on distingue de haut en bas de la fosse :

- Les grès quartzites, très résistants, ils peuvent fournir des matériaux de bonnes qualités mécaniques et relativement drainant pour la constitution des digues de pied et des descentes d'eau
- Les grès sableux de moins bonnes qualités mécaniques et de faible qualité pédologique. Ils seront intégralement mis en dépôt.

De par leur faible qualité pédologique, les grès ont été mis au cœur du dépôt et n'affleurent pas en surface des talus.

### 3.2 - LES SCHISTES HOUILLERS

Cette formation est constituée d'alternances de schistes, quartzites et grès, intercalés de niveaux charbonneux et ferrugineux.

Sur la carrière cette formation présente deux états d'altération distincts avec une transition rapide de l'un à l'autre.

En partie superficielle, les schistes houillers et grès sont altérés sur quelques mètres (3 m maximum). Ils s'apparentent alors à des limons beiges enveloppant une fraction de sables et graviers constitués de grains de schistes. Cette formation est meuble, non consolidée et assez peu plastique.

En profondeur, les schistes et grès deviennent plus durs et cohérents mais ils restent toutefois relativement fracturés et argilisés. Les déblais qui en sont extraits ne sont donc à priori pas de très bonne qualité car ils contiennent une grande quantité de fines. Par ailleurs, les schistes charbonneux sont riches en pyrite qui, sous l'effet de l'altération météorique, libère de l'acidité qui empêche toute végétalisation.

Les schistes houillers riches en pyrite et charbon ont été enfouis au cœur du merlon, le plus loin possible des talus de bordure car ils peuvent compromettre la végétalisation des talus.

### **3.3 - LES ARGILES D'ALTERATION**

Les argiles de recouvrement représentent la majorité des matériaux à mettre en dépôt. Sur la carrière, la grande variété des formations géologiques a conduit à de nombreux sols essentiellement argileux aux propriétés physiques et mécaniques bien distinctes. La forte variabilité des matériaux rend l'étude de ces formations difficiles.

Il a donc été choisi d'étudier ces matériaux dans leur globalité en ne retenant que les trois natures d'argiles qui semblent prédominantes.

Les argiles blanches et les argiles noires n'ont jamais été mises dans talus de bordure ni en recouvrement de surface. Les premières sont très sensibles aux altérations météoriques et les secondes peuvent libérer une acidité néfaste à la végétalisation. Elles ont été au maximum confinées au cœur du stockage, dans des zones éloignées des tranchées drainantes pour éviter toute contamination des eaux de percolation.

#### **3.3.1 - Les argiles blanches**

Il s'agit d'un sol fin contenant une importante proportion de limons (environ 55%) et d'argiles (15%).

Leur caractéristique la plus remarquable est un faible indice de plasticité de 10% et une teneur en eau naturelle proche de la limite de liquidité. Ceci induit une forte sensibilité à l'eau qui se traduit sur le terrain par les nombreuses coulées visibles sur les affleurements.

Ces matériaux sont de classe A1. Dans un état hydrique moyen ils sont faciles à mettre en remblais sous réserve de conditions climatiques favorables (peu ou pas de pluies).

Lorsque le matériau est très humide, il adopte un comportement presque boueux.

Les argiles sensibles à l'eau (les argiles blanches) ont été enfouies à l'intérieur du dépôt et n'affleurent pas en surface (recouvrement de plus de 15m).

#### **3.3.2 - Les argiles rouges**

Ce sont des matériaux qui présentent des aspects très variables selon qu'ils sont plus ou moins sableux voir graveleux ou mélangés à d'autres sols.

En moyenne, on trouve une fraction de graviers et sables grossiers importante de 30 à 45%. Le passant à 80µm représente 50% de la masse ce qui donne à la fraction fine un rôle important dans les caractéristiques mécaniques.

L'indice de plasticité est élevé et signifie une faible sensibilité à l'eau: la quantité d'eau nécessaire pour passer de l'état solide à l'état liquide est importante.

Ces données permettent d'attribuer la classe A2 à ces argiles. Dans un état hydrique moyen cela signifie qu'elles ne posent pas de problèmes majeurs pour la mise en remblai sauf par pluie forte ou moyenne.

Les argiles rouges constituent les talus de bordure et affleurent en surface.

#### **3.3.3 - Les argiles noires**

La fraction sableuse grossière est inexistant si bien que les éléments inférieurs à 80µm représentent 97% de la masse totale. En conséquence le comportement de ces matériaux est celui d'un sol fin.

