

TRACTEBEL ENGINEERING S.A.

Le Delage – 5, rue du 19 mars 1962 – 92622 Gennevilliers CEDEX - FRANCE
tel. +33 1 41 85 03 69 - fax +33 1 41 85 03 74
engineering-fr@gdfsuez.com
www.tractebel-engineering-gdfsuez.com

AREVA

Evaluation de la sûreté à long terme des digues de rétention de stockage de résidus de traitement de minerais uranifères

Plan d'action et définition de la méthodologie

P.005961.NT02

SOMMAIRE

1.	CONTEXTE DE L'ETUDE.....	4
2.	RAPPEL DES SITES JUGES PRIORITAIRES	5
3.	IDENTIFICATION DES DONNEES NECESSAIRES A LA CONSTITUTION DU DOSSIER GEOTECHNIQUE...6	
3.1.	DEFINITION DES DONNEES NECESSAIRES	6
3.2.	DEFINITION DU PLAN DU DOSSIER GEOTECHNIQUE	6
4.	PROGRAMME TYPE DE RECONNAISSANCE COMPLEMENTAIRE	7
4.1.	CARTOGRAPHIE DETAILLEE	7
4.2.	RECONNAISSANCES IN SITU.....	8
4.3.	SONDAGES CAROTTES.....	8
4.4.	RECONNAISSANCES GEOPHYSIQUES.....	9
4.5.	ESSAIS EN LABORATOIRE	9
5.	METHODOLOGIE DE L'ANALYSE DE STABILITE.....	10
5.1.	GENERAL	10
5.2.	LOGICIEL UTILISE	10
5.3.	HYPOTHESES DE GLISSEMENT	10
5.4.	COEFFICIENT DE SECURITE	11
5.5.	CAS DE CHARGES.....	12
5.5.1.	<i>Séisme</i>	12
5.5.2.	<i>Risque hydrologique</i>	12
5.6.	COMBINAISON DES CAS DE CHARGES	12
6.	REFLEXION VIS A VIS DU CONFORTEMENT.....	13

1. CONTEXTE DE L'ETUDE

Cette étude s'inscrit dans le cadre du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs n°3 (PNGMDR 3) 2013-2015. Les demandes portent sur les points rappelés ci-après :

- Engager de manière prioritaire la constitution d'un dossier géotechnique complet pour chaque digue de stockage de résidus de traitement minier ;
- Poursuivre la démarche d'évaluation de la sûreté des digues par une étude de sensibilité de leur stabilité sous séisme en fonction de la période de retour visée (à savoir 30 000 ans) et du niveau d'aléa sismique associé ;
- Etablir sur base du constat posé sur la stabilité de ces digues des propositions de mesures de confortement jugées nécessaires à mettre œuvre pour garantir le niveau de sûreté requis pour chaque digue.

Ces prescriptions ont été reprise dans le décret n° 2013-1304 du 27 décembre 2013 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs :

o Article 13.V :

Areva remet aux ministres chargés de l'énergie et de l'environnement, pour le 31 décembre 2013, un plan d'action en vue de constituer les dossiers géotechniques associés à chaque digue puis évaluer leur stabilité et déterminer l'éventuelle nécessité de les renforcer, notamment au regard de leur vulnérabilité vis-à-vis des aléas naturels et de leur potentiel cumul. Ce plan comprend notamment le calendrier envisagé ainsi que la liste des sites jugés aujourd'hui prioritaires. L'ASN est saisie pour avis sur ce plan d'action

La présente note définit le plan d'action relatif à cette étude et la méthodologie relative aux différentes étapes.

2. RAPPEL DES SITES JUGES PRIORITAIRES

La sélection des sites prioritaires a été réalisée de manière à identifier les sites représentatifs et/ou prioritaires dans une démarche d'évaluation de la sûreté des ouvrages. Ainsi, suite à l'analyse multicritère réalisée dans le rapport P.005961.NT01, les sites suivants ont été sélectionnés :

Le site de l'Ecarpière, pour les ouvrages de type « sables cyclonnés », en effet celui-ci présente:

- La plus grande hauteur sur fondation ;
- Les pentes aval et amont les plus raides ;
- Un classement en zone de sismicité 3 (2 pour les autres digues de même type).

Le site de Montmassacrot, pour les ouvrages de type « stériles miniers », celui-ci est jugé représentatif de ce type d'ouvrage. Il présente des pentes de talus importantes, un dossier géotechnique incomplet et une interface a priori non travaillée avec sa fondation.

Le site des Bois Noirs est également proposé. Cet ouvrage est le seul ayant une charge d'eau permanente à l'amont. Il fait actuellement l'objet d'une procédure qui s'inscrit dans le cadre du décret 1735 du 11/12/2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques. Cette procédure nécessite de compléter le dossier géotechnique de l'ouvrage.