L'indice de plasticité est de 21%, autrement dit comme pour les argiles rouges le matériau est peu sensible à l'eau.

Les argiles noires sont également de type A2. En revanche la teneur en eau naturelle de l'échantillon est très élevée et met le matériau dans un état plastique proche de la liquidité. Son état hydrique, très humide au sens de la classification GTR le rend donc délicat à mettre en remblais dans l'état.

Les argiles noires ont été enfouies au cœur du merlon et n'affleurent pas en surface (recouvrement de plus de 15m).

### **3.4 - LES ARGELETTES**

Il s'agit de roches détritiques d'origine volcano-sédimentaires sous forme de bancs décimétriques de grès très fins indurés, plus ou moins carbonatés. Elles possèdent de bonnes caractéristiques mécaniques qui ont permis leur utilisation en couche de remblais sous la rocade et les déviations de route.

Leur utilisation dans le merlon a été réservée à tous les ouvrages de drainage, en soubassement de piste, de banquette et aux enrochements.



## 4 - PRINCIPES DE CONSTRUCTION DU MERLON

### 4.1 - TERRASSEMENTS

Avant la construction du merlon de LDM Sud, le terrain d'assise a été préparé :

- Décapage de la terre végétale
- Réalisation de tranchées drainantes pour le drainage des éventuelles sources et l'évacuation des eaux de percolation dans le merlon.

Le merlon a été construit par étages successifs de 5 à 10m de hauteur. Des cheminées drainantes en argelettes reliées aux tranchées souterraines ont permis l'évacuation des eaux de ruissellement du chantier. Elles ont été fermées par un bouchon d'argiles en fin de construction

La géométrie du dépôt respecte les principes suivants :

- Pente intégratrice générale de 16°,
- Talus intermédiaires de 10m de hauteur, avec une pente de 19° maximum (3L/1H)
- Banquettes de 5m de largeur pour la gestion des eaux entre talus intermédiaires
- Descentes d'eau pour le drainage des banquettes
- Bassins de décantation au pied du merlon
- Fossés exutoire vers le plan d'eau Est

### 4.2 - GESTION DES EAUX SUPERFICIELLES

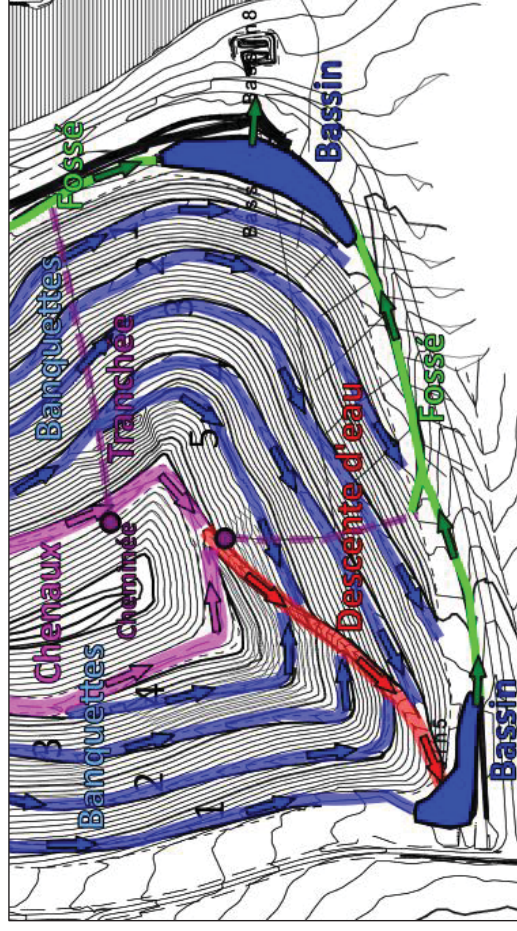
#### 4.2.1 - Objectifs

La gestion des eaux constitue un des éléments les plus importants de la réussite du projet et de sa pérennité dans le temps. Elle répond aux objectifs suivants :

- Assurer une traficabilité maximale et un assèchement en phase chantier,
- Garantir que la mise en dépôt des argiles se fasse sur des zones suffisamment asséchées,
- Assurer une qualité des eaux suffisante rejetée vers le milieu naturel,
- Lutter efficacement contre l'érosion sur le court et le long terme,

Pour ceia, le dispositif mis en place comporte cinq éléments :

- Des chenaux sur plateformes,
- Un réseau de banquettes,
- Des descentes d'eau servant d'exutoire aux banquettes,
- Des collecteurs de pied réceptionnant les descentes d'eau,
- Des bassins de décantation pour gérer les eaux des collecteurs.



Exemple des principes de gestion des eaux

Viennent s'ajouter les dispositions qui étaient destinées à assainir le chantier :

- Un réseau de tranchées drainantes sous les dépôts, relié à un réseau de cheminées dans le corps du dépôt, qui absorbent les eaux des plateformes temporaires
- Un modèle topographique pendant le chantier avec des exutoires préalablement définis,
- Un réseau de fossés pour collecter les eaux du chantier et dévier les eaux extérieures.

#### 4.2.2 - Gestion des eaux souterraines

##### Tranchées drainantes

Afin de drainer la couche superficielle d'assise du merlon, des tranchées drainantes (de section 2m x 2m) ont réalisées avec de gros blocs d'argelette ou de grès, réparties sur l'emprise du merlon. Au nombre de 6, elles ont implantées tous les 50 à 100m de distance en fonction de la topographie (petits thalwegs) et du résultat des travaux de décapage. Leur pente d'écoulement est supérieure à 2%.

Ces tranchées rejoignent les fossés de drainage entourant le pied du merlon et connectés aux bassins de rétention/décantation du projet. Elles peuvent rejoindre directement ces bassins.

##### Cheminées drainantes

Pendant la durée du chantier, l'évacuation des eaux de plate-forme s'est faite en grande partie par des cheminées drainantes verticales reliées aux tranchées drainantes.

Ces cheminées sont très largement dimensionnées et réalisées avec de gros blocs d'argilette. Elles ont été matérialisées systématiquement par une succession de tubage PEHD (type Aquatube) qui ont été rehaussés au fur et à mesure de l'élévation des plateformes de stockage.



*Exemple de tranchée drainante de l'assise du merlon des Effretais*

*Exemple de cheminée drainante protégée par des enrochements Merlon Lande du Maine Sud*

(avec Aquatube au centre )



**4.2.3 - Gestion des eaux superficielles**

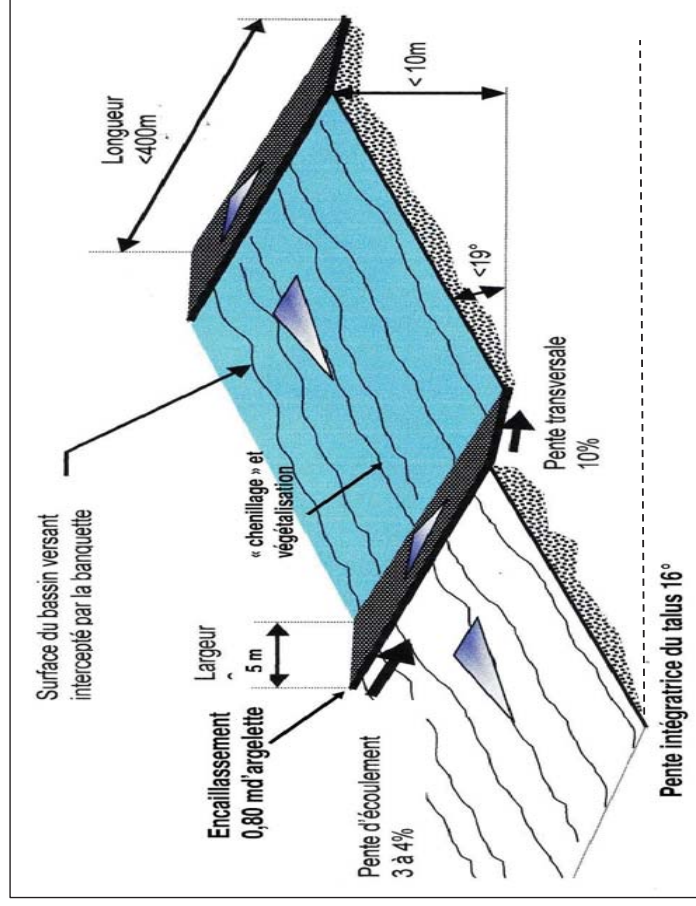
**Les banquettes drainantes**

La circulation d'eau sur des talus argileux de grandes hauteurs entraîne une érosion, due à la conjugaison d'un matériau meuble argileux et l'importance des débits ruisselés surtout pendant le chantier avant que la végétation ne recouvre totalement les talus.