3. IDENTIFICATION DES DONNEES NECESSAIRES A LA CONSTITUTION DU DOSSIER GEOTECHNIQUE

Conformément au contrat, la procédure d'investigation s'inscrit dans le cadre normé d'une mission géotechnique de type G12 (en référence à la norme NFP 94500) où l'exécution et l'analyse des résultats des essais et sondages est réalisée par le prestataire.

3.1. Définition des données nécessaires

Les données nécessaires pour la réalisation du dossier géotechnique sont pour chaque matériau :

- Propriétés physiques :
 - La granulométrie,
 - La masse volumique,
 - La teneur en eau,
 - Le degré de saturation,
 - L'indice de plasticité,
 - L'indice de consistance,
 - La perméabilité,
- Les propriétés mécaniques et de déformabilité :
 - La cohésion (effective, non consolidée non drainée),
 - L'angle de frottement (effectif, non consolidé non drainé).

3.2. Définition du plan du dossier géotechnique

Le dossier géotechnique devra comprendre les éléments suivants (conformément à la norme **NF 94-500**) :

- Le contenu de la mission géotechnique :
 - La description du site,
 - Une enquête documentaire sur le cadre géotechnique spécifique du site et l'existence d'avoisnants,
 - Description du programme d'investigations géotechniques spécifique,
 - But de la mission,

- Le résultat des investigations géotechniques dans un rapport de synthèse
 - Géologie (données de la carte géologique, résultats des sondages, rapport photos pour les sondages carottés, ..)
 - Hydrogéologie, piézométrie,
 - Résultats des essais in situ (pressiométrique, pénétromètre, etc...),
 - Résultat des essais de laboratoire,
 - Un modèle géologique,
 - Les principales caractéristiques géotechniques,
 - Identification des risques géotechniques majeurs.

4. PROGRAMME TYPE DE RECONNAISSANCE COMPLEMENTAIRE

Aux vues des données disponibles, la réalisation de reconnaissances géotechniques et géophysiques complémentaires apparaît comme essentielle. Ces reconnaissances auront donc pour objectif principal de vérifier les caractéristiques mécaniques des matériaux de la digue et de sa fondation (poids volumique, angle de frottement, cohésion, module d'Young, etc.).

Un cahier des charges des reconnaissances géologiques et géotechniques sera établi.

Ces reconnaissances seront une donnée d'entrée pour l'étude de stabilité des digues sélectionnées

Les reconnaissances et études complémentaires comprendront la réalisation :

- d'une cartographie détaillée des sites (déjà disponible) ;
- de reconnaissances in situ ;
- d'essais en laboratoire.

Les sites feront l'objet, si nécessaire, de relevés topographiques. Le but de ces relevés topographiques est de servir de support à la réalisation de la cartographie détaillée, ainsi qu'à l'implantation des sondages de reconnaissances.

L'échelle des relevés topographiques est attendue au 1/200^{ème}.

4.1. Cartographie détaillée

Cette tâche consistera en la préparation de relevé des indices d'instabilité (glissement, fluage, érosion, ...) et leur report sur les plans topographiques.

Elle permettra de définir les zones à risque identifiées et de confirmer l'implantation des reconnaissances programmées.

4.2. Reconnaissances in situ

Les reconnaissances in situ consisteront à la réalisation de sondages (pénétrromètres statiques et/ou essais pressiométriques). Les paramètres suivants seront relevés :

- paramètres de forage:
 - pression de poussée appliquée sur l'outil de forage et pression de rotation moteur ;
 - couple de rotation ;
 - vitesse de rotation.
 - vitesse d'avancement instantanée et vitesse moyenne d'avancement ;
 - percussion réfléchiée en cas de rotopercussion.
- Hydraulique (niveau d'eau).

4.3. Sondages carottés

Un total de 3 sondages carottés horizontaux par profil est proposé afin de préciser et de déterminer précisément la nature des matériaux dans chaque section sondée. Les sondages réalisés permettront l'établissement des coupes transversales fiables .

Lors de la réalisation des forages, les paramètres de forages suivants seront à enregistrer à l'avancement :

- paramètres généraux :
 - profondeur;
 - heures, temps;
 - orientation;
 - inclinaison.

Les méthodes de carottage seront adaptées suivant le matériau considéré (éventuellement la méthode SONIC pourra être envisagée pour les stériles miniers du fait de l'hétérogénéité du matériau).

Lors de la réalisation des sondages, il sera effectué les prélèvements d'Echantillons Intact (EI) des matériaux pour les analyses en laboratoires. Les longueurs de sondages et des EI seront définies dans le cahier des charges.

Un rapport photo des carottes sera réalisé.