Pour y remédier, les débits ruisselés doivent être réduits. Pour cela le talus est découpé par des banquettes où chacune intercepte l'eau tombée sur un bassin versant limité à l'amont par la banquette précédente. Ainsi, les débits transitant sur le talus dans le sens de la pente sont considérablement diminués et l'érosion limitée.

Les talus sont découpés en banquettes espacées de 8 à 10 m afin de casser l'énergie des écoulements. On limite ainsi les débits qui s'écoulent sur les pentes de talus et la vitesse de l'eau.

Les banquettes elles même permettent à la fois de canaliser les eaux et de les écouler vers un exutoire défini. Pour cela elles présentent une contre pente d'au moins 10 % et une largeur maximum de 5 m afin d'éviter leur débordement.



*Schéma de dimensionnement des banquettes drainantes*



Les caractéristiques des banquettes drainantes sont les suivantes :

- Largeur 5m minimum,
- Pente longitudinale de 2 à 4%,
- Pente transversale de 10%,
- Longueur maximale de 400m
- Couverture de 80cm d'argelette ou équivalent compactée si besoin

Sur le côté interne de la banquette, un merlon de 1 m de hauteur en argelette sert à protéger de l'érosion le pied de la future digue en argile et pérennise le fil d'eau de l'ouvrage. Le talus supérieur en argile vient s'appuyer sur ce bourrelet.

#### Les descentes d'eau

L'objectif des descentes d'eau est de permettre aux eaux des banquettes les plus élevées de rejoindre le pied du talus du merlon sans entraîner d'érosion.

Les descentes d'eau présentent les caractéristiques suivantes :

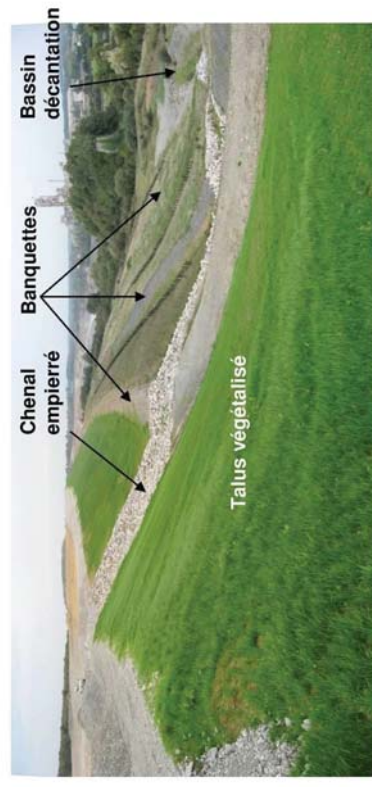
- Largeur du chenal 5 à 10 m,
- Réalisation dans l'argile d'un axe en V dont les flancs sont être relevés de 10 % minimum, la pente d'écoulement ne doit pas excéder 25 %,
- Mise en place de blocs d'argelette 300-800 mm,
- Dépose de l'argelette plus fine sur 50 cm,
- Les raccords avec les banquettes sont particulièrement soignés et ne permettent aucune divagation des eaux.

#### Les collecteurs de pied

Il s'agit de fossés implantés en pied de merlon. Ils sont tassés dans le terrain naturel et ont une pente d'écoulement faible <3%. Ils relient les bassins de décantation avant les exutoires vers le milieu naturel.



### Réalisation d'une banquette drainante



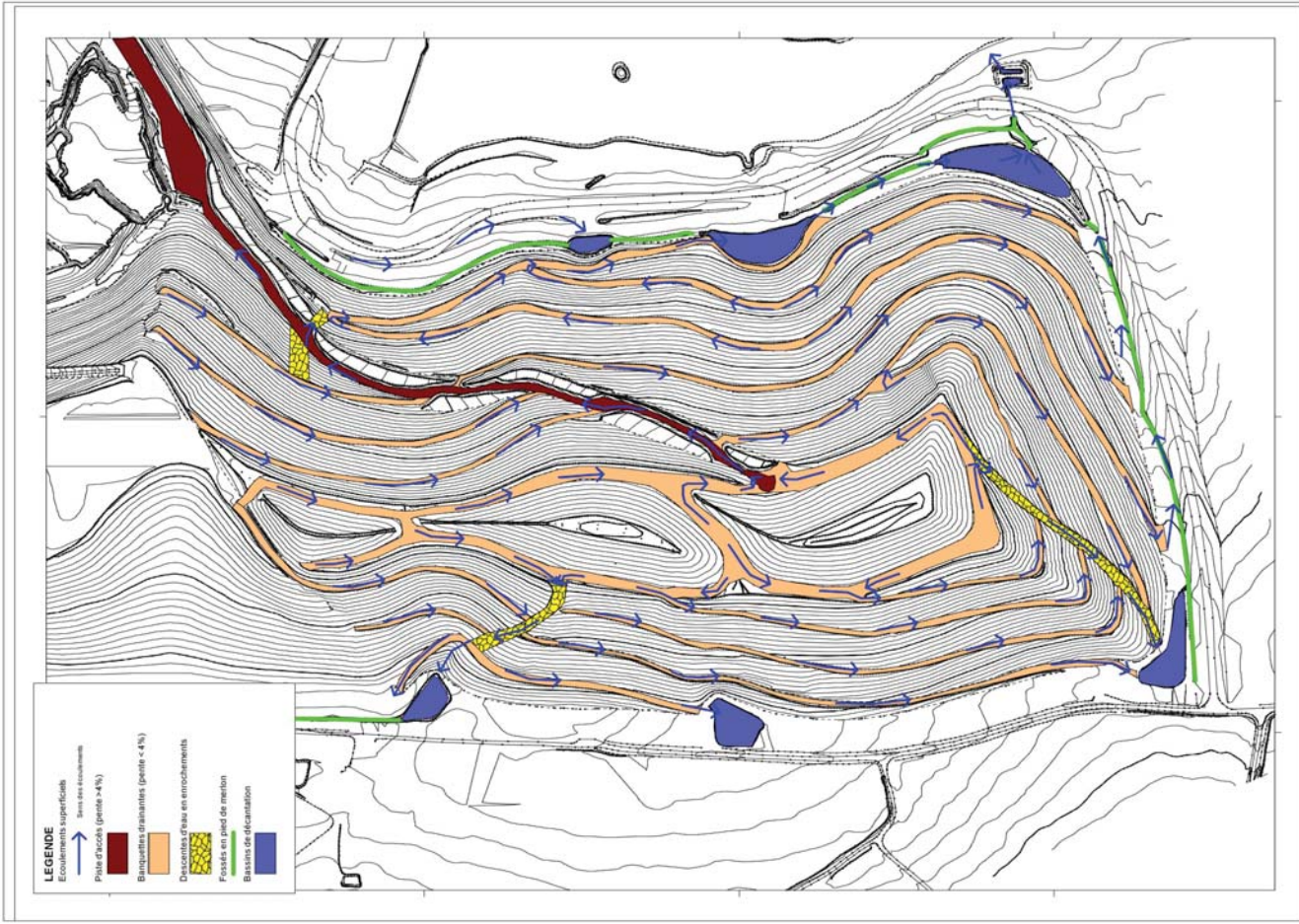




### Réalisation d'une descente d'eau en enrochement



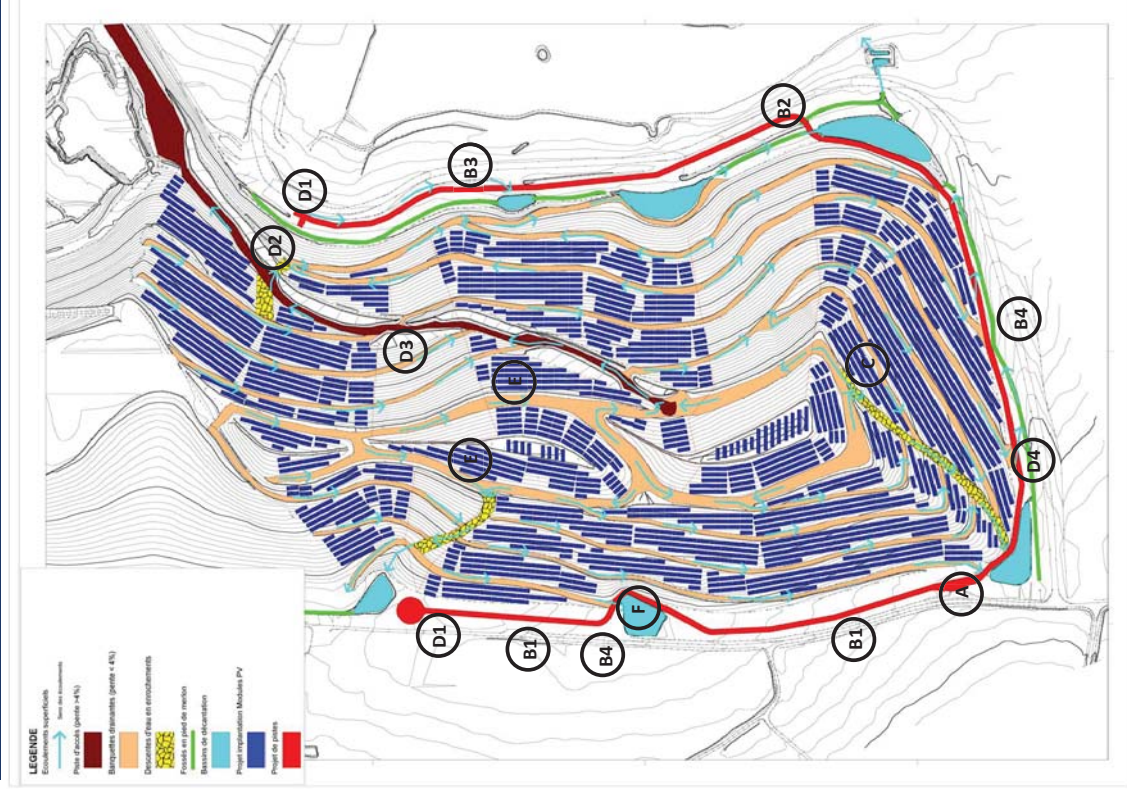
### 4.3 – PLAN DE GESTION DES EAUX





## 5 - PRECONISATIONS POUR LE PROJET DE PARC SOLAIRE

### 5.1 - PROJET D'IMPLANTATION



Les recommandations pour les aménagements prévus dans le projet présentés dans le plan ci-dessus sont les suivants :

#### A. Recommandations pour créer un nouvel accès

- Ne pas créer un point d'entrée des eaux de ruissellement extérieures au site.
- Ne pas créer un point de sortie des eaux de ruissellement du site.
- Maintenir la circulation des eaux vers le bassin de décantation au Sud-Ouest.

#### B. Recommandations pour créer la piste périphérique au pied du merlon

- **B1** : à l'Ouest, créer la piste en léger remblai afin de former un merlon de faible hauteur servant de guide aux eaux de ruissellement vers les bassins de décantation existants.
- **B2** : à l'Est, maintenir le fonctionnement des fossés par des passages busés
- **B3** : à l'Est, créer la piste en léger remblai afin de former un merlon de faible hauteur servant de guide aux eaux de ruissellement vers les fossés et les bassins de décantation existants.
- **B4** : au Sud, créer la piste en déblai et substitution pour maintenir la topographie actuelle afin de ne pas entraver la circulation des eaux vers le fossé périphérique et les bassins de décantation