4.4. Reconnaissances géophysiques

Dans le cas où les essais mentionnés ci-avant serait jugés insuffisant, des reconnaissances géophysiques pourrait être réalisée. Les reconnaissances géophysiques permettent de relever les contrastes entre un milieu homogène et un milieu déstructuré. Ainsi les sondages réalisés pourraient éventuellement être équipés de dispositifs de réfraction sismique et/ou dispositifs électrique.

4.5. Essais en laboratoire

Les essais en laboratoire sont destinés à fournir les paramètres géotechniques, ils comprennent :

- des essais de caractérisation et d'identification des matériaux, en concentrant l'attention sur les propriétés des matériaux des zones de faibles résistances ;
- la détermination des paramètres de cisaillement et de déformabilité.

Concernant les échantillons prélevés dans les sondages carottés, il est proposé, à titre indicatif suivant la profondeur de la carotte, de réaliser le programme d'essais suivant :

Type de sol	Poids spécifique Poids Volumique	Teneur en eau naturelle	Compression simple à l'état sec	Compression simple à l'état humide	Granulométrie Sédimentologie	Essais Triaxiaux	Essais de plasticité
Sables cyclonés	X	X			X	X	X
Stériles miniers	X	X	X	X	X	X	

5. METHODOLOGIE DE L'ANALYSE DE STABILITE

5.1. Général

L'analyse de stabilité est effectuée en découpant le massif par tranches et en regardant son équilibre statique sur une surface de rupture potentielle. Cette méthode dite « méthode des tranches » a plusieurs approches (Fellenious, Bishop, Janbu, Spencer) qui diffèrent dans l'hypothèse faite sur les forces agissant entre les tranches et les équations d'équilibre à résoudre.

Dans le cas présent la méthode appliquée est dite de Bishop.

Les effets sismiques sont analysés par une approche pseudo-statique.

5.2. Logiciel utilisé

Les calculs de stabilité interne des digues seront effectués soit à l'aide du logiciel TALREN 4 (de la société TERRASOL) ou du logiciel GEOSLOPE, selon la configuration considérée, par la méthode de Bishop pour des surfaces de glissements circulaires.

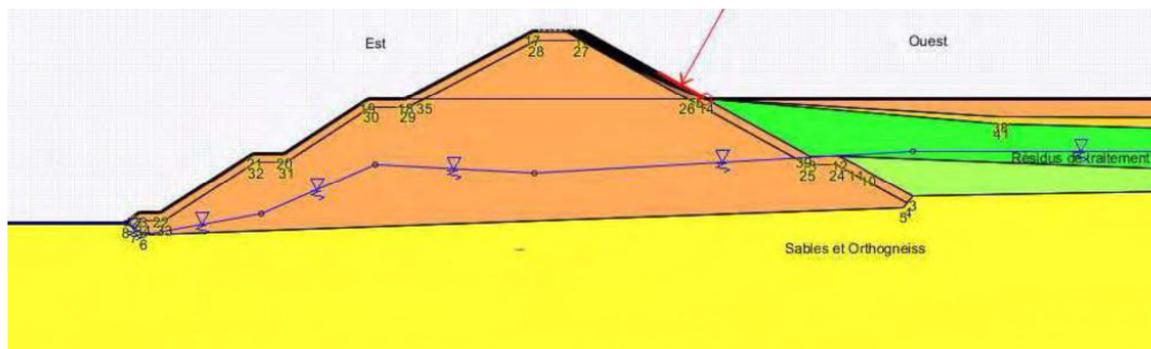


Figure 1 : *Modèle de la digue des Bois Noirs sous TALREN*

Les coefficients de sécurité sont calculés en considérant un fonctionnement normal puis dégradé de l'aménagement. Les coefficients de sécurité sont définis comme le rapport de la somme des moments résistants maximaux sur la somme des moments moteurs.

5.3. Hypothèses de glissement

La présente étude comporte l'analyse du facteur de sécurité vis-à-vis du glissement pour les différents types de mécanismes, on étudie principalement les différents cas précisés ci-après :

1. Une surface de rupture *circulaire* se développant à l'intérieur de la digue ; dans cette catégorie on pourrait trouver des cercles de glissement « **de peau** » qui présentent des facteurs de sécurité particulièrement bas. Ces cercles sont peu profonds (moins d'un mètre). Le deuxième type, dit « **local** », correspondra aux cercles de glissement émergeant sous les 2/3 de la hauteur de la digue.
2. Une surface de rupture *composite* dont une des composantes est la couche mince se trouvant à la base de la digue. Cette hypothèse a été retenue compte tenu de la présence d'une couche mince à faible résistance sur laquelle la digue peut avoir été construite. Ce mécanisme de rupture est aussi « **local** » puisqu'il se développe principalement à l'intérieur de la digue et ne traverse pas la couche des arènes granitiques.
3. La troisième hypothèse de glissement représente un mécanisme de rupture « **global** » dont la surface se développe à l'intérieur des couches de fondation de la digue.