- **B4** : à l'Ouest, créer la piste en déblai et substitution pour maintenir la topographie actuelle afin de ne pas entraver la circulation des eaux provenant de la banquette et rejoignant le bassin de décantation Ouest.

#### C. Recommandations pour le passage à gué sur les enrochements

- Le fonctionnement hydrologique de la descente d'eau doit être maintenu : les eaux de ruissellement des banquettes reliées à la descente d'eau ne doivent pas être détournées ni stoppées.
- L'enlèvement des blocs rocheux et la réalisation d'un passage à gué en matériaux graveleux de plus faible dimensions peuvent être envisagés sous réserve de garantir l'absence d'érosion des matériaux.

#### D. Recommandations pour les aires de retournement et virages en épingle

- **D1** : Rien à signaler.
- **D2** : Surélever la bordure extérieure du virage ou créer un merlon pour garantir la circulation des eaux de ruissellement qui suivent le virage et sont ramenées vers le Sud. Si le raidissement du talus supérieur est nécessaire, un renforcement et un soutènement du talus en enrochement sera nécessaire pour assurer la stabilité des pentes du merlon. Si la reprise de la couverture d'arêtelette est nécessaire, la contre-pente et la pente d'écoulement doivent être réalisées au préalable dans les argiles avant de recouvrir par les arêtelettes.



- **D3** : Ne pas court-circuiter la circulation des eaux de ruissellement de la piste d'accès qui descendent vers le Nord. Les eaux de cette piste ne doivent pas être rejetées vers la banquette drainante.
- **D4** : Ne pas perturber la circulation des eaux en direction du fossé périphérique Sud.

#### E. Recommandations pour la circulation sur les banquettes

- Les banquettes sont recouvertes d'une couche d'arçelles, matériaux rocheux concassés.
- La contre-pente des banquettes comprises entre 5% et 10% ne doit pas être diminuée de préférence afin de maintenir le fil d'eau sur la bordure interne des banquettes. Exceptionnellement cette contre-pente peut être diminuée par apport de matériaux à condition de maintenir la pente d'écoulement longitudinale de 3% et de justifier l'absence de risque de débordement dans les talus inférieurs.
- Si une nouvelle couverture en matériaux graveleux est prévu, garantir l'absence d'érosion par un compactage soigné et ne pas modifier, ni entraver la circulation des eaux actuelle.
- Si la reprise de la couverture d'arçelle est nécessaire, la contre-pente et la pente d'écoulement doit être réalisée au préalable dans les argiles avant de recouvrir par les arçelles.
- La bande roulante peut être placée sur la bordure extérieure des banquettes afin de ne pas toucher au fil d'eau actuel côté bordure intérieure.
- Au sommet du merlon, les pentes des talus du chenal en arçelles peuvent être réduite à condition de maintenir la pente d'écoulement longitudinale et de justifier l'absence de risque de débordement dans les talus inférieurs.

#### F. Recommandations pour l'élargissement de la piste autour du bassin Ouest

- L'élargissement va nécessiter le raidissement du talus du merlon.
- Un renforcement et soutènement du talus en enrochement sera nécessaire pour assurer la stabilité des pentes du merlon.

#### G. Recommandations pour l'installation des pieux de fixation des tables

- Quelle que soit la technique d'implantation des pieux, les eaux de pluie ne devront pas s'infiltrer dans le merlon au droit de ces ancrages.
- Si les pieux sont forés, l'étanchéité sera assurée par le remplissage béton des pieux.
- Si les pieux sont battus ou vissés, un compactage du terrain autour du pieu sera nécessaire après implantation ainsi que la réalisation d'un dôme de matériaux autour du pieux pour supprimer le risque d'infiltration.

L'implantation des postes de livraison et de transformation ainsi que l'installation des réseaux enterrés ne doivent pas entraver la gestion des eaux actuelle sur le merlon.

## 5.2 - LUTTE CONTRE L'ÉROSION

L'installation des tables photovoltaïques dans les pentes du terril peut engendrer une érosion de la couche superficielle par concentration des eaux tombant au pied des panneaux. En l'absence de retour d'expérience sur ce type d'installation sur les pentes d'un merlon en argile, les recommandations suivantes peuvent être faites :

- Maintenir et entretenir la couverture végétale recouvrant actuellement les pentes du merlon
- Renforcer la couverture végétale par végétalisation par semi-hydraulique au droit des talus au couvert végétal peu dense.
- Garantir un espacement maximum entre chaque panneau photovoltaïque afin de limiter la concentration des eaux au pied des tables.
- Dans les premières années, assurer un suivi mensuel minimum de l'état de surface des pentes du merlon afin de vérifier l'absence de griffures d'érosion ou d'amorces de ravinement.
- Au cours de l'exploitation du parc, assurer un suivi de l'état de surface des pentes du merlon après chaque épisode pluvieux remarquable afin de vérifier l'absence de griffures d'érosion ou d'amorces de ravinement.
- En cas d'apparition de griffures d'érosion ou de ravinement, intervenir le plus tôt possible pour combler les ravines avec des matériaux graveleux puis revégétaliser les zones dénudées. Réaliser des plantations denses de végétaux au pied des panneaux responsables de l'érosion.

Le risque d'apparition de figures d'érosion sur les pentes du merlon ne peut pas être exclu.

## 5.3 - STABILITE DU MERLON

La conception des merlons de la carrière a été validée par des calculs de stabilité et par le retour d'expérience depuis la première construction en l'an 2000.

**Le projet de parc solaire ne devra pas remettre en cause la stabilité des merlons qui est assurée à long terme dans l'état actuel.**

La sensibilité du merlon de la LDM aux paramètres mécaniques est faible excepté pour les talus superficiels qui restent à la merci d'une dégradation des caractéristiques des argiles de couverture. Ceci signifie que les pentes des talus ne doivent pas être raidis et que les talus doivent être préservés au maximum des infiltrations.