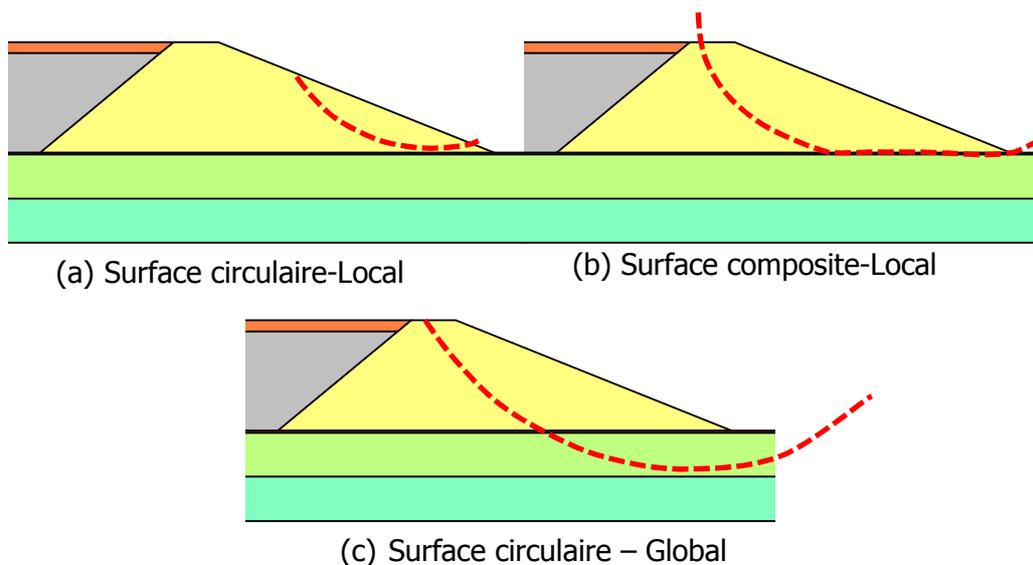


Figure 2 : Typologie de surface de glissement

5.4. Coefficient de sécurité

La détermination du facteur de sécurité vis-à-vis de la stabilité au glissement s'appuie sur la méthode des tranches. Ce facteur est défini comme le rapport de la somme des moments résistants maximaux sur la somme des moments moteurs.

Il existe deux méthodes pour définir les facteurs de sécurité à retenir pour les calculs de stabilité.

La première méthode consiste à utiliser les paramètres retenus pour le dimensionnement en vue d'obtenir un facteur de sécurité global supérieur à 1,2.

Les paramètres retenus lors de calculs de stabilité classique de digues sont :

- La densité des matériaux,
- La cohésion des matériaux,
- L'angle de frottement des matériaux.

Les facteurs de sécurité (FS) à obtenir sont classiquement :

- FS = 1,5 pour une situation permanente (« long terme » équivalent à 100 ans),
- FS = 1,3 en phase chantier,
- FS = 1,1 pour une situation accidentelle (séisme, régime hydraulique critique).

La démarche proposée consiste à :

- Tenir compte du colmatage des réseaux de drainage, et ainsi considérer un régime hydraulique critique ;
- Renforcer de manière significative le niveau d'aléa sismique, et ainsi considérer une période de retour de 30 000 ans ;
- Rehaussé de 1 à 1,2 le facteur de sécurité retenu pour juger de la tenue des digues en cas de sollicitation extrême.

5.5. Cas de charges

5.5.1. Séisme

Dans le cas où le risque de liquéfaction est jugé nul, il a été proposé de retenir des niveaux d'accélération renforcés correspondant à une période de retour de 30 000 ans.

Le risque de liquéfaction s'applique aux digues en sables cyclonés.

La définition de la sismicité est donnée par le décret n 2010-1255 du 22 octobre 2010.

5.5.2. Risque hydrologique

Pour chacun des sites, il sera considéré différents scénarii piézométriques avec un niveau d'eau en amont des digues.

Dans la présente étude, il sera considéré de manière raisonnablement prudente pour les événements hydrologiques extrêmes un premier cas de charge avec un niveau piézométrique au sommet des digues (régime hydraulique critique) et un second sans présence d'eau (régime hydraulique sec).

5.6. Combinaison des cas de charges

Les différents cas de charges suivants sont considérés dans les calculs de stabilité :

- Régime hydraulique courant seul (fonction de la piézométrie),
- Régime hydraulique critique seul,

- Régime hydraulique courant et séisme.

6. REFLEXION VIS A VIS DU CONFORTEMENT

Suite aux résultats obtenus lors de l'analyse de stabilité, des solutions de confortement des ouvrages seront proposées si nécessaire.