**Le projet de parc solaire ne devra pas modifier la géométrie actuelle du merlon de la LDM :**

- la pente intégratrice du talus ne doit pas excéder 16°,
- la pente entre deux banquettes ne doit pas excéder 19°.
- la végétation existante doit être préservée et renforcée si nécessaire.

Les calculs de stabilité pour la conception des merlons n'ont pas pris en compte de surcharges appliquées sur les pentes des talus. L'installation des tables et autres infrastructures va modifier les conditions d'équilibre des talus. **Un calcul de stabilité des pentes des talus après implantation du projet doit être réalisé en fonction des surcharges appliquées par le projet afin de garantir la stabilité à long terme du merlon. Les glissements profonds sur toute la hauteur du merlon ainsi que les glissements superficiels des talus intermédiaires doivent être analysés.**

## ANNEXES

Norme NF P 94-500 (Novembre 2013) : tableaux synthétiques

Tableau 1 : Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission	Objectifs/atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Etude géotechnique préalable (G1)	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)	Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)	Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Etude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)	Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)	Conception et justifications du projet	pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE /ACT	Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Etudes géotechniques de réalisation (G3/G4)	EXE/VISA	À la charge de l'entreprise	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)		
		À la charge du maître d'ouvrage	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés survenant
A toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	DIAGNOSTIC	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
		Diagnostic géotechnique	Diagnostic géotechnique (G5)	Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés



Tableau 2 : classification des missions d'ingénierie géotechnique

<p>L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le Maître d'Ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune des missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.</p>	<p><b>ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PREALABLE (G1)</b></p> <p>Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :</p> <p><i>Phase Étude de Site (ES)</i></p> <p>Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avisants avec visite du site et des alentours.</li> <li>- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>- Fournir un rapport dominant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.</li> </ul> <p><i>Phase Principales Génériques de Construction (PSC)</i></p> <p>Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).</li> </ul>
<p><b>ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)</b></p> <p>Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :</p> <p><i>Phase Avant-Projet (AVP)</i></p> <p>Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>- Fournir un rapport dominant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dalles et voiries, améliorations de sols, dispositions générées vis-à-vis des nappes et des avoisinants) une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.</li> </ul> <p><i>Phase Projet (PRO)</i></p> <p>Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant le choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dalles et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants) des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.</li> </ul> <p><i>Phase DCE / ACT</i></p> <p>Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).</li> <li>- Assister éventuellement le Maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.</li> </ul>	<p><b>ÉTAPE 3 : ETUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)</b></p> <p>Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :</p> <p><i>Phase Étude</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).</li> <li>- Elaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.</li> </ul> <p><i>Phase Suivi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives pré-définies en phase Étude.</li> <li>- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).</li> <li>- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).</li> </ul> <p><b>SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION (G4)</b></p> <p>Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :</p> <p><i>Phase Supervision de l'étude d'exécution</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.</li> </ul> <p><i>Phase Supervision du suivi d'exécution</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposé par l'entrepreneur (G3).</li> <li>- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.</li> </ul> <p><b>DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)</b></p> <p>Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.</li> <li>- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).</li> </ul>

Tableau 2 : classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)

<p><b>ÉTAPE 3 : ETUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)</b></p> <p>Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :</p> <p><i>Phase Étude</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).</li> <li>- Elaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.</li> </ul> <p><i>Phase Suivi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives pré-définies en phase Étude.</li> <li>- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).</li> <li>- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).</li> </ul> <p><b>SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION (G4)</b></p> <p>Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :</p> <p><i>Phase Supervision de l'étude d'exécution</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.</li> </ul> <p><i>Phase Supervision du suivi d'exécution</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposé par l'entrepreneur (G3).</li> <li>- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.</li> </ul> <p><b>DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)</b></p> <p>Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.</li> <li>- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).</li> </ul>	<p><b>ÉTAPE 3 : ETUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)</b></p> <p>Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :</p> <p><i>Phase Étude</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).</li> <li>- Elaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.</li> </ul> <p><i>Phase Suivi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives pré-définies en phase Étude.</li> <li>- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).</li> <li>- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).</li> </ul> <p><b>SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION (G4)</b></p> <p>Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :</p> <p><i>Phase Supervision de l'étude d'exécution</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.</li> </ul> <p><i>Phase Supervision du suivi d'exécution</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposé par l'entrepreneur (G3).</li> <li>- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.</li> </ul> <p><b>DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)</b></p> <p>Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.</li> <li>- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).</li> </ul>
---	